

# مبادئ وتقنيات علم البيانات

## مقدمة الكتاب

### الصفحة الرئيسية

مقدمة الكتاب  
عن الكتاب  
الرموز والإشارات

1. دورة حياة علم البيانات
  2. تصميم البيانات
  3. البيانات المجدولة ومكتبة بانداز
  4. التحليل الاستكشافي للبيانات
  5. تنظيف البيانات
  6. تصوير البيانات
  7. تقنيات الويب
  8. التعامل مع النصوص
  9. قواعد البيانات العلاقية و SQL
  10. النماذج والتوقعات
  11. النزول الاشتراكي وتحسين النتائج الكمية
  12. الاحتماليات والتمثيم
  13. النماذج الخطية
  14. هندسة الخصائص
  15. المقاييسة بين الانحياز والتباين
  16. الضبط
  17. التصنيف
- ملحقات:
1. مراجعة فضاء المتجهات
  2. مراجعة الاستدلال الإحصائي
  3. المصطلحات العربية وترجمتها
  4. المكاتب المستخدمة في الكتاب ودوالها

هذا الكتاب يخص مادة داتا 100، مبادئ وتقنيات علم البيانات في جامعة كاليفورنيا - بيركلي.

كتبه: سام لاو، جوي غونزاليس و ديب نولان.

ترجم للعربية بواسطة علي الموهلي

استخدم المترجم أسلوب الترجمة التحريرية لإيصال أفكار الكاتب بشكل صحيح ودقيق للقارئ العربي. سيتم كتابة المصطلحات الإنجليزية بجانب العربية إذا استوجب الأمر للتوضيح، العمليات الحسابية والرياضية ستكون باللغة الإنجليزية. سيضيف المترجم روابط ومراجع لبعض العنوانين التي لم يشرحها الكاتب بشكل مفصل وتحتاج مزيد من القراءة سواء في سطر تعليق أو عبر إضافة إشارة ( ) لكل رابط.

مثال: "توجد أنواع عديدة من دوال التنشيط Activation Functions مثل Tanh و ReLu" كل ( هنا رابط مختلف.

مثال لسطر تعليق للمترجم

للحصول على أفضل النتائج للأكواد البرمجية في هذا الكتاب ينصح باستخدام Jupyter Notebook وهي أداة تسمح لك بإنشاء ومشاركة صفحات يمكن من خلالها كتابة أكواد برمجية، عمليات حسابية ورسوم بيانية، ينصح بمشاهدة هذا الفيديو لمعلومات أكثر عن جوبتر.

تمأخذ الموافقة على ترجمة هذا الكتاب من سام لاو.

داتا 100 هي مادة متقدمة، وتستمر على طول السنة التعليمية وتأتي بعد داتا 8، مبادئ علم البيانات.

محفوبيات هذا الكتاب مرخصة لاستهلاك المجاني بموجب الترخيص التالي:

(Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0

## عن الكتاب

من المتوقع أن يكون القارئ على دراية بالمعلومات المقدمة في مادة داتا 8 أو ما يعادلها. بالأخص نتوقع أن يكون القارئ على علم بالمواضيع التالية (روابط للصفحات في مادة داتا 8 متوفرة بجانب كل عنوان):

- معالجة البيانات المجدولة: الاختبار، الفلترة، التجميع (رابط).
- مفاهيم الاحتمالات الأساسية (رابط).
- العينات، التوزيعات التجريبية في الإحصاء (رابط).
- اختبار الفرضيات باستخدام العينات العشوائية (Bootstrap) (رابط).
- الانحدار في المربعات الأدنى واستنباطه (رابط).
- التصنification (رابط).

بالإضافة إلى ذلك، نتوقع أن القارئ أخذ مادة في البرمجة بلغة بايثون، مثلاً CS61A أو ما يشابهها. لن نقوم بشرح كود بايثون إلا في حالات خاصة.

أخيراً، نتوقع أيضاً أن القارئ لديه معلومات أساسية عن المشتقفات الجزئية ( ، التدرج في حساب المشتقفات ( ، جبر المتجهات ( ، و جبر المصروفات ( .

## الرموز والإشارات

بغطي هذا الكتاب مواضيع مختلفة من عدة مجالات، وللأسف أن بعض هذه المجالات تستخدم نفس الرموز لوصف موضوع ما. ولإبعاد الشبهة، قمنا بإنشاء رموز مخصصة مختلفة قليلاً مما قد تكون تعرفه مسبقاً.

مغلمة المجتمع الإحصائي Population مُرَز لها ب  $\theta^*$ . قيمة مغلمة النموذج التي تقلل من دالة الخسارة زُرَز لها ب  $\hat{\theta}$ . عادةً، تحاول إيجاد  $\theta^* \approx \hat{\theta}$ . نقوم باستخدام الرمز  $\theta$  دون أي علامة، للإشارة إلى مغلمة النموذج التي لا تقلل من دالة الخسارة. على سبيل المثال، يمكننا أن نفترض قيمة  $\theta = 16$  لحساب نتيجة الخسارة للنموذج في تلك القيمة  $\theta$ . عند استخدام النزول الاشتراكي Gradient Descent للتلقييل من دالة الخسارة، سنستخدم  $\theta^{(t)}$  للتعديل عن قيم  $\theta$ .

سنستخدم دائمًا حروف إنجلزية صغيرة وغامقة للتعبير عن متجه لمعلمات المجتمع الإحصائي Vectors. مثلاً، نستخدم التالي للتعبير عن متجه لمعلمات المجتمع الإحصائي  $\theta_1^*, \theta_2^*, \dots, \theta_n^*$  ومصفوفة معلمات النموذج المدرب تكون  $[\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n] = \hat{\theta}$ . وسنستخدم دائمًا الحروف الإنجلزية الكبيرة الغامقة للتعبير عن المصفوفات. مثلاً، عادةً ما نرمز لمصفوفة البيانات بالرمز  $X$ . أيضًا سنستخدم دائمًا الحروف الكبيرة غير الغامقة لوصف المتغيرات العشوائية،  $K$  أو  $Y$ .

عند الحديث عن التمهيد  $\text{bootstrap}$ ، سنستخدم  $\theta^*$  للتعبير عن معلمات المجتمع الإحصائي، و  $\hat{\theta}$  للتعبير عن إحصائية اختبار العينة، و  $\tilde{\theta}$  للتعبير عن إحصائية اختبار تم استخدام  $\text{bootstrap}$  فيها.

## دورة حياة علم البيانات

### مقدمة

في علم البيانات، نستخدم بيانات عديدة ومتنوعة لاتخاذ قراراتنا. في هذا الكتاب سنتشرح مبادئ وتقنيات علم البيانات من الجانب الحساسي والتفكير الاستدلالي. وتشمل الخطوات التالية:

- تشكيل السؤال أو المشكلة.
- إيجاد وتنظيم البيانات.
- التحليل الاستكشافي للبيانات.
- استخدام التوقع والاستدلال لإيجاد النتائج.

ومن المتوقع أن تظهر مزيد من الأسئلة والمشاكل بعد آخر خطوة، في ذلك الوقت يمكننا إعادة الخطوات مرة أخرى لاكتشاف أي خصائص جديدة في مشكلتنا. هذا التكرار الإيجابي في عملنا يسمى دورة حياة علم البيانات.

إذا كانت دورة حياة علم البيانات سهلة، لما احتجنا كتبًا لشرحها. لحسن حظنا، كل خطوة لديها عدد مختلف من التحديات التي تكشف لنا أفكار جديدة تكون هي أساساً لاتخاذ قرارات مدروسة باستخدام البيانات.

## طلاب داتا 100

دورة حياة علم البيانات تتكون من الخطوات التالية:

### 1- تشكيل السؤال أو المشكلة:

- ما الذي نريد معرفته، أو ما هي المشكلة التي نريد حلها؟
- ما هي الفرضيات؟
- ما هي مقاييس نجاحنا؟

### 2- إيجاد وتنظيم البيانات:

- ما هي البيانات المتوفرة لدينا وما هي التي نبحث عنها؟
- كيف سنتتمكن من جمع المزيد من البيانات؟
- كيف نرتّب البيانات لنبدأ التحليل؟

### 3- التحليل الاستكشافي للبيانات:

- هل لدينا بيانات ذات علاقة بمشكلتنا؟
- هل تحتوي البيانات على تحيزات، بيانات شاذة، أو مشاكل أخرى؟
- كيف نحوال البيانات لتساعدنا على القيام بتحليل فعال؟

### 4- التوقع والاستدلال:

- ماذا تخبرنا البيانات؟
- هل أجابت على السؤال أو حلت المشكلة؟
- ما مدى قوّة نتائجنا؟

سنقوم الآن بتجربة هذه الخطوات على قائمة بيانات الأسماء الأولى لطلاب داتا 100 من الفصل السابق. في هذا الفصل، قمنا بالمرور بشكل سريع على الخطوات لإعطاء القارئ معلومات عن الدورة الكاملة. في فصول لاحقة، سنتحدث بشكل مفصل ونشرج كل خطوة.

### تشكيل السؤال أو المشكلة

نريد أن نعرف ما إذا كانت الأسماء الأولى للطلاب تقدم لنا معلومات إضافية عنهم. رغم أن السؤال يبدو غامضًا نوعاً ما، لكنه كافياً لجعلنا نعمل على البيانات المتوفرة لدينا ويمكننا التعديل في السؤال أثناء عملنا لنجعله أكثر دقة.

### إيجاد وتنظيم البيانات

لنبدأ بأخذ نظرة سريعة عن البيانات المتوفرة لدينا، البيانات هي قائمة لأسماء الطلاب الأولى للذين سبق أن درسوا مادة داتا 100. للتقطل، إن لم تفهم الكود البرمجي، سنشرحه ونشرج المكتبات المستخدمة لاحقاً. حالياً، ركز على الخطوات والرسوم البيانية:

لتحميل بيانات أسماء الطلاب [اضغط هنا](#)

&lt;/&gt;

```

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

students = pd.read_csv('roster.csv')
students

```

	Role	Name
0	Student	Keeley
1	Student	John
2	Student	BRYAN
...	...	...
276	Waitlist Student	Ernesto
277	Waitlist Student	Athan
278	Waitlist Student	Michael

279 rows × 2 columns

يمكن أن نلاحظ بشكل سريع وجود بعض المشاكل في بياناتنا. مثلاً، أحد الطلاب كتب اسمه بالأحرف الكبيرة بشكل كامل BRYAN، بالإضافة إلى أن معنى العمود Role لا يبدو واضحاً. نلاحظ أيضاً أن الجدول يحتوي على عامودين و 279 سطراً.

في هذه المادة، سنتعلم كيفية اكتشاف الأخطاء في بياناتنا وتصحيحها. الاختلاف في الحروف الكبيرة في الاسم Bryan سيجعل البرنامج يتوقع أن يختلف عن Bryan ولكن في الحقيقة هما نفس الشخص. لذا سنتحول جميع الأسماء إلى حروف صغيرة: BRYAN

&lt;/&gt;

```

students['Name'] = students['Name'].str.lower()
students

```

	Role	Name
0	Student	keeley
1	Student	john
2	Student	bryan
...	...	...
276	Waitlist Student	ernesto
277	Waitlist Student	athan
278	Waitlist Student	michael

279 rows × 2 columns

الآن، وبما أن البيانات لدينا بدأت تظهر بشكل مقبول، يمكننا الانتقال للخطوة التالية.

## التحليل الاستكشافي للبيانات

التحليل الاستكشافي للبيانات أو Exploratory Data Analysis EDA يطلق على الخطوات التي تتبعها لمعرفة صفات البيانات لعمل تحليلات لها لاحقاً. لنستعرض بيانات الطلاب:

&lt;/&gt;

```

students

```

	Role	Name
0	Student	keeley
1	Student	john
2	Student	bryan
...	...	...
276	Waitlist Student	ernesto
277	Waitlist Student	athan
278	Waitlist Student	michael

279 rows × 2 columns

الآن لدينا بعض الأسئلة، كم عدد الطلاب؟ ماذا يعني عمود Role؟ نقوم بخطوة التحليل الاستكشافي للبيانات للإجابة على مثل هذه الأسئلة.

```
</>
print("There are", len(students), "students on the roster.")
```

There are 279 students on the roster.

عدد الطلاب لدينا هو 279 طالباً. السؤال التالي دائماً يكون: هل تحتوي البيانات على كامل الطلاب؟ في حالتنا، الجدول يحتوي على جميع الطلاب الذين درسوا مادة داتا 100 في فصل دراسي واحد.

### ماذا يعني عمود `Role`؟

لنستكشف البيانات التي في هذا العمود لنعرف معناه:

```
</>
students['Role'].value_counts().to_frame()
```

Role	
Student	237
Waitlist Student	42

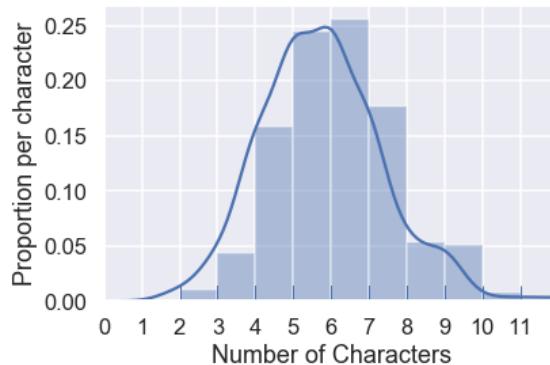
يمكن أن نرى في الجدول السابق أن البيانات لا تحتوي فقط على الطلاب الذين درسوا المادة Student، بل أيضاً على الطلاب الموجودين في قائمة الانتظار Waitlist Student. إذًا، العمود Role يخبرنا إذا كان الطالب التحق بالمادة أم لا.

### ماذا عن عمود `Name`؟ كيف يمكننا استكشافه؟

في هذه المادة سنتعامل مع عدد كبير من أنواع البيانات. الرقمية، النوعية والتخصية. كل نوع له أساليبه وأدواته الخاصة للاستكشاف.

طريقة سريعة لفهم عمود الأسماء Name هي بمعرفة عدد الأحرف في كل اسم:

```
</>
sns.distplot(students['Name'].str.len(),
             rug=True,
             bins=np.arange(12),
             xlabel="Number of Characters")
plt.xlim(0, 12)
plt.xticks(np.arange(12))
plt.ylabel('Proportion per character');
```



الرسم البياني السابق يخبرنا أن أكثر الأسماء يبلغ طولها بين 4 إلى 8 أحرف. هذا يساعدنا على معرفة ما إذا كانت بياناتنا معقولة أم لا. إذا كان هناك الكثير من الأسماء ذات حرف واحد، فيكون ذلك سبب مناسب لإعادة استكشاف البيانات.

رغم أن البيانات تبدو واضحة وبسيطة، سنعرف لاحقاً كيف أن الاسم الأول فقط قد يخبرنا الكثير عن مجموعة الطلاب لدينا.

### ماذا بداخل عمود الاسم؟

حتى الآن، وجهنا سؤال عام: "هل يخبرنا الاسم الأول للطالب أي شيء عن المادة؟"

قمنا بتنظيف البيانات بتحويلها جميعها لأحرف صغيرة. أثناء التحليل الاستكشافي للبيانات لاحظنا أن لدينا حوالي 270 طالباً منهم من درس المادة ومنهم من على قائمة الانتظار. وأكثر الأسماء بين 4 إلى 8 أحرف.

ماذا يمكننا معرفته عن طلاب المادة من أسمائهم؟ لنأخذ اسماً واحداً منها:

```
</>  
students['Name'][5]
```

```
'jerry'
```

من هذا الاسم، يمكننا القول أن صاحب الاسم ذكر، ويمكننا أيضاً توقع عمر الطالب. على سبيل المثال، إذا عرفنا أن اسم Jerry مشهور من بين أسماء الأطفال الذين ولدوا في عام 1998، يمكننا التوقع إن عمر الطالب في العشرينات.

التفكير بهذه الطريقة أوصلنا إلى سؤالين:

- هل تخربنا أسماء الطلاب عن توزيع الذكور والإإناث؟
- هل تخربنا أسماء الطلاب عن توزيع الأعمار؟

للإجابة على هذه الأسئلة، سنحتاج بيانات تربط بين الأسماء مع الجنس والسنوات. مؤسسة الضمان الاجتماعي الأمريكية لديها مثل هذه البيانات ومتوفرة على الإنترنت على [الرابط](#).

سنبدأ أولاً بتحميل البيانات من الموقع ثم نقلها إلى بايثون. مرة أخرى، لا تقلق إذا لم تفهم الكود البرمجي في هذا الفصل، فقط ركز على فهم الخطوات بشكل عام:

```
</>  
import urllib.request  
import os.path  
  
data_url = "https://www.ssa.gov/oact/babynames/names.zip"  
local_filename = "babynames.zip"  
if not os.path.exists(local_filename): # اذا توفرت البيانات، لا تحملها مرة أخرى #  
    with urllib.request.urlopen(data_url) as resp, open(local_filename, 'wb') as f:  
        f.write(resp.read())  
  
import zipfile  
babynames = []  
with zipfile.ZipFile(local_filename, "r") as zf:  
    data_files = [f for f in zf.filelist if f.filename[-3:] == "txt"]  
    def extract_year_from_filename(fn):  
        return int(fn[3:7])  
    for f in data_files:  
        year = extract_year_from_filename(f.filename)  
        with zf.open(f) as fp:  
            df = pd.read_csv(fp, names=["Name", "Sex", "Count"])  
            df["Year"] = year  
            babynames.append(df)  
babynames = pd.concat(babynames)  
babynames
```

	Name	Sex	Count	Year
0	Mary	F	9217	1884
1	Anna	F	3860	1884
2	Emma	F	2587	1884
		...	...	...
2081	Verna	M	5	1883
2082	Winnie	M	5	1883
2083	Winthrop	M	5	1883

1891894 rows × 4 columns

البيانات تحتوي على الأسماء، جنس الطفل، عدد الأطفال بهذا الاسم وسنة ميلاد كل طفل. للتاكيد، لنقرأ ما كتب الضمان الاجتماعي في شرحهم للبيانات على [الرابط](#).

جميع الأسماء أتت من بطاقات التقديم للضمان الاجتماعي لجميع الولادات التي كانت في الولايات المتحدة بعد عام 1879. ملاحظة: الكثير من ولدوا قبل 1937 لم يقوموا بالتقديم للحصول على البطاقة، لذلك أسماؤهم ليست ضمن البيانات. الآخرين الذين قاموا بتقديم طلباتهم، سجلاتنا لا تُظهر أماكن ولادتهم، لذلك أسماؤهم أيضاً لم تضاف إلى البيانات. هذه عينة كاملة من البيانات لدينا حتى تاريخ مارس 2017.

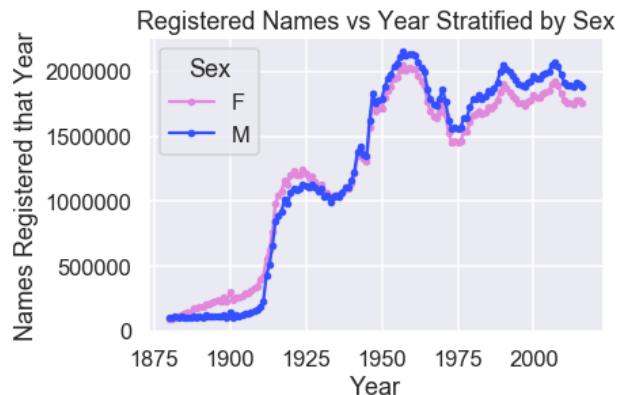
نبدأ أولاً بعرض عدد المواليد الذكور والإإناث كل سنة:

```
</>  
pivot_year_name_count = pd.pivot_table(  
    babynames, index='Year', columns='Sex',  
    values='Count', aggfunc=np.sum)
```

```

pink_blue = ["#E188DB", "#334FFF"]
with sns.color_palette(sns.color_palette(pink_blue)):
    pivot_year_name_count.plot(marker=".")
    plt.title("Registered Names vs Year Stratified by Sex")
    plt.ylabel('Names Registered that Year')

```



الزيادة المفاجئة لعدد المواليد في عام 1920 تبدو مشبوهة، ولكن في الاقتباس السابق تم توضيح السبب:

ملاحظة: الكثير من ولدوا قبل 1937 لم يقوموا بالتقديم للحصول على البطاقة، لذلك أسماؤهم ليست ضمن البيانات. الآخرين الذين قاموا بتقديم طلباتهم، سجلاتنا لا تُظهر أماكن ولادتهم، لذلك أسماؤهم أيضاً لم تضاف إلى البيانات.

يمكن ملاحظة فترة الإنجاب المتزايدة أو ما تسمى ب Baby boomers والتي كانت في الفترة بين 1946 حتى 1964، لقراءة المزيد عن هذا الموضوع قم بزيارة [الرابط](#).

### معرفة الجنس من الاسم

لنستخدم بيانات الأطفال السابقة لمعرفة عدد الذكور والإثنيات. كما فعلنا سابقاً، نبدأ أولاً بتصغير جميع حروف الأسماء في بيانات الأطفال:

```

babynames['Name'] = babynames['Name'].str.lower()
babynames

```

	Name	Sex	Count	Year
0	mary	F	9217	1884
1	anna	F	3860	1884
2	emma	F	2587	1884
		...	...	...
2081	verna	M	5	1883
2082	winnie	M	5	1883
2083	winthrop	M	5	1883

2084 rows × 4 columns

ثم نجمع عدد المواليد لكل اسم ونوع المولود:

```

sex_counts = pd.pivot_table(babynames, index='Name', columns='Sex',
                             values='Count', aggfunc='sum',
                             fill_value=0., margins=True)
sex_counts

```

Sex	F	M	All
Name			
aaban	0	96	96
aabha	35	0	35
aabid	0	10	10
	...	...	...
zyyon	0	6	6

Sex	F	M	All
zyzx	0	5	5
All	170639571	173894326	344533897

96175 rows × 3 columns

لتحديد ما إذا كان الاسم أكثر شيوعاً للأطفال الذكور أم الإناث، يمكننا حساب نسبة تكرار الاسم لدى أحد الجنسين:

```
</>
prop_female = sex_counts['F'] / sex_counts['All']
sex_counts['prop_female'] = prop_female
sex_counts
```

Sex	F	M	All	prop_female
Name				
aaban	0	96	96	0.0
aabha	35	0	35	1.0
aabid	0	10	10	0.0
	...	...	...	...
zyyon	0	6	6	0.0
zyzx	0	5	5	0.0
All	170639571	173894326	344533897	0.5

96175 rows × 4 columns

يمكننا تعريف دالة لتبحث لنا عما إذا كان الاسم ذكراً أو أنثى باستخدام النسبة السابقة:

```
</>
def sex_from_name(name):
    if name in sex_counts.index:
        prop = sex_counts.loc[name, 'prop_female']
        return 'F' if prop > 0.5 else 'M'
    else:
        return 'Name not in dataset'

students['sex'] = students['Name'].apply(sex_from_name)
sex_from_name('sam')
```

'M'

باستخدام الكود البرمجي السابق يمكننا تجربة أي اسم ومعرفة ما إذا كانت نسبة تسميتها كذكر أعلى من نسبة تسميتها كأنثى.

الآن لنعود إلى بيانات الطلاب ونضيف عليها ما إذا كان الطالب ذكراً أو أنثى:

	Role	Name	Sex
0	Student	keeley	F
1	Student	john	M
2	Student	bryan	M
	...	...	...
276	Waitlist Student	ernesto	M
277	Waitlist Student	athan	M
278	Waitlist Student	michael	M

279 rows × 4 columns

الآن يمكننا بسهولة معرفة عدد الذكور والإإناث بين طلابنا:

```
</>
students['sex'].value_counts()
```

M	144
F	92
Name not in dataset	43
Name: Sex, dtype: int64	

## إيجاد العمر من الاسم

باستخدام نفس الطريقة السابقة يمكننا إيجاد توزيع العمر في فصلنا، بربط كل اسم مع متوسط السنوات الذي تكرر فيها:

```
</>
def avg_year(group):
    return np.average(group['Year'], weights=group['Count'])

avg_years = (
    babynames
    .groupby('Name')
    .apply(avg_year)
    .rename('avg_year')
    .to_frame()
)
avg_years
```

avg_year	
Name	
aaban	2012.57
aabha	2013.71
aabid	2009.50
...	...
zyyanna	2010.00
zyyon	2014.00
zzyzx	2010.00

96174 rows × 1 columns

بنفس الطريقة السابقة، يمكن أن نبحث عن أي اسم ومعرفة متوسط سنة الميلاد:

```
</>
def year_from_name(name):
    return (avg_years.loc[name, 'avg_year']
           if name in avg_years.index
           else None)

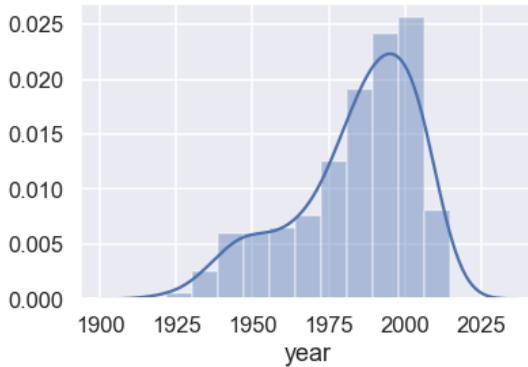
students['year'] = students['Name'].apply(year_from_name)
students
```

	Role	Name	Sex	Year
0	Student	keely	F	1998.15
1	Student	john	M	1951.08
2	Student	bryan	M	1983.57
		...	...	...
276	Waitlist Student	ernesto	M	1981.44
277	Waitlist Student	athan	M	2004.40
278	Waitlist Student	michael	M	1971.18

279 rows × 4 columns

الآن، يمكننا بسهولة عرض توزيع السنوات بين الطلاب:

```
</>
sns.distplot(students['year'].dropna());
```



ولعرض متوسط عمود السنة نقوم بالآتي:

```
students['year'].mean()
```

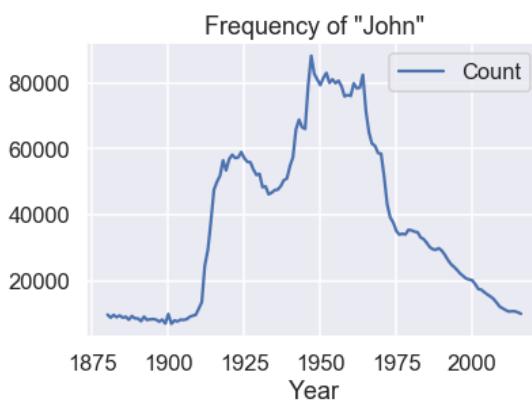
```
1983.846741800525
```

متوسط الأعمار لدينا هو 35 سنة ( $1983 - 1983 = 35$ )، تقريرياً أكثر بمرتين من العمر المتوقع للطلاب الجامعيين. لماذا تظهر لنا الأعمار مرتفعة بهذا الشكل؟

كحال بيانات، قد نصل لنتائج لا تتفق معها أو عكس توقعاتنا. التحدي الدائم الذي يواجهنا هو معرفة ما إذا كانت النتائج التي فاجأتنا سببها خطأ في إحدى خطواتنا أو خطأ حقيقي في البيانات. بما أنه لا يوجد هناك طريقة سهلة لضمان نتائج دقيقة، يجب أن يكون لدى عالم البيانات مبادئ وقواعد للتقليل من إيجاد نتائج خاطئة.

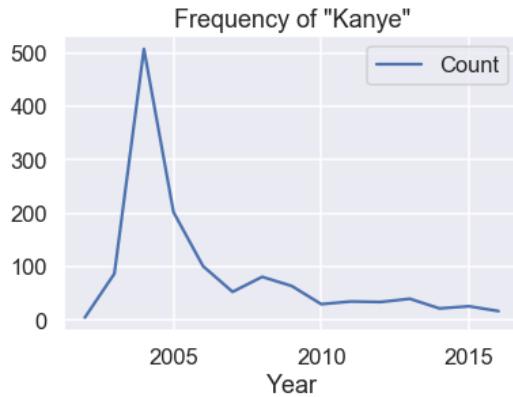
في حالتنا، التفسير الوحيد للنتيجة غير المتوقعة التي ظهرت لنا هو أن الأسماء الأكثر شيوعاً مستخدمة منذ سنوات عديدة. مثلاً الاسم John يعتبر من الأسماء الأكثر شيوعاً عبر التاريخ بناءً على البيانات التي حصلنا عليها. يمكننا تأكيد ذلك بعرض رسم بياني لعدد الأطفال الذين تم تسميتهم John كل سنة:

```
names = babynames.set_index('Name').sort_values('Year')
john = names.loc['john']
john[john['Sex'] == 'M'].plot('Year', 'Count')
plt.title('Frequency of "John"');
```



يبدو لنا أن متوسط السنة لا يعطي توقع دقيق لعمر الشخص. ولكن في بعض الحالات، الاسم الأول للشخص يساعدنا على ذلك، على سبيل المثال عند التجربة على اسم Kanye تظهر لنا النتيجة التالية:

```
names = babynames.set_index('Name').sort_values('Year')
kanye = names.loc['kanye']
kanye[kanye['Sex'] == 'M'].plot('Year', 'Count')
plt.title('Frequency of "Kanye"');
```



## الملخص

في هذا الفصل، قمنا بالمرور بشكل سريع على دورة حياة علم البيانات: تشكيل السؤال أو المشكلة، إيجاد وتنظيم البيانات، التحليل الاستكشافي للبيانات، التوقع والاستدلال. سنشرح بشكل مفصل كل خطوة في الفصول القادمة.

النصف الأول من الكتاب (الفصل 1 حتى 9) سيغطي الثلاث خطوات الأولى من دورة حياة علم البيانات ويركز بشكل كبير على طريقة الحساب وإيجاد النتائج. النصف الثاني (الفصل 10 حتى 18) يستخدم التفكير الحسابي والإحصائي لخطة موضع بناء النماذج، الاستدلال والتوقع.

بشكل عام، يسعى هذا الكتاب لتعريف القارئ على مبادئ وتقنيات علم البيانات.

## تصميم البيانات

### مقدمة

البيانات هي عصب علم البيانات. لذا من الصعب البدء بتحليل البيانات دون معرفة كيف تم جمعها.

في هذا الفصل سنتحدث عن تصميم البيانات، خطوة جمع وتكوين البيانات. الكثير من علماء البيانات استنجدوا نتائج مبكرة غير صحيحة لأنهم لم يتمكنوا من فهم بياناتهم. سنقوم باستعراض أمثله لتأكيد أهمية هذه النقطة، وأهمية استخدام الاحتمالات في علم البيانات لإيجاد العينات .

## ديوي يهزم ترومان

في صراع الرئاسة الأمريكية عام 1948، كان عمدة نيويورك "توماس ديوي" منافساً لـ "هاري ترومان". كالعادة، أجرت عدة وكالات مختصة بالاستطلاع والتصويت بعض الاستطلاعات للتنبؤ بالفائز في السباق الرئاسي.

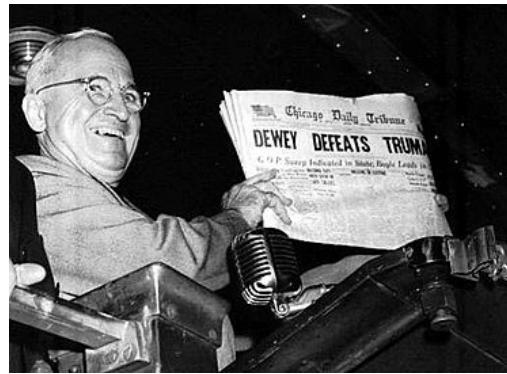
### 1936: كارثة الاستطلاع السابق

في عام 1936، أي ثالث سباقات انتخابية قبل 1948، توقعت مجلة The Literary Digest خسارة "فرانكلين روزفلت" وفاز ساحق لمنافسه "آلف لاتدن". وكان تبرير المجلة أنها قامت بأخذ عينة تصويت لأكثر من مليون شخص اعتماداً على أرقام الهواتف ومعلومات السيارات المسجلة. وكما يبدو واضحاً، هذه العينة تحتوي على تحيز كبير، لأن في تلك الفترة كان أغلب مالكي الهواتف والسيارات أغنى ممن لا يملكونها. في هذه الحالة، التحيز كان كبيراً حيث جعل المجلة تتوقع أن "روزفلت" سيحصل على 43% من إجمالي الأصوات، ولكنه في النهاية حصل على 61%，فارق حوالي 20% عن توقع المجلة ويعتبر من أكبر الأخطاء التي حدثت في استطلاع عام. بعد ذلك بفترة قصيرة، أغلقت المجلة ولم تعد تعمل.

### 1948: تصويت غالوب

رغبة في التعلم من الأخطاء السابقة، قامت "مؤسسة غالوب" باستخدام طريقة سميت بـ "عينة الحصة Quota Sampling" لتوقع نتيجة انتخابات الرئاسة الأمريكية لعام 1948. في فترة جمع البيانات، كل محاور استطلاع رأي مجموعة أشخاص من كل فئة ديمografية. مثلاً، كل محاور يجب أن يستطاع رأي الذكور والإناث، بمختلف الأعمار، الأعراق، ومستوى الدخل، ليطابق التراكيب السكانية في تعداد الولايات المتحدة. تم ذلك للتأكد أن التصويت لن يترك أي فئة من مجموع المصوّتين.

باستخدام هذه الطريقة، توقعت "غالوب" أن "توماس ديوي" سيكتب أصواتاً أكثر من "هاري ترومان" بنسبة 5%. الفارق كان ملحوظاً ليجعل صحيفة Chicago Tribune تطبع العنوان بشكل عريض "ديوي يهزم ترومان":



كما نعرف الآن، "ترومان" هو من انتصر بسباق الرئاسة. بالأصل، فاز بفارق 5% عن "ديوي"! ما الخطأ الذي حدث في تصويب "مؤسسة غالوب"؟



### المشكلة في العينة الحصصية

رغم أن الطريقة تساعد منظمي الاستطلاعات على تقليل الانحياز في جمع البيانات، لكنها أظهرت انحيازاً من جهة أخرى. حيث أخبرت المؤسسة محاوريها أن بإمكانهم مقابلة أيًا كان طالما أنهم ينجزون الحصة المخصصة لهم. هذه إحدى التفسيرات عن سبب حصول المحاورين على عدد غير مناسب من الجمهوريين. في ذلك الوقت، يعتبر الجمهوريون متوسطي الراء وغالباً ما يعيشون في أحياء راقية، مما يجعلهم أسهل لإجراء المقابلة. يدعم هذا التفسير حقيقة أن المؤسسة توقعت نسبة 2-6% أكثر للأصوات الجمهوريين مقارنة بالأرقام الحقيقية للانتخابات الثلاث السابقة.

هذه الأمثلة تظهر أهمية فهم الانحياز أثناء خطوة جمع البيانات. *Literary Digest* و "مؤسسة غالوب" كلاهما قاما بنفس الخطأ، اعتقاداً أن طريقتهم غير منحازة بينما في الحقيقة كلا الطريقيتين كانتا تعتمدان على أحكام المحاورين.

نحن الآن نعتمد على العينات المحتملة، إحدى طرق جمع العينات والتي تخصص احتمالات معينة لظهور أي عينة، للتقليل من الانحياز في جمع بياناتنا.

### البيانات الضخمة؟

في عصر البيانات الضخمة، نحاول التقليل من الانحياز بجمع المزيد من البيانات. في النهاية، نحن نعلم أنها ستعطينا احتمالات مناسبة؟ أليست كل العينات الكثيرة تعطيانا احتمالات مناسبة أيًا كانت طريقة جمع العينة؟

سنعود لهذا السؤال بعد مناقشة طرق جمع العينات المحتملة لمقارنة كلا الطريقيتين.

## نظرة عامة على الاحتمالات

الكثير من المبادئ الأساسية في علم البيانات، يشمل ذلك تصميم البيانات، تعتمد على قوانين معينة. قانون الاحتمالات *Probability* يسمح لنا بتحديد احتمالية حدوث شيء ما في هذا الفصل سنستعرض مراجعة سريعة عن الاحتمالات وأهيتها.

لنفرض أن لدينا عاملتين معدنيتين، بجهة توجد صورة *H* (Head) وفي الجهة الأخرى كتابة *T* (Tails). إذا أردنا رمي العملتين ومشاهدة النتيجة نسبياً ذلك بالتجربة *Experiment*. فضاء النتائج *Outcome Space* يشمل جميع النتائج المحتملة لهذه التجربة. فضاء نتائج تجربيتنا هو:  $\Omega = \{HH, HT, TH, TT\}$

الحدث *Event* هي أحد النتائج من فضاء النتائج. على سبيل المثال، الحصول على *H* واحد و *T* واحد هو أحد الأحداث من تجربتنا. هذا الحدث يتكون في النتائج  $\{HT, TH\}$ . نستخدم الرمز  $P(\text{event})$  للتغيير عن احتمالية الحدث، في مثالنا نرمز لها بـ  $P(\text{One Head and One tails})$  (احتمالية ظهور صورة مرة وكتابية مرة).

### احتمالية الأحداث

في هذا الكتاب، سنتعامل مع مشاكل لديها فضاءات نتائج تكون فيها احتمالية حدوث أي من النتائج متساوي. هذه الفضاءات لديها معادلة حسابية بسيطة لحساب الاحتمالية. المعادلة هي: عدد النتائج المحتملة للحدث قسمة عدد جميع الأحداث في فضاء النتائج:

$$P(\text{event}) = \frac{\# \text{ of outcomes in event}}{\# \text{ of all possible outcomes}}$$

في مثال رمي العملتين المعدنيتين، احتمالية حدوث جميع الأحداث  $\{HH, HT, TH, TT\}$  متساوية. لحساب  $P(\text{One Head and One tails})$  نجد أن احتمال حدوث الحدث هي 2 من مجموع الأحداث 4:

$$P(\text{One Head and One tails}) = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

يوجد لدينا ثلاث أساسيات مسلم بها في حساب الاحتمالات:

- احتمالية حدوث أي حدث هي عدد حقيقي بين 0 و 1:  $0 \leq P(\text{event}) \leq 1$

- مجموع احتمالية جميع الأحداث في فضاء العينة هو  $P(\Omega) = 1$ :
- الثالثة تتضمن الأحداث التي لا تحدث مع بعضها **Mutually Exclusive** مثل:
  - $A \cup B$  أو  $A$
  - $A \cap B$  أو  $B$
  - $B|A$  بشرط حدوث  $A$  أولاً

**B أو A**

عادةً ما نحاول إيجاد احتمالية حدوث  $A$  أو  $B$ . مثلاً، مؤسسة متخصصة في الاقتراع والتصويت تزيد إيجاد احتمالية اختيار شخص يشكل عشوائي بحيث يكون عمره 17 أو 18 سنة. ذكرنا أن الأحداث لا يمكن حدوثها في نفس الوقت **Mutually Exclusive**. إذا كانت  $A$  هي اختيارنا لشخص بعمر 17 سنة، و  $B$  هي اختيارنا لشخص بعمر 18 سنة، فإن حدوث  $A$  و  $B$  معاً مستحيل لأنه لا يمكن للشخص أن يكون عمره 17 و 18 في نفس الوقت.

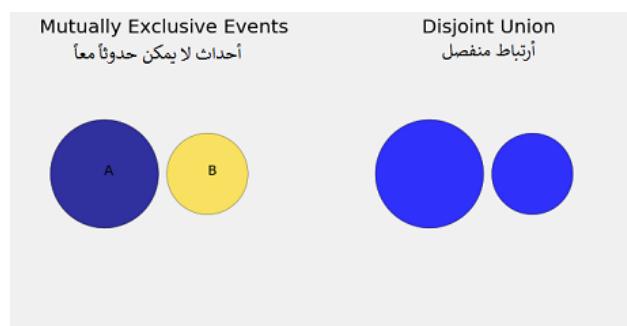
لحساب احتمالية  $P(A \cup B)$ :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

النوعي للسكان في الولايات المتحدة أظهر أن 1.4% من السكان الأمريكيين بعمر 17 سنة، و 1.5% بعمر 18 سنة. لذا إذا اختارنا شخصاً بشكل عشوائي من السكان فإن احتمالية أن عمره 17 سنة هي  $P(A) = 0.014$  و احتمالية أن عمره 18 سنة هي  $P(B) = 0.015$ ، ذلك يعني احتمالية اختيارنا لشخص يشكل عشوائي عمره 17 أو 18 سنة هي:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) = 0.014 + 0.015 = 0.029$$

لتوضيح الفكرة بشكل أكثر لنقم بشرحها على رسم **Venn** البياني:

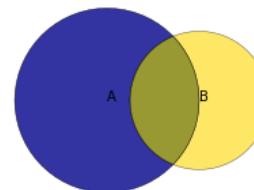


عندما يكون الحدثان  $A$  و  $B$  الذين لا يمكن حدوثهما معاً، فلا توجد نتائج تظهر في  $A$  و  $B$  معاً. لذا إذا كانت  $A$  تحتوي على 5 نتائج و  $B$  تحتوي على 4، فإن  $A \cup B$  تحتوي على 9 نتائج مُحتملة.

عندما تكون إمكانية ظهور النتائج معاً ممكناً فإنه لا يمكن تطبيق عملية الجمع عليها. لنعود لمثال العملتين المعدنيتين، نجد عند رمي العملة المعدنية أن نتيجة مُؤكدة واحدة هي صورة أو نتيجة مُؤكدة واحدة هي كتابة.

إذا كانت  $A$  هي حدث ظهور صورة مرة واحدة، إذا الاحتمالية هي  $P(A) = \frac{2}{4}$  لأن فضاء  $A$  يحتوي على النتائج  $\{HT, TH\}$  و مجموع النتائج المحتملة هو 4. وإذا كانت  $B$  هي حدث ظهور كتابةمرة واحدة، إذا احتماله يساوي  $P(B) = \frac{2}{4}$  لأن فضاء  $B$  يحتوي على النتائج  $\{HT, TH\}$ . ولكن الحدث  $A \cup B$  يحتوي على نتائجين فقط لأن النتيجيتن هنا متشاربهان في  $A$  و  $B$  وهي  $P(A \cup B) = \frac{1}{2}$ . القيام هنا بجمع النتائج لاحتساب الاحتمالات يوصلنا لنتيجة خاطئة. هناك نتائج تظهر في  $A$  و  $B$ ; إضافة الرقين لنتائج  $A$  و  $B$  في هذا المثال فسنكون قد حسبناهما مررتين. في الرسم البياني التالي يظهر الجزء المشترك بين  $A$  و  $B$ .

**Not Mutually Exclusive**  
**أحداث يمكن حدوثها معاً**



لحل هذه المشكلة، نحتاج لطرح احتمالية  $P(A \cap B)$ . ولحسابها نقوم بالتالي:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

لاحظ أنه عندما تكون احتمالية ظهور الأحداث  $A$  و  $B$  معاً مستحيلة، فإن  $P(A \cap B) = 0$  وبالتالي تظهر المعادلة السابقة.

نحاول أحياناً إيجاد احتمالية حدوث كلا الحدين  $A$  و  $B$  معاً. على سبيل المثال، إذا كان لدينا فصل بثلاث طلاب  $X$ ،  $Y$  و  $Z$ . ما هي احتمالية أن نختار عينة واحدة بحجم 2 يكون فيها  $Y$  القيمة الأولى وتليها  $X$ ? ودون أن نعيد عملية سحب العينة؟

إحدى الطرق لإيجاد الاحتمالية هي سرد جميع الاحتمالات الممكن حدوثها:

$$\Omega = \{ XY, XZ, YX, YZ, ZX, ZY \}$$

بما أننا نرغب بسحب عينة واحدة يكون فيها  $Y$  أولاً وتبعها  $X$  فإن النتيجة هي:

$$P(YX) = \frac{1}{6}$$

يمكن تقسيم الاحتمالية إلى قسمين، الأولى هي سحب العنصر  $Y$  أولاً، والثانية هي سحب  $X$  بعد  $Y$ . إذا احتمالية سحب  $Y$  أولاً هي  $\frac{1}{3}$  لأن هناك ثلاث احتمالات ممكن أن تُسحب وهي  $Y, X$  و  $Z$ .

بعد سحب  $Y$ ، فضاء النتائج لعملية السحب الثانية تحتوي على  $\{X, Z\}$ ، ويعني ذلك أن احتمالية سحب  $X$  كعنصر ثانٍ هي  $\frac{1}{2}$ . تسمى Heidi الاحتمالية بـ الاحتمال الشرطي Conditional Probability، وهي احتمالية سحب  $X$  بعد أن سحبنا  $Y$  أولاً. نستخدم الرمز  $P(B|A)$  للاحتمالية المشروطة ونعني هنا أن احتمالية حدوث  $B$  بشرط حدوث  $A$  مُسبقاً.

لنستعرض التالي:

$$\begin{aligned} P(YX) &= \frac{1}{6} \\ &= \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \\ &= P(\text{Y first}) * P(\text{X second}|\text{Y first}) \end{aligned}$$

قاعدة الضرب السابقة هي إحدى قواعد الاحتمالات العامة، لأي حدث  $A$  و  $B$ ، احتمالية حدوث كليهما هي:

$$P(AB) = P(A)P(B|A)$$

في بعض الحالات، كلا الحدين مستقلين Independent Events عن بعضهما. احتمالية ظهور  $B$  ثانية لا يتأثر إذا ظهر  $A$  أولاً أو لم تظهر. مثلاً، في حجر النرد، ظهور الرقم 6 لا يؤثر شيئاً على احتمالية ظهور الرقم 5 بعده. إذا كانت  $A$  و  $B$  مستقلين فإن:  $P(B|A) = P(B)$ . هذه تُبسط لنا قاعدة الضرب:

$$P(AB) = P(A)P(B) \quad \text{For Independent } A \text{ and } B$$

رغم أن ذلك يسهل لنا عملية الحساب، إلا أن في الواقع وعند مواجهة بيانات حقيقة، الأحداث ليست مستقلة عن بعضها، حتى ولو بدت العلاقة بينهما غير واضحة في البداية. مثلاً، احتمالية الاختبار الشعواني لمواطن أمريكي عمره 90 سنة أو أعلى ليست مستقلة عن كون المواطن ذكر أو أنثى، لأننا أعطينا أن الشخص عمره 90 سنة، فإن احتمالية أن يكون الشخص أنثى أكثر من أن يكون ذكراً.

كلملاء ببيانات، يجب علينا التتحقق من الفرضيات واستقلاليتها بشكل دقيقاً. سقوط سوق عقار المنازل الأمريكية عام 2008 كان يمكن تفادي له لو لم تفترض البنوك أن أسعار المنازل تختلف من مدينة لأخرى بشكل مستقل. (المزيد عن ذلك [هذا](#))

المزيد عن الاحتمالات: 

## استخدام الاحتمالات لإيجاد العينات

على عكس الطريقة العادلة لإيجاد العينات أو السحب العشوائي، استخدام الاحتمالات لإيجاد العينات يمكننا من تحديد بعض الصفات التي يجب توفرها في العينة. توجد طريقتان لإيجاد العينات باستخدام الاحتمالات: العينة العنقودية Cluster Sampling و العينة الطبقية Stratified Sampling.

إذا كان لدينا 6 أشخاص. وأنطينا كل شخص حرفاً مختلفاً من  $A$  إلى  $F$ :

### العينة العشوائية البسيطة

للحصول على عينة عشوائية ذات حجم 2 من مجموعة الأشخاص، يمكننا كتابة حرف كل شخص على ورقة، وضعها في صندوق، خلطها، ثم سحب ورتين. ببساطة هذه هي طريقة العينة العشوائية البسيطة.

النتائج المحتملة ذات الحجم 2 هي:

*AB BC CD DE EF*

*AC BD CE DF*

*AD BE CF*

*AE BF*

*AF*

يوجد لدينا 15 عينة محتمل حدوثها ذات الحجم 2 من مجموع الأشخاص الستة. طريقة أخرى لحساب مجموع العينات المحتملة:

$$\binom{6}{2} = \frac{6!}{2!(6-2)!} = \frac{6!}{2!4!} = \frac{6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1}{(2 \times 1) \times (4 \times 3 \times 2 \times 1)} = \frac{720}{2 \times 24} = \frac{720}{48} = 15$$

بما أن السحب يتم بطريقة عشوائية وجميع العينات متساوية باحتمالات سحبها، فإن احتمالية سحب كل عينة من 15 نتائج المحتملة هي:

$$P(AB) = P(CD) = \dots = P(DF) = \frac{1}{15}$$

يمكننا أيضاً توقع احتمالية ظهور عنصر معين في العينة بحجم 2. مثلاً، العنصر *A* يظهر 5 مرات في القوائم التي عرضناها سابقاً، إذ:

$$P(A \text{ in sample}) = \frac{5}{15} = \frac{1}{3}$$

ينطبق هذا المثال على جميع العناصر الأخرى:

$$P(A \text{ in sample}) = P(F \text{ in sample}) = \frac{1}{3}$$

توجد طريقة أخرى لحساب احتمالية ظهور عنصر معين. مثلاً لظهور *A* في العينة، يجب علينا سحبها أولاً أو ثانياً. إذ:

$$P(A \text{ in sample}) = P(A \text{ is first or } A \text{ is second})$$

$$= P(A \text{ is first}) + P(A \text{ is second})$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \frac{5}{5} + \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{5}$$

$$= \frac{1}{3}$$

## العينة العنقودية Cluster Sampling

في العينة العنقودية تقوم بتقسيم البيانات إلى مجموعات. ثم نستخدم مفاهيم العينة العشوائية البسيطة لاختيار المجموعات بشكل عشوائي.

مثلاً، إذا كان لدينا 6 أشخاص ثم جمعناهم في مجموعات من شخصين: (*A, B*) (*C, D*) (*E, F*) (*A, B*) (*C, D*) (*E, F*). ليتم تكوين 3 عناقيد (مجموعات) من شخصين. نستخدم الآن العينة العشوائية البسيطة على هذه العناقيد. كما فعلنا سابقاً، لإيجاد احتمالية ظهور *A* في العينة:

$$P(A \text{ in sample}) = P(AB \text{ drawn}) = \frac{1}{3}$$

وبنفس النتيجة، فإن احتمالية ظهور أي شخص في العينة العشوائية هو  $\frac{1}{3}$ . نلاحظ أن الاختلاف الوحيد بين هذه الطريقة وطريقة العينة العشوائية البسيطة هو في العينات نفسها. مثلاً، في العينة العشوائية البسيطة احتمالية حصولنا على *AB* هو نفس احتمالية حصولنا على *AC* وهي  $\frac{1}{15}$ . ولكن في العينة العنقودية الاحتمالية هي:

$$P(AB) = \frac{1}{3}$$

$$P(AC) = 0$$

لأن *A* و *C* لا يظهران معاً في نفس المجموعة.

إذاً لماذا نستخدم العينة العنقودية؟ الطريقة فعالة جداً لأنها تسهل تجميع العينات. مثلاً، يعتبر من الأسهل إجراء استطلاع في مدينة مكونة من 100 شخص بدلاً من استطلاع آلاف الأشخاص موزعين على عدد مختلف من المدن والولايات. لهذا الكبير من مؤسسات التصويت هذه الأيام تستخدم العينات العنقودية لإجراء استطلاعاتها.

السلبية الوحيدة في العينة العنقودية هي أنها قد تظهر اختلاف Variance كبير في التوقع. يعني ذلك أننا نحتاج لأخذ عينات أكبر عند استخدام هذه الطريقة. لاحظ أن الواقع هذا أعقد بكثير من مثالنا السابق.

## العينة الطبقية Stratified Sampling

كما يظهر من اسمها، في العينة الطبقية نقسم البيانات إلى طبقات، ثم نوجد عينة عشوائية بسيطة لكل طبقة. في كلا النوعين، الطبقية والعنقودية، نقسم البيانات إلى مجموعات، في العنقودية نستخدم العينة العشوائية البسيطة مرة واحدة، وفي العينة الطبقية نستخدمها أكثر من مرة (في كل مجموعة).

على نفس المثال السابق، يمكننا تقسيم الأشخاص الستة إلى الطبقتين التاليتين:

$$\text{Strata 1: } \{A, B, C, D\}$$

$$\text{Strata 2: } \{E, F\}$$

نستخدم العينة العشوائية البسيطة على كل طبقة لنسخن قيمة واحدة لنكون المجموعة المطلوبة والتي حجمها يساوي 2. الاحتمالات التي يمكن أن تحدث هي:

$$(A, E) \quad (A, F) \quad (B, E) \quad (B, F) \quad (C, E) \quad (C, F) \quad (D, E) \quad (D, F)$$

مرة أخرى، يمكننا إيجاد احتمالية وجود  $A$  في عينتنا العشوائية:

$$P(A \text{ in sample}) = P(A \text{ selected from Strata 1})$$

$$= \frac{2}{8}$$

$$= \frac{1}{4}$$

كما في العينة العنقودية، احتمالية  $0$  لأن  $A$  و  $B$  في نفس الطبقة.

كلا الطريقتين، العنقدية والطبقية، ينتجان نتائج مختلفة للاحتمالات بناءً على طريقة تقسيم البيانات فيهما. ويمكن ملاحظة أنه لا يجب أن تكون كل التقسيمات (الطبقات) متساوية الحجم. على سبيل المثال، يمكننا تقسيم الولايات المتحدة بناءً على الوظائف، ثم نأخذ عينات من كل طبقة بناءً على نسبة توزيع الوظائف، إذا كان فقط 0.01% منهم إحصائيين، فيجب أن تتأكد أن 0.01% من نسبة عينتنا تحتوي على إحصائيين.

إذا كنت تتوقع أن عينة الطبقات هي الأفضل لاستخدام للقيام بالعينة الحصصية Qouta Sampling فأنت على صواب. عينة الطبقات تسمح للباحث بالتأكد أن جميع الطبقات والمجموعات الفرعية ممثلة بشكل مناسب في العينة النهائية دون تدخل بشري لاختيار العينات. هذا قد يقلل أحياناً من الاختلاف في التوقع، ولكن العينة الطبقية قد تكون أصعب لأننا أحياناً لا نعرف حجم كل طبقة.

### لماذا عينة الاحتمالات؟

تساعدنا عينة الاحتمالات في تحديد عدم يقيننا في تقدير أو تنبؤ. فقط بهذه الخطوة يمكننا اختبار فرضياتنا واستنتاجاتنا. كُن حذراً من أن يعطيك شخصاً قيمة عينة الاحتمالات أو مستويات الثقة في مشاريعهم دون شرح وافي واضح عن طريقتهم في إيجاد العينات.

الآن بما أننا فهمنا عينة الاحتمالات، لنقارن بين العينة العشوائية البسيطة والبيانات الضخمة.

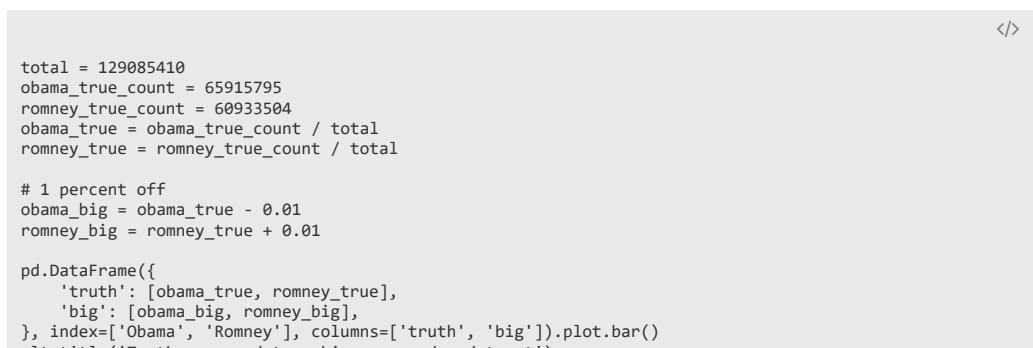
## العينة العشوائية البسيطة × البيانات الضخمة

كما ذكرنا سابقاً، قد يبدو أسهل لنا استخدام بيانات أكثر للتخلص من الانحياز. صحيح أن جمع بيانات أكثر منطقياً يظهر نتائج غير متوجزة، ربما لن يكون الانحياز مشكلة بالنسبة لنا إذا ما قمنا فقط بجمع المزيد من البيانات.

للتخلص أثنا منظمي استطلاعات ونزيد توقع الرئيس القادم للولايات المتحدة الأمريكية في 2012، السباق كان بين "باراك أوباما" و "ميت رومني". بما أننا نعرف اليوم من فاز في هذا السباق، يمكننا أن نقارن بين توقعات العينة العشوائية البسيطة وتوقعات البيانات الغير عشوائية الضخمة، يطلق عليها أحياناً البيانات الإدارية Administrative Datasets لأنها بيانات تجمع من أنظمة إدارية.

سنقارن بين بيانات عشوائية بسيطة حجمها 400، وبينات غير عشوائية ضخمة حجمها 60,000,000. بياناتنا الغير عشوائية حجمها أكثر بـ 150,000 مرة عن بياناتنا العشوائية!

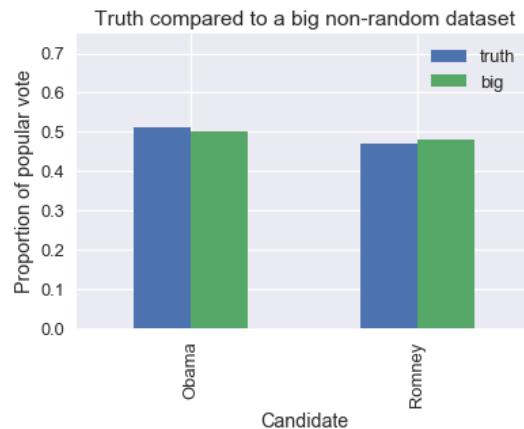
في الرسم البياني التالي مقارنة بين النتائج الحقيقة لسباق الرئاسة والعينة الغير عشوائية. اللون الأزرق Truth تعني الأرقام الحقيقة التي حصل عليها كل مرشح، اللون الأحمر Big يظهر الأرقام من بياناتنا الضخمة:



```

plt.title('Truth compared to a big non-random dataset')
plt.xlabel('Candidate')
plt.ylabel('Proportion of popular vote')
plt.ylim(0, 0.75);

```



يمكن أن نرى أن البيانات الغير عشوائية الضخمة انجازت قليلاً للمرشح الجمهوري "ميت رومني"، كما كانت في تصويت غالوب عام 1948. لزى تأثير هذا الانحياز، لنأخذ عينة عشوائية بسيطه من 400 شخص و عينه ضخمة غير عشوائية حجمها 60,000,000. سنسحب نسبة المصوتين للمرشح "باراك أوباما" في كل عينة:

```

srs_size = 400
big_size = 60000000
replications = 10000

def resample(size, prop, replications):
    return np.random.binomial(n=size, p=prop, size=replications) / size

srs_simulations = resample(srs_size, obama_true, replications)
big_simulations = resample(big_size, obama_big, replications)

```

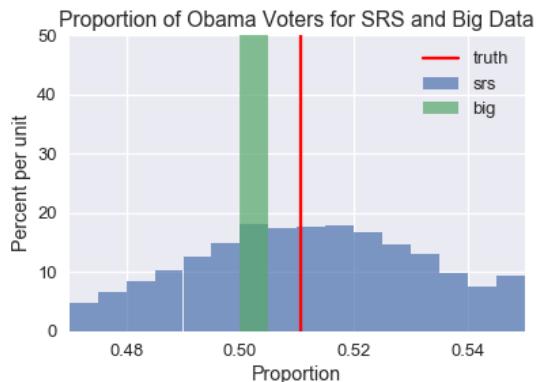
ورسم النتائج، بنفس الألوان السابقة، اللون الأزرق يعني البيانات العشوائية البسيطة، واللون الأخضر يعني نتائج توقع البيانات الضخمة، الخط الأحمر هي النتائج الحقيقية:

```

bins = bins=np.arange(0.47, 0.55, 0.005)
plt.hist(srs_simulations, bins=bins, alpha=0.7, normed=True, label='srs')
plt.hist(big_simulations, bins=bins, alpha=0.7, normed=True, label='big')

plt.title('Proportion of Obama Voters for SRS and Big Data')
plt.xlabel('Proportion')
plt.ylabel('Percent per unit')
plt.xlim(0.47, 0.55)
plt.ylim(0, 50)
plt.axvline(x=obama_true, color='r', label='truth')
plt.legend();

```



كما نرى، توزيع نتائج البيانات العشوائية البسيطة مُتركز حول النتيجه الحقيقه للتصويت، بينما توزيع البيانات الغير عشوائيه الضخمه عكس ذلك، ولم ينتج أي تنبؤ صحيح لنسبة المصوتين الحقيقية. إذا اردنا أن تكون مجالاً للثقة Confidence Intervals باستخدام البيانات الغير عشوائيه، فلن يحتوي أياً منها على نسبة التصويت الحقيقه. لجعل الأمر أكثر سوءاً، مجال الثقة سيكون نحيفاً جداً لأن العينه كبيره. وبالتالي ستظهر لنا توقعات خاطئة.



في الحقيقة، عندما تكون طريقة إيجاد العينه لدينا مُنحازة فإن توقعنا عادة ما يكون في البدايه سيء، وكلما جمعنا المزيد من البيانات فأنتا تؤكّد خطأ نتائجنا. للقيام بتوقعات صحيحة حتى باستخدام عينات متخيّزة قليلاً، العينه يجب أن يكون حجمها مقاير لحجم المجموعه، وهذا مطلب لا يمكن تنفيذه عادةً. **جودة البيانات** تهم أكثر بكثير من حجمها.

## ملخص الفصل الثاني

قبل قبول نتائج تحليل البيانات، يجب أن نتحقق من جودة البيانات. يجب أن نسأل أنفسنا الأسئلة التالية:

- هل البيانات كامله (تحتوي على كامل المجموعه التي تهمنا)؟ إذا كانت كذلك، يمكننا إذًا إيجاد خصائص المجموعات دون الحاجة للإستدلال.
- إذا كانت البيانات عينه، كيف تم جمع العينه؟ للقيام بالإستدلال بشكل صحيح، يجب أن تكون البيانات قد جمعت باستخدام طريقه تستخدم الاحتمالات، ويتم شرحها بشكل كامل.
- ما هي التعديلات التي تمت على البيانات قبل إيجاد النتائج؟ هل أثرت هذه التعديلات على جودة البيانات؟

للحصول على معلومات أكثر ومقارنه بين العينات العشوائيه البسيطه وغير عشوائيه الضخمه، نقترح مشاهدة [هذا الدرس](#) بواسطة الإحصائي تشاولي مينق.

## البيانات المجدولة ومكتبة بانداز

### مقدمة

#### العمل مع البيانات المجدولة

البيانات المجدولة Tabular data تعتبر من أكثر أشكال البيانات استخداماً. في الفصلين السابقتين استخدمنا مكتبة بانداز Pandas للتتعامل مع البيانات المجدولة، بانداز تعتبر المكتبة الرائدة في هذا المجال. رغم أن الكتابة في بانداز تبدو صعبة بعض الشيء، لكنها تحسن كثيراً من الأداء وتسهل التعامل مع البيانات المجدولة وتعتبر الأولى في المجال سواء في الأوساط العملية أو الأكاديمية.

من المهم أن تفهم الخطوات الأساسية للتتعامل مع البيانات بدلاً من فهم تفاصيل كتابة الأوامر في بانداز، مثلاً، فهم متى تستخدم خاصية الجمع Group by أكثر أهمية من معرفة كيفية كتابة الأمر في بانداز. بما أن هذا الفصل يحتوي على الكثير من الأدوات البرمجية، ننصحك بالتركيز والقراءة أكثر من مرة: مرة لفهم الكود البرمجي، ومرة لفهم متى يجب عمل هذه الأمر.

لأننا سنغطي فقط أهم الأوامر المستخدم في بانداز، يمكنك الرجوع دائمًا [لشرح المكتبة](#) عندما تقوم بنفسك بتحليل البيانات.

سنبدأ أولاً بالحديث عن أشكال البيانات التي يمكن لبانداز قراءتها. ثم سننكل عن أسماء الأعمدة، التقسيمات، التجميع، دالة التطبيق والنصوص في البيانات المجدولة.

## هيكلة البيانات

هيكل وشكل البيانات يعتبر مهم لفهم وعرض البيانات. مثلاً، البيانات التي تكون على شكل جداول نعرضها في أعمدة وصفوف. على العكس البيانات الهرمية، كشجرة العائلة، تسمح لكل قيمة أن تحتوي على قيمة أخرى بأشكال مختلفة. يوجد الكثير من الطرق لهيكلة وعرض البيانات، في هذا الكتاب ستعلم غالب الوقت على البيانات التي تظهر على شكل جداول.

صيغة ملف البيانات، توضح كيف تم حفظ البيانات على جهاز الكمبيوتر، مثلاً، ملف CSV (comma-separated values) يحتوي على بيانات يفصل بين كل قيمة والأخرى فاصلة (,). في هذا الكتاب سنطبق على عدة أنواع:

- هذه الملفات كل سطر يمثل صف؛ ويفصل بين البيانات بعلامة الفاصلة (,) أو علامه tab (탭). أول صف في هذه الملفات عادة ما يكون مخصص لأسماء الأعمدة.
- هرفي وتحتوي على مفاتيح Keys وقيم Values، عندما تزيد قيمة معينة نبحث عنها بالمفتاح الخاص فيها، تشبه بشكل كبير القواميس Dictionary في لغة بايثون.
- كما في JSON، هذه الملفات هرمية وتتبع طريقة المفاتيح والقيم.

يوجد الكثير من الأدوات للتتعامل مع أنواع مختلفة من صيغ الملفات، في هذا الكتاب سنقوم دائمًا بمعالجة البيانات وتحويلها إلى جداول. لماذا نجري أنسنة على هذا الخيار؟ أولًا، الكثير من البحوث قامت بعرض الطرق المناسبة لحفظ ومعاجلة الجداول. ثانياً، الجداول تشبه كثيراً المصفوفات لهذا استخدامها أسهل بكثير للقيام بالعمليات الرياضية.أخيراً، جداول البيانات هي الأكثر استخداماً.

في بانداز يمكننا استخدام الدالة pd.read\_csv لقراءة ملفات CSV و TSV، الملفات الأخرى لها دوال مختلفة، لذا نحتاج أولاً التحقق من نوع صيغة الملف قبل التعامل معه.

## أدوات سطر الأوامر

جميع أجهزة الكمبيوتر توفر إمكانية الوصول لمترجم Shell Interpreter، مثل sh أو bash. كما في مترجم نصوص بايثون، يسمح المترجم للمستخدم بكتابة الكود البرمجي وعرض نتيجته. مترجم Shell يقوم بعملياته مع الحاسب وملفاته، ولديه لغته الخاصة ودوال وطريقه مختلفة بالكتابة.

نستخدم المصطلح أداة سطر الأوامر (CLI) للحديث عن الأوامر التي تستخدم في الشيل، رغم أنها ستحدث عن القليل من أدوات سطرب الأوامر في هذا الفصل، إلا أنه يوجد الكثير من الأدوات التي تسمح لنا بالعديد من العمليات التي يمكن فعلها على الحاسب.

**ملاحظة:** جميع أدوات سطرب الأوامر مخصصة لشيل sh، المترجم الافتراضي على أجهزة ماكنتوش ولينكس. تم استخدام Jupyter والذي يستخدم نفس الأداة. أجهزة ويندوز تستخدم مترجم سطرب الأوامر المستخدمة في هذا الكتاب قد لا تعمل على ويندوز.

يمكن استخدام أوامر sh على أجهزة ويندوز عن طريق [Gitbash](#).

بما أن أداة جوبتر تستخدم نفس مترجم شيل، فبإمكاننا استخدام الأوامر في خلايا الأداة. إذا أضفت علامة تعجب (!) قبل الحرف، فإن الأداة تفهم أن هذا الأمر هو أمر لمترجم شيل فيتم إرسال الأمر له. مثلاً الأمر !ls يعرض لنا جميع الملفات في المجلد الذي نعمل فيه حالياً:

```
</>  
!ls
```

```
babynames.csv          pandas_indexes.ipynb  
others                 pandas_intro.ipynb  
pandas_apply_strings_plotting.ipynb pandas_structure.ipynb  
pandas_grouping_pivoting.ipynb
```

أدوات ودوال سطرب الأوامر مثل !ls عادة ما تأخذ متغيرات، تماماً كما تأخذ دوال بابيثون متغيرات. في sh، نقوم بوضع المتغيرات بين مسافات، وليس أقواس كما في بابيثون. كتابة الأمر !ls ثم اسم المجلد يظهر لنا الملفات داخل ذلك المجلد:

```
</>  
!ls others
```

```
babies.data
```

عندما نجد الملف الذي نبحث عنه، نستخدم أدوات سطرب الأوامر للتحقق من هيكلة. الأمر head يظهر لنا بعض الأسطر في الملف، يمكننا من إلقاء نظرة سريعة على محتوى الملف:

لتحميل البيانات، [اضغط هنا](#).

```
</>  
!head others/babies.data
```

bwt	gestation	parity	age	height	weight	smoke
120	284	0	27	62	100	0
113	282	0	33	64	135	0
128	279	0	28	64	115	1
123	999	0	36	69	190	0
108	282	0	23	67	125	1
136	286	0	25	62	93	0
138	244	0	33	62	178	0
132	245	0	23	65	140	0
120	289	0	25	62	125	0

العدد الافتراضي للأسطر الذي يعرضها الأمر head هي أول 10 أسطر في الملف، يمكننا عرض آخر 10 أسطر باستخدام :tail:

```
</>  
!tail others/babies.data
```

103	278	0	30	60	87	1
118	276	0	34	64	116	0
127	290	0	27	65	121	0
132	270	0	27	65	126	0
113	275	1	27	60	100	0
128	265	0	24	67	120	0
130	291	0	30	65	150	1
125	281	1	21	65	110	0
117	297	0	38	65	129	0

يمكننا طباعة كل محتوى الملف باستخدام الأمر cat. انتبه عند استخدام هذا الأمر، لأن طباعة الملفات ذات المحتوى الكبير قد يؤثر على الشيل:

&lt;/&gt;

```
!cat others/text.txt
```

```
"city","zip","street"
"Alameda","94501","1220 Broadway"
"Alameda","94501","429 Fair Haven Road"
"Alameda","94501","2804 Fernside Boulevard"
"Alameda","94501","1316 Grove Street"
```

في أحيان عديدة، استخدام `head` و `tail` يكفي لمعرفة هيكلة الملف. مثلاً يمكننا رؤية أن ملف `babynames.csv` يستخدم صيغة CSV:

[لتحميل البيانات، اضغط هنا.](#)

&lt;/&gt;

```
!head babynames.csv
```

```
Name,Sex,Count,Year
Mary,F,9217,1884
Anna,F,3860,1884
Emma,F,2587,1884
Elizabeth,F,2549,1884
Minnie,F,2243,1884
Margaret,F,2142,1884
Ida,F,1882,1884
Clara,F,1852,1884
Bertha,F,1789,1884
```

يمكننا قراءة ملفات CSV باستخدام بانداز والدالة `pd.read_csv`:

&lt;/&gt;

```
# كلام مختصر للمكتبة بانداز pd سنستخدم دائماً بشكل كبير كاختصار ل pd تستخدم
import pandas as pd

pd.read_csv('babynames.csv')
```

	Name	Sex	Count	Year
0	Mary	F	9217	1884
1	Anna	F	3860	1884
2	Emma	F	2587	1884
...	...	...	...	...
1891891	Verna	M	5	1883
1891892	Winnie	M	5	1883
1891893	Winthrop	M	5	1883

1891894 rows × 4 columns

## حجم الملفات

لاحظ أن قراءة الملف `babynames.csv` نتج عنها DataFrame تحتوي على أكثر من 2 مليون سطر. جميع أجهزة الكمبيوتر لديها قدرات محدودة لا تستطيع تجاوزها. وقد يحدث أن تصل لهذه المراحل مرات عديدة ويبذل جهازك بالعمل ببطء بسبب أن كثير من البرامج تعمل في نفس الوقت. نحاول دائماً على عدم الوصول لهذه المرحلة أثناء عملنا مع البيانات.

DataFrame: جدول ثنائي الأبعاد، يستخدم كثيراً مع البيانات المجدولة ويحتوي على أعمدة وصفوف. لمعلومات أكثر [هذا](#).

في كثير من الحالات، نستخدم بيانات للتحليل يتم تجميعها من الإنترنت. وتشغل هذه الملفات جزء من مساحة التخزين في الجهاز. يحتاج بايثون للتعامل وتتعديل هذه البيانات لقراءة البيانات عن طريق ذاكرة التخزين العشوائية **RAM**. حجم الذاكرة العشوائية يكون غالباً أصغر بكثير من حجم مساحة التخزين.

كلاهما، مساحة التخزين وذاكرة التخزين العشوائية، يستخدمون البايت **Byte** لقياس مساحتها. تقريباً، كل حرف في ملف نصي عبارة عن بايت واحد. مثلاً ملف يحتوي على 177 حرفاً يشغل مساحة 177 بايت من مساحة التخزين.

بالطبع الكثير من البيانات التي نعمل عليها اليوم تحتوي على الكثير من الحروف، لوصف حجم الملفات ذات الحجم الكبير، نستخدم التالي:

الرمز	المضاعف	عدد البايت
KiB	Kibibyte	$1024 = 2^{10}$
MiB	Mebibyte	$1024^2 = 2^{20}$
GiB	Gibibyte	$1024^3 = 2^{30}$
TiB	Tebibyte	$1024^4 = 2^{40}$
PiB	Pebibyte	$1024^5 = 2^{50}$

مثلاً، ملف يحتوي على 52428800 حرف، يشغل مساحة 50 بايت = 50 ميبيايت = MiB 50.

$$\frac{52428800 \text{ byte}}{1024} = 51200 \text{ KiB}$$

$$\frac{52428800 \text{ byte}}{1024^2} = \frac{52428800}{1048576} = 50 \text{ MiB}$$

لماذا نستخدم مضاعفات 1024 بدلاً من 1000 ؟ لأن جميع أجهزة الكمبيوتر تستخدم نظام العد الثنائي Binary Numbers وفيها مضاعفات 2 أسهل للاستخدام. ستر أيضًا الوحدات المعروفة دولياً تستخدم لحساب أحجام الملفات، مثل كيلو بايت، ميغا بايت وقيبا بايت. للأسف تستخدم هذه الوحدات بشكل غير متفق عليه. أحياناً يقصد بالكيلو بايت 1000 بايت، ومرات أخرى يقصد 1024 بايت. للتخلص من هذا الالتباس، سنتستخدم الكيلي، ميري، والجيبي بايت والتي تصف بشكل دقيق مضاعفات 1024.

ما هي طرق القراءة الملف؟

قبل البدء في تحليل البيانات، نحتاج أن نتأكد أن أحجام الملفات التي سنعمل عليها يمكن التحكم بها. ونستخدم لذلك أداة سطر الأوامر والأمر du :

```
</>
!ls others
```

```
babies.data text.txt
```

أوامر سطر الأوامر يمكن إضافة بعض المتغيرات عليها لتقدم لنا مزيداً من المعلومات. مثلاً، إضافة -l للأمر يعطينا التالي:

```
</>
!ls -l others
```

```
total 80
-rw-r--r--@ 1 sam staff 34654 Dec 19 13:34 babies.data
-rw-r--r-- 1 sam staff    177 Dec 19 13:37 text.txt
```

العمود الخامس من النتيجة السابقة للأمر تعطينا حجم الملف بالبايت. ونرى أن الملف babies.data يشغل 34654 بايت. لجعل القيمة أكثر سهولة للقراءة نستخدم الأمر -h :

```
</>
!ls -l -h others
```

```
total 80
-rw-r--r--@ 1 sam staff    34K Dec 19 13:34 babies.data
-rw-r--r-- 1 sam staff   177B Dec 19 13:37 text.txt
```

نرى الآن أن الملف يشغل 34 كيلي بايت. رغم أن الملف babynames.csv يحتوي على أكثر من 2 مليون سطر، إلا أنه يشغل فقط 30 ميبي بايت.

```
</>
!ls -l -h
```

```
total 62896
-rw-r--r-- 1 sam staff    30M Aug 10 22:35 babynames.csv
drwxr-xr-x 4 sam staff   128B Dec 19 13:37 others
-rw-r--r-- 1 sam staff   118K Sep 25 17:13 pandas_apply_strings_plotting.ipynb
-rw-r--r-- 1 sam staff    34K Sep 25 17:13 pandas_grouping_pivoting.ipynb
```

```
-rw-r--r-- 1 sam staff 32K Dec 19 13:07 pandas_indexes.ipynb  
-rw-r--r-- 1 sam staff 2.1K Dec 19 13:23 pandas_intro.ipynb  
-rw-r--r-- 1 sam staff 23K Dec 19 13:44 pandas_structure.ipynb
```

## حجم المجلدات

في بعض الأحيان نريد معرفة حجم مجلد بدلاً من حجم الملفات. نلاحظ أن `ls` لا تعطي حجم المجلدات بشكل صحيح. مثلاً هنا حجم المجلد هو 128 بايت.

```
!ls -l -h
```

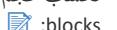
```
total 62896  
-rw-r--r-- 1 sam staff 30M Aug 10 22:35 babynames.csv  
drwxr-xr-x 4 sam staff 128B Dec 19 13:37 others  
-rw-r--r-- 1 sam staff 118K Sep 25 17:13 pandas_apply_strings_plotting.ipynb  
-rw-r--r-- 1 sam staff 34K Sep 25 17:13 pandas_grouping_pivoting.ipynb  
-rw-r--r-- 1 sam staff 32K Dec 19 13:07 pandas_indexes.ipynb  
-rw-r--r-- 1 sam staff 2.1K Dec 19 13:23 pandas_intro.ipynb  
-rw-r--r-- 1 sam staff 23K Dec 19 13:44 pandas_structure.ipynb
```

ولكن المجلد يحتوي على ملفات أكبر من 128 بايت:

```
!ls -l -h others
```

```
total 80  
-rw-r--r--@ 1 sam staff 34K Dec 19 13:34 babies.data  
-rw-r--r-- 1 sam staff 177B Dec 19 13:37 text.txt
```

لحساب حجم الملفات داخل المجلدات بشكل صحيح، نستخدم الأمر `du`. بشكل تلقائي، الأداة `du` تظهر حجم الملفات بصيغة المجموعات أو الكتل



```
!du others
```

```
80 others
```

عرض الحجم بالبايت نستخدم -h -

```
!du -h others
```

```
40K others
```

في العادة نضيف الأمر `-s` لـ `du` لعرض جميع أحجام الملفات والمجلدات معًا. النجمة \* في `/others/*` تعني أن على `du` إظهار معلومات جميع الملفات داخل المجلد `:other`

```
!du -sh others/*
```

```
36K      others/babies.data  
4.0K     others/text.txt
```

## الذاكرة غير المباشرة

قاعدة عامة، قراءة ملف باستخدام مكتبة بانداز عادة ما يحتاج أن تكون ذاكرة الجهاز ضعف حجم الملف نفسه. مثلاً قراءة ملف بحجم 1 جيبي بايت يحتاج أن يكون الجهاز يحتوي على ذاكرة بحجم 2 جيبي بايت.

جميع البرامج تستخدم الذاكرة للعمل، بما في ذلك نظام التشغيل، متصفح الانترنت، وكذلك جوبتر نوت بوك. جهاز بـ 4 جيجي بایت قد لا يحتوي سوى على 1 جيجي بایت متوفرة للاستخدام إذا كان الكثير من البرامج يعملون في نفس الوقت. بحجم 1 جيجي بایت من الذاكرة المتوفرة للاستخدام من الصعب على بانداز قراءة ملف بحجم 1 جيجي بایت.

## ملخص

في هذا الجزء، تعرفنا على هيكلة البيانات وجدولتها والتي سنتخدمها كثيراً في بقية الكتاب. كذلك عرضنا بعض الأوامر في أداة سطر الأوامر مثل `ls`, `head` و `tail`. هذه الأوامر تساعدنا على فهم شكل الملفات التي سنعمل عليها. استخدمنا نفس الأدوات للتحقق من قدرة بانداز على قراءة الملفات. عندما تقرأ بانداز الملف، سيكون لدينا DataFrame جاهز للتحليل.

## الفهرسة، التقسيم والترتيب

### مقدمة

في ما تبقى من هذا الفصل سنعمل على نفس بيانات أسماء الأطفال التي سبق أن تحدثنا عنها في الفصل الأول. سنطرح سؤالاً، ثم نقسم السؤال إلى عدة أقسام، ونترجم كل جزء إلى كود برمجي في بايثون باستخدام مكتبة بانداز.

أولاً نقوم باستدعاء مكتبة بانداز:

```
</>  
import pandas as pd
```

بعد أن استدعيناها، يمكننا الآن قراءة البيانات باستخدام الدالة `pd.read_csv` (معلومات أكثر عن الدالة [هنا](#)):

```
</>  
baby = pd.read_csv('babynames.csv')  
baby
```

	Name	Sex	Count	Year
0	Mary	F	9217	1884
1	Anna	F	3860	1884
2	Emma	F	2587	1884
...	...	...	...	...
1891891	Verna	M	5	1883
1891892	Winnie	M	5	1883
1891893	Winthrop	M	5	1883
1891894				

لاحظ، لكي يعمل الكود البرمجي في الأعلى يجب أن يكون ملف `babynames.csv` متواجد في نفس المجلد الذي نعمل عليه، يمكننا التتحقق من الملفات الموجودة في المجلد باستخدام الأمر `ls`:

```
</>  
!ls
```

```
babynames.csv          pandas_indexes.ipynb  
others                 pandas_intro.ipynb  
pandas_apply_strings_plotting.ipynb pandas_structure.ipynb  
pandas_grouping_pivoting.ipynb
```

عندما نستخدم مكتبة بانداز لقراءة البيانات، يتم تحويلها بشكل أوتوماتيكي إلى DataFrame. لكل عمود اسم، مثلاً ('Name', 'Sex', 'Count', 'Year'). وكل سطر رقم مفهرس، مثلاً (0, 1, 2, ..., 1891893).

سميات الأعمدة في الـ DataFrame يطلق عليها Labels ولكل عمود رقم فهرسي Index، اسم العمود والرقم الفهرسي تسهل علينا الكثير في التعامل مع البيانات. الصيغة أيضًا لها أرقام فهرسيه `Indexes`.

لنستخدم بانداز للإجابة على السؤال التالي:

ما هي أسماء الأطفال الأكثر شهرة في عام 2016؟

## نبدأ أولاً بتقسيم المشكلة

لتسهيل الإجابة، يمكننا تقسيم السؤال إلى حزتين:

- تقسيم البيانات وسحب بيانات عام 2016 فقط.
- الترتيب تنازلياً حسب التكرار بإستخدام عمود Count.

### التقسيم باستخدام loc

لاختيار جزء من DataFrame، نستخدم loc. المتغير الأول فيها هو اسم السطر والثاني هو اسم العمود:

```
# السطر رقم 1
# العمود Name
baby.loc[1, 'Name']
```

```
'Anna'
```

سحب أكثر من سطر أو عمود، نستخدم :

```
# نطلب هنا السطر 1 إلى 5
# حتى Name وأبعدة من Count
baby.loc[1:5, 'Name':'Count']
```

	Name	Sex	Count
1	Anna	F	3860
2	Emma	F	2587
3	Elizabeth	F	2549
4	Minnie	M	2243
5	Margaret	M	2142

أحياناً، نريد عمود واحد فقط من ال DataFrame، نستخدم التالي:

```
baby.loc[:, 'Year']
```

```
0      1884
1      1884
2      1884
...
1891891    1883
1891892    1883
1891893    1883
Name: Year, Length: 1891894, dtype: int64
```

عندما نختار عمود واحد فقط، تتحول ال DataFrame إلى مجموعة Series. المجموعة هي مصفوفة NumPy أحادية البعد يمكن أن نقوم بعمليات حسابية على جميع محتوياتها:

```
baby.loc[:, 'Year'] * 2
```

```
0      3768
1      3768
2      3768
...
1891891    3766
1891892    3766
1891893    3766
Name: Year, Length: 1891894, dtype: int64
```

لاختيار أعمدة معينة فقط، يمكننا تمرير مصفوفة داخل loc:

```
baby.loc[:, ['Name', 'Year']]
```

Name	Year
------	------

	Name	Year
0	Mary	1884
1	Anna	1884
2	Emma	1884
...	...	...
1891891	Verna	1883
1891892	Winnie	1883
1891893	Winthrop	1883

1891894 rows × 2 columns

طريقة أخرى لإيجاد بيانات عمود واحد:

```
# اختصاراً لـ baby.loc[:, 'Name']
baby['Name']
```

```
0      Mary
1      Anna
2      Emma
...
1891891    Verna
1891892    Winnie
1891893    Winthrop
Name: Name, Length: 1891894, dtype: object
```

```
# اختصاراً لـ baby.loc[:, ['Name', 'Count']]
baby[['Name', 'Count']]
```

	Name	Count
0	Mary	9217
1	Anna	3860
2	Emma	2587
...	...	...
1891891	Verna	5
1891892	Winnie	5
1891893	Winthrop	5

1891894 rows × 2 columns

ال التقسيم المنسوب

لإيجاد الصفوف لسنة 2016 فقط، يجب أن نجد أول مجموعة Series تحتوي على True و False ( صحيح أو خطأ )، فيها True لكل قيمة نريدها و False للقيم التي لا نريدها. مجموعة السنوات:

```
# لإيجاد السنوات
baby['Year']
```

```
0      1884
1      1884
2      1884
...
1891891    1883
1891892    1883
1891893    1883
Name: Year, Length: 1891894, dtype: int64
```

```
# مقارنة كل سطر مع السنة 2016
baby['Year'] == 2016
```

```

0      False
1      False
2      False
...
1891891  False
1891892  False
1891893  False
Name: Year, Length: 1891894, dtype: bool

```

بهذه الطريقة تم المقارنة بين كل سطر والسن 2016، في حال كان السطر يساوي 2016 يظهر True والعكس إذا كانت لا تساوي False، يمكننا :loc. مجها مع

```

# نزيد التقسيم بالإسطر، لذا نضع شرطنا في المتغير الأول في loc
baby_2016 = baby.loc[baby['Year'] == 2016, :]
baby_2016

```

	Name	Sex	Count	Year
1850880	Emma	F	19414	2016
1850881	Olivia	F	19246	2016
1850882	Ava	F	16237	2016
...	...	...	...	...
1883745	Zyahir	M	5	2016
1883746	Zyel	M	5	2016
1883747	Zylyn	M	5	2016

32868 rows × 4 columns

## ترتيب الصفوف

بعد أن وجدنا فقط أسماء أطفال 2016، الخطوة التالية هي ترتيب الأسماء تنازلياً بناءً على عمود Count. سنستخدم الدالة :().sort\_values

```

sorted_2016 = baby_2016.sort_values('Count', ascending=False)
sorted_2016

```

	Name	Sex	Count	Year
1850880	Emma	F	19414	2016
1850881	Olivia	F	19246	2016
1869637	Noah	M	19015	2016
...	...	...	...	...
1868752	Mikaelyn	F	5	2016
1868751	Miette	F	5	2016
1883747	Zylyn	M	5	2016

32868 rows × 4 columns

القيمة التلقائية للمتغير Ascending والتي يعني الترتيب تصاعدياً هي True، وإذا رغبنا ترتيب القيم تنازلياً، نضيف False للمتغير. معلومات أكثر [هذا](#).

الآن، سنستخدم .iloc لإيجاد أول خمس سطور من ال DataFrame. تعمل .iloc تماماً مثل .loc ولكن تأخذ قيم رقمية بدلاً من نصية / أسماء أعمدة. ولا تحسب آخر رقم كما في بائثون.

```

# إيجاد السطر رقم 0 والعمود رقم 0
sorted_2016.iloc[0, 0]

```

'Emma'

```

# إيجاد أول خمس سطور
sorted_2016.iloc[0:5]

```

	Name	Sex	Count	Year
1850880	Emma	F	19414	2016
1850881	Olivia	F	19246	2016
1869637	Noah	M	19015	2016
1869638	Liam	M	18138	2016
1850882	Ava	F	16237	2016

## الملخص

لدينا الآن أكثر خمس أسماء شهره في عام 2016، وتعلمنا كيف نستخدم الخمس دوال التالية في مكتبة بانداز:

العملية	الدالة
قراءة ملف CSV	(pd.read_csv
التقسيم باستخدام أسماء الأعمدة أو ترتيبها الرقمي	iloc أو loc.
التقسيم الشرطي	loc داخل الدالة .True/False استخدام
الترتيب	()sort_values.

## التجميع والجداول المحورية

في هذا الجزء، سنجيب على السؤال التالي:

ما هي الأسماء الأكثر شهره بين الذكور والإثاث كل سنة؟

## تقسيم المشكلة

نلاحظ أن السؤال مشابه للسؤال في الجزء السابق: السؤال السابق يريد فقط أسماء سنوات 2016 بينما هذا السؤال يشمل جميع السنوات. نقسم السؤال إلى قسمين:

- نجمح الأسطر حسب عامودي السنة Year و الجنس Sex.
- لكل مجموعة، أبحث عن الاسم الأكثر شهره.

معرفة الدوال التي تستخدم في حل مشكلة قد يبدو صعباً. عادةً، عن العمل بخطوات طويلة معقدة تشعر بأنه قد يكون هناك طريقة أسهل لفعل الخطوات هذه، إذا لم نعلم أنه يجب أن نقوم بالجمع مباشره، فيمكن أن نكتب خطوات كالتالي:

- الدوران Loop بين كل سنة على حدة.
- لكل سنة، الدوران في عمود الجنس.
- لكل سنة وجنس، أوجد الاسم الأكثر شهره.

في بانداز، هناك دائماً طريقة أفضل من الدوران، الدوران على القيم في ال DataFrame يجب أن يستبدل بالتجميع.

## التجميع

للتجميع في بانداز، نستخدم الدالة .groupby():

```
baby.groupby('Year')
```

```
<pandas.core.groupby.DataFrameGroupBy object at 0x1a14e21f60>
```

عند استخدام الدالة .groupby() تعود لنا بـكائن Object من نوع DataFrameGroupBy. يمكننا استخدام .agg() مع دالة تجميع على هذا الكائن للحصول على نتيجة يمكن قرائتها:

الدالة .agg() تسمح لنا باستخدام دوال على جميع الأعمدة.

```
# دالة تجميع هي أي دالة تقبل متغير، هنا مثلاً أستخدمنا مجموعة/مصفوفة، ويتخرج عنها نتيجة واحدة (رقم مثلاً)، هنا تعود طول المجموعة
def length(series):
    return len(series)
```

</>

```
حساب عدد الأصفف في كل سنة
baby.groupby('Year').agg(length)
```

	Name	Sex	Count
Year			
<b>1880</b>	2000	2000	2000
<b>1881</b>	1935	1935	1935
<b>1882</b>	2127	2127	2127
...	...	...	...
<b>2014</b>	33206	33206	33206
<b>2015</b>	33063	33063	33063
<b>2016</b>	32868	32868	32868

137 rows × 3 columns

نلاحظ أيضاً، أن الدالة التي عرفناها باسم `length` تستدعي دالة أخرى بأسم `len`، لتبسيط الكود البرمجي يمكننا عمل التالي:

```
</>
baby.groupby('Year').agg(len)
```

	Name	Sex	Count
Year			
<b>1880</b>	2000	2000	2000
<b>1881</b>	1935	1935	1935
<b>1882</b>	2127	2127	2127
...	...	...	...
<b>2014</b>	33206	33206	33206
<b>2015</b>	33063	33063	33063
<b>2016</b>	32868	32868	32868

137 rows × 3 columns

تم تطبيق التجميع على كل الأعمدة في ال DataFrame، نتج عن ذلك تكرار في حساب النتائج. يمكننا تحديد نتائج معينة عبر تقسيم الأعمدة قبل التجميع.

```
</>
year_rows = baby[['Year', 'Count']].groupby('Year').agg(len)
year_rows

# طريقة أخرى لقصصير هذا الكود البرمجي عن طريق عمل التالي:
#
# year_counts = baby[['Year', 'Count']].groupby('Year').count()
#
# بانداز قامت باختصار الكثير من دوال التجميع مثل
# count, sum و mean.
```

	Count
Year	
<b>1880</b>	2000
<b>1881</b>	1935
<b>1882</b>	2127
...	...
<b>2014</b>	33206
<b>2015</b>	33063
<b>2016</b>	32868

137 rows × 1 columns

لاحظ أن أرقام الأسطر Indexes تم تغييرها للسنوات، يمكننا الآن التقسيم حسب السنة بواسطة `.loc` كما تعلمونا سابقاً:

```
</>
إيجاد كل عشرين سنة بدءاً من 1880
year_rows.loc[1880:2016:20, :]
```

Count

Count	
Year	
1880	2000
1900	3730
1920	10755
1940	8961
1960	11924
1980	19440
2000	29764

## التجميع بأكثر من عمود

كما تعلمنا في المادة السابقة داتا 8، يمكننا التجميع بأكثر من عمود لإيجاد نتائج بناءً عليهم. لفعل ذلك، نقوم بتمرير قائمة بأسماء الأعمدة كمتغيرات للدالة `groupby()`:

```
</>
grouped_counts = baby.groupby(['Year', 'Sex']).sum()
grouped_counts
```

Count		
Year	Sex	
1880	F	90992
	M	110491
1881	F	91953
...	...	...
2015	M	1907211
2016	F	1756647
	M	1880674

274 rows × 2 columns

ال코드 البرمجي السابق يحسب مجموع الأطفال المولودين كل سنة لكل جنس. لنقوم الآن بجمع أكثر من عمود لحساب الأسماء الأكثر شهرة لكل جنس وسنة. بما أن البيانات مرتبة تنازلياً بناءً على العمود Count، يمكننا تعريف دالة تجميع تجلب لنا أول قيمة في كل مجموعة. (إذا كانت البيانات غير مرتبة، نستخدم الدالة `sort_values()` أولاً):

```
</>
# (الأسم الأكثر شهرة هو أول قيمة في المجموعة (بما أنها مرتبة من الأعلى للأدنى)
def most_popular(series):
    return series.iloc[0]

baby_pop = baby.groupby(['Year', 'Sex']).agg(most_popular)
baby_pop
```

Year	Sex	Name		Count
		Name	Count	
1880	F	Mary	7065	
	M	John	9655	
1881	F	Mary	6919	
...	...	...	...	
2015	M	Noah	19594	
2016	F	Emma	19414	
	M	Noah	19015	

274 rows × 2 columns

لتوضيح الكود البرمجي السابق، يمكن مشاهدة نتيجة الأمر `baby.groupby(['Year', 'Sex']).apply(print)`. بالإضافة إلى ذلك، يمكننا تطبيق الدالة `apply(print)` على مجموعة Series بأحجام مختلفة لكل سنة على حدة.

	Name	Sex	Count	Year
0	Mary	F	7065	1880
1	Anna	F	2604	1880

	Name	Sex	Count	Year
2	Emma	F	2003	1880
...	...	...	...	...
1884687	Verona	M	5	1880
1884688	Vertie	M	5	1880
1884689	Wilma	M	5	1880

عند استخدام الدالة التجميعية التي قمنا بتعريفها `most_popular` تقوم الدالة بإيجاد أول قيمة / سطر في المجموعة والذي يحتوي على عamودين `Name` و `Count`، يتم تجميعها مع العamودين `Sex` و `Year` لتكون لنا نتيجة المطلوبة.

لاحظ أن التجميع بأكثر من عمود ينتج أكثر من مسبي للسطر. يسمى ذلك بالأسطر متعددة المستويات. يجب أن تعرف أن `loc` تقبل مصفوفة من نوع صنف `Tuples` بأسماء الأسطر بدلاً من قيمة واحدة:

```
</>
baby_pop.loc[(2000, 'F'), 'Name']
```

```
'Emily'
```

ولكن لاستخدام `iloc`، يمكننا إرسال الأرقام دون مصفوفة صنوف `Tuples`، كما فعلنا بالمثال السابق، لأن الدالة تقبل الأرقام فقط:

```
# السطر من 10 حتى 15، وجميع الأعمدة
baby_pop.iloc[10:15, :]
```

Year	Sex	Name	Count
1885	F	Mary	9128
	M	John	8756
1886	F	Mary	9889
	M	John	9026
1887	F	Mary	9888

## الجدواول المحورية

إذا جمعنا البيانات بناءً على عamودين، فمن الأفضل استخدام الجدواول المحورية `Pivot Tables` لتمثيل البيانات كونها تظهر لنا النتائج بشكل أكثر وضوحاً. لبناء الجدواول المحورية نستخدم الدالة `pd.pivot_table()`:

```
</>
pd.pivot_table(baby,
               index='Year',
               columns='Sex',
               values='Name',
               aggfunc=most_popular) # عمود الأسم/الفهرس للأسطر
# الأعمدة
# القيم داخل الأعمدة
# دالة التجميع
```

Year	Sex	F	M
1880		Mary	John
1881		Mary	John
1882		Mary	John
...		...	...
2014		Emma	Noah
2015		Emma	Noah
2016		Emma	Noah

137 rows × 2 columns

لقارئنا بنتيجة `baby_pop` عندما استخدمنا الدالة `groupby()`، يمكننا ملاحظة أن الأعمدة أصبحت مقسمة حسب الجنس بدلاً من أن كانت مفهرسة `:Index`

```
</>
```

		Name	Count
Year	Sex		
1880	F	Mary	7065
	M	John	9655
1881	F	Mary	6919
...	...	...	...
2015	M	Noah	19594
2016	F	Emma	19414
	M	Noah	19015

274 rows × 2 columns

## الملخص

لدينا الآن أكثر الأسماء شهرة لكل جنس في كل سنة، وتعلمنا كيف نستخدم الدوال التالية في مكتبة بانداز:

العملية	الدالة
التجميع	(f.groupby(label
تجميع أكثر من عمود	)[[df.groupby([label1, label2
التجميع واستخدام الدوال على الأعمدة	(df.groupby(label).agg(func
الجدار المحوسبة	)()pd.pivot_table

## دالة التطبيق، النصوص والرسم البياني

سنجيب في هذا الجزء على السؤال التالي:

هل يمكننا استخدام آخر حرف من الاسم لتوقع جنس الطفل؟

سنستخدم نفس البيانات :babynames.csv

```
baby = pd.read_csv('babynames.csv')
baby.head()
# تظهر لنا أول خمس أسطر في البيانات () . الدالة
```

	Name	Sex	Count	Year
0	Mary	F	9217	1884
1	Anna	F	3860	1884
2	Emma	F	2587	1884
3	Elizabeth	F	2549	1884
4	Minnie	F	2243	1884

## تحديد أجزاء المشكلة

توجد طرق كثيرة للتتبُّع، لكن سنستخدم هنا الرسم البياني. سنقسم المشكلة إلى الخطوات التالية:

- إيجاد آخر حرف من كل اسم.
- تجميع آخر حرف مع الجنس، التجميع وإيجاد مجموع الأطفال.
- رسم النتائج لكل جنس وأخر حرف.

## دالة التطبيق

تحتوي المجموعات Series في بانداز على دالة .apply()، التي تستقبل دوال وتطبق هذه الدالة على جميع القيم:

```
names = baby['Name']
names.apply(len)
```

```
0      4
1      4
2      4
..
1891891 5
1891892 6
1891893 8
Name: Name, Length: 1891894, dtype: int64
```

في المثال السابق، استخدم الكاتب `.apply()` لإيجاد طول كل اسم في المجموعة عن طريق أولاً وضع الأسماء في متغير `names` ثم تطبيق دالة `len` على جميع القيم.

لاستخراج آخر حرف من كل اسم، سنقوم بكتابة دالة وتمريرها في دالة التطبيق `.apply()`:

```
</>
def last_letter(string):
    return string[-1]
names.apply(last_letter)
```

```
0      y
1      a
2      a
..
1891891 a
1891892 e
1891893 p
Name: Name, Length: 1891894, dtype: object
```

استخدم الكاتب في دالة `last_letter` القيمة `string[-1]` والتي تعني آخر حرف في النص. لمزيد من المعلومات عن التعامل مع النصوص [هنا](#) و [هنا](#).

## التلاعب بالنصوص

رغم مرونة الدالة `.apply()`، إلا أنه من الأسرع استخدام الدوال الموجودة في باندز للتعامل مع النصوص. يوجد الكثير من الدوال الموجودة للتعامل مع النصوص باستخدام `str` في المجموعات:

```
</>
names = baby['Name']
names.str.len()
```

```
0      4
1      4
2      4
..
1891891 5
1891892 6
1891893 8
Name: Name, Length: 1891894, dtype: int64
```

ويمكننا استخراج آخر حرف من كل اسم بالطريقة التالية:

```
</>
names.str[-1]
```

```
0      y
1      a
2      a
..
1891891 a
1891892 e
1891893 p
Name: Name, Length: 1891894, dtype: object
```

نقترح قراءة المزيد عن دوال النصوص في باندز عن طريق الرابط [هذا](#).

يمكننا الآن إضافة عمود آخر حرف لبيانات الأطفال لدينا:

```
</>  
baby['Last'] = names.str[-1]  
baby
```

	Name	Sex	Count	Year	Last
0	Mary	F	9217	1884	y
1	Anna	F	3860	1884	a
2	Emma	F	2587	1884	a
...	...	...	...	...	...
1891891	Verna	M	5	1883	a
1891892	Winnie	M	5	1883	e
1891893	Winthrop	M	5	1883	p

1891894 rows × 5 columns

## التجميع

لإيجاد توزيع الجنس بناءً على آخر حرف، نحتاج لجمع العامودين Sex و Last :

```
</>  
# استخدمنا طريقة مختصرة بدلاً من baby.groupby(['Last', 'Sex']).agg(np.sum)  
baby.groupby(['Last', 'Sex']).sum()
```

Last	Sex	Count	
			Year
a	F	58079486	915565667
	M	1931630	53566324
b	F	17376	1092953
...	...	...	...
y	M	18569388	114394474
z	F	142023	4268028
	M	9649274	19015

52 rows × 2 columns

لاحظ أنه تم جمع عمود السنة، لأنه يتم جمع أي عمود لا يتم تمريره لدالة التجميع .groupby(). ولحل هذه المشكلة يمكننا تحديد الأعمدة التي نرحب باستخدامها قبل تمريرها لدالة التجميع:

```
</>  
(` عندما تكون الأسطر طويلة، يمكننا جمعها في أقواس #  
ونجعل كل دالة في سطر منفصل #  
letter_dist = (  
    baby[['Last', 'Sex', 'Count']]  
    .groupby(['Last', 'Sex'])  
    .sum()  
)  
letter_dist
```

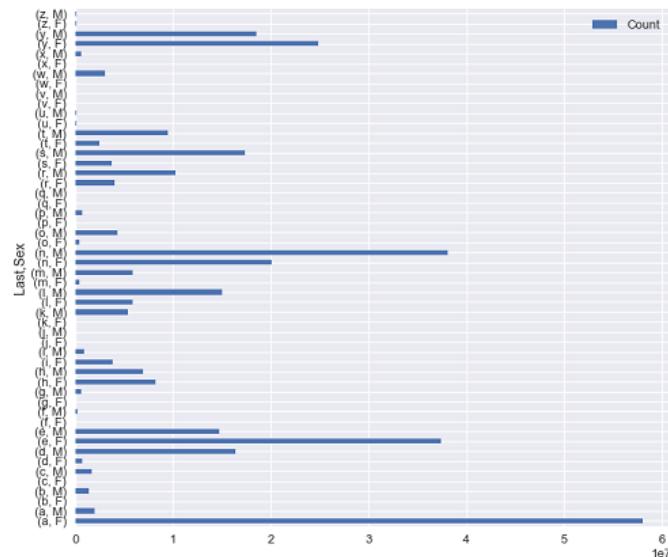
Count		
Last	Sex	
a	F	58079486
	M	1931630
b	F	17376
...	...	...
y	M	18569388
z	F	142023
	M	9649274

52 rows × 1 columns

تحتوي بانداز على دوال للرسم البياني والتي تحتوي على الرسوم البيانية البسيطة مثل المخطط الشريطي Bar Chart، المدرج التكراري Histogram، المخطط البياني الخططي Line Chart و مخطط التشتت Scatter plot:.

```
# تحدد حجم الرسم البياني figsize يستخدم المتغير
letter_dist.plot.barh(figsize=(10, 10))
```

```
<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x1a17af4780>
```



رغم أن الرسم البياني يوضح توزيع آخر حرف مع الجنس، يصعب التفريق بين شريط الذكور والإثنيات. بالرجوع لشرح الرسم البياني في مكتبة بانداز (هنا) نرى أن باندار تقوم برسم شريط لكل سطر، وكلاهما بنفس اللون. لذا فاستخدام نسخة الجدول المحوري هنا لبياناتنا سنشهر الرسم البياني بشكل أوضح:

```
letter_pivot = pd.pivot_table(
    baby, index='Last', columns='Sex', values='Count', aggfunc='sum'
)
letter_pivot
```

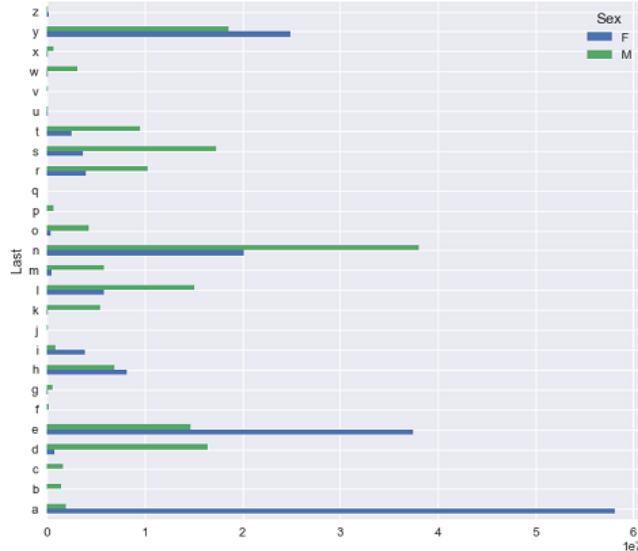
Sex	F	M
Last		
a	58079486	1931630
b	17376	1435939
c	30262	1672407
...	...	...
x	37381	644092
y	24877638	18569388
z	142023	120123

26 rows × 2 columns

استخدم الكاتب هنا pivot\_table مع متغيرات مختلفة ليحدد كل قيمة بناءً على العمود المخصص لها، الرقم الفهرسي Index حدد ليكون عمود آخر حرف Last، حدد الأعمدة هنا وهي الجنسين. حدد القيم داخل الأعمدة وهي عمود Count داخل المتغير Values، وأخيراً aggfunc وحدد فيه دالة التجميع التي ترغب باستخدامها Sum. مزيد من التفصيل هنا و هنا.

```
letter_pivot.plot.barh(figsize=(10, 10))
```

```
<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x1a17c36978>
```



قامت باندراز بتكونين مفاتيح الرسم البياني Legends لنا. ولكن لا تزال لدينا مشكلة في الرسم، أظهرنا عدد النتائج لكل حرف وجنس وفي بعض الأحيان بدأت بعض الأشرطة طويلة جداً والبعض لا يبدو واضحاً أبداً. من الأفضل أن نظهر النسبة المئوية للذكور والإثاث في كل حرف بدلاً من المجاميع:

```
</>
# قام الكاتب هنا بجمع عدد الذكور والإثاث لكل حرف وجعلها في متغير جديد
total_for_each_letter = letter_pivot['F'] + letter_pivot['M']

# هنا قام بقسمة كل جنس من مجموع كل حرف
letter_pivot['F prop'] = letter_pivot['F'] / total_for_each_letter
letter_pivot['M prop'] = letter_pivot['M'] / total_for_each_letter
letter_pivot
```

Sex	F	M	F prop	M prop
Last				
a	58079486	1931630	0.967812	0.032188
b	17376	1435939	0.011956	0.988044
c	30262	1672407	0.017773	0.982227
...	...	...	...	...
x	37381	644092	0.054853	0.945147
y	24877638	18569388	0.572597	0.427403
z	142023	120123	0.541771	0.458229

26 rows × 4 columns

```
</>
(letter_pivot[['F prop', 'M prop']]
 .sort_values('M prop') # ترتيب تنازلياً حسب نسبة الذكور
 .plot.barh(figsize=(10, 10))
 )
```

```
<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x1a18194b70>
```



## الملخص

نلاحظ أن غالبية الأسماء المنتهية بالحرف P هم ذكور والتي تنتهي بالحرف A هم إناث! بشكل عام، مسافات الأشرطة في الرسم البياني لكثير من الأحرف تمكننا من التوقع بشكل صحيح بجنس الشخص بناءً على آخر حرف من أسمة.

تعلمنا استخدام الدوال التالية في بانداز:

العملية	الدالة
استخدام دالة على جميع القيم في المجموعة	(series.apply(func))
التلاعب بالنصوص	series.str.func()
الرسم البياني	df.plot(func())

## التحليل الاستكشافي للبيانات

### مقدمة

في التحليل الاستكشافي للبيانات، إحدى أهم الخطوات في دورة حياة علم البيانات، تقوم بالتلخيص، الرسم البياني وتحويل البيانات لشكل يسهل علينا فهمها بشكل واضح. الإحصائي "جون توكي" عزف التحليل الاستكشافي للبيانات كالتالي:

"التحليل الاستكشافي للبيانات" هي طريقة، حالة ذات مرونة، ورغبة في أن نرى تلك الأشياء التي نؤمن أنها ليست موجودة في البيانات، وكذلك تلك التي نؤمن بوجودها.

طالب علم البيانات قد يرى هذا التعريف غير كافي، هل طريقة الاستكشاف فقط كافية لعمل تحليل للبيانات؟ على العكس، نقطة "توكي" هي أنه يجب علينا فهم البيانات قبل التسرع بتطبيق الاختبارات الإحصائية. يستفاد من كلام "توكي" في خوارزميات اتخاذ القرارات هذه الأيام. في خطوة التحليل الاستكشافي للبيانات نسعى لفهم البيانات بشكل عميق. والإبقاء على "حالة المرونة" لتساعدنا على إيجاد ما نبحث عنه. فيما يلي للأدوات الحاسوبية يساعدنا على البدء بعملية البحث. في هذا الفصل سنعرف على الأدوات الأكثر تطوراً واستخداماً في تحليل البيانات. على الرغم من اختلاف طريقة التحليل الاستكشافي للبيانات في المجالات المختلفة، غالباً ما نبدأ الاستكشاف بفهم التالي:

- أنواع البيانات في الأعمدة وتقسيم البيانات في الصفوف.
- توزيع البيانات الرقمية ومقاييس الوسط والانتشار.
- العلاقات بين البيانات الكمية.

## أنواع البيانات

عادةً ما نبدأ التحليل الاستكشافي للبيانات بعرض أنواع البيانات في الجداول. على الرغم من وجود طرق كثيرة لتصنيف أنواع البيانات، في هذا الكتاب سنستخدم ثلاث من أشهر الأنواع:

- **البيانات الاسمية:** يقصد بها البيانات التي تعبر عن تصنيفات ليس لها ترتيب معين. مثلًا، الانتماء السياسي (ديموقراطي، جمهوري، غيرها)، الجنس (ذكر، أنثى)، نظام الحاسوب (ويندوز، ماكتوش، لينكس).

- **البيانات الترتيبية:** بيانات بتصنيفات مرتبة. مثل: مقاسات الملابس (صغير، وسط، كبير)، مقاييس ليكرت (معارض، حيادي، متفق)، مستوى التعليم (ثانوي، بكالريوس، ماجستير). البيانات الاسمية والترتيبية تعبر أنواع من البيانات التصنيفية.
- **البيانات الكمية:** وهي البيانات العددية أو الرقمية. مثل: الطول، السعر، والمسافة.

ونشير لهذه الأنواع بـ **أنواع البيانات الإحصائية**، أو للتبسيط **أنواع البيانات**.

### أنواع البيانات الحسابية × الإحصائية

تقوم باندراز بتعيين نوع حسابي لكل عمود لدينا لممثل كيف يتم حفظ البيانات في ذاكرة الحاسب.

مثلاً، لنأخذ الجدول التالي الذي يحتوي على أوزان الأطفال بعد الولادة، عرق الأم، والمستوى التعليمي للأم:

[لتحميل البيانات، اضغط هنا.](#)

```
</>
babies_small = pd.read_csv('babies23.data', delimiter='\s+')[['wt', 'race', 'ed']]
babies_small
```

	wt	race	ed
0	120	8	5
1	113	0	5
2	128	0	2
...	...	...	...
1233	130	1	2
1234	125	0	4
1235	117	0	4

1236 rows × 3 columns

كل عمود في هذا DataFrame هو حسابياً من النوع الكمي. في بياناتنا هذه، النوع int64 يعني أن كل عمود يحتوي على عدد صحيح:

```
</>
babies_small.dtypes
```

```
wt      int64
race    int64
ed      int64
dtype: object
```

ولكن، لن يكون مفهوماً العمل مع هذه الأعمدة كبيانات إحصائية كمية. لفهم أنواع البيانات لدينا، يجب علينا دائمًا العودة إلى قاموس البيانات. قاموس البيانات هو شرح تفصيلي يأتي مع البيانات يحتوي على تفاصيل وشرح أكثر لمحتوى الأعمدة. مثلاً، قاموس البيانات للبيانات التي نعمل عليها الآن هو كالتالي:

```
الوزن عند الولادة بالأونصة (999 غير معروف - عرق الأم -
race - عرق الأم - عرق الأمازونية =
0= بيضاء
6= مكسيكية
7= سوداء
8= آسيوية
9= منوعة
99= غير معروف
ed - مستوى تعليم الأم - أقل من السنة الثامنة =
0= من السنة الثامنة حتى 12 - لم تخرج
1= خريجة ثانوية
2= وثانوية + مهنية =
3= ثانوية +
4= جامعية
5= خريجة جامعية
687= ثانوية مهنية غير معروفة
9= غير معروف
```

رغم أن قيم الأعمدة الثلاثة race، wt، ed محفوظه كأعداد صحيحة في باندراز، العمود race يحتوي على بيانات أسميه والعمود ed يحتوي على بيانات ترتيبية.

بالأصل، يجب علينا الحذر دائمًا حتى مع العمود wt. عند محاولة إيجاد معدل متوسط هذا العمود لن نحصل على بيانات دقيقة لأن العمود يحتوي على قيم بالرقم 999 والتي تعني أوزان غير معروفة للطفل. إذا تركناه كما هو، القيم غير المعروفة ستجعل متوسط الأوزان لدينا أعلى مما يكون.

## أهمية أنواع البيانات

أنواع البيانات توجهنا للطريقة الصحيحة للقيام بالعمليات على البيانات ورسمها. مثلاً، الفرق يعتبر مهم عندنا يحدث في البيانات الكمية على العكس عندما يكون في البيانات الترتيبية. هذا يعني في بيانات أوزان الأطفال بعد الولادة المتوسط للوزن يعتبر له معنى على عكس متوسط مستوى التعليم.

بأنداز لن تكرر عندما نحاول إيجاد المتوسط للقيم في عمود مستوى التعليم:

```
</>  
babies_small['ed'].mean()
```

```
2.9215210355987056
```

هذه القيمة لا تقدم لنا أي معلومات. يمكن أن نستبدل القيم في العمود ed بمعانيها النصية. مثلاً، يمكن أن نستبدل 0 بـ "أقل من السنة الثامنة" و 1 بـ "من السنة الثامنة حتى 12 - لم تخرج" وهكذا.

رغم أن الفرق في البيانات الترتيبية ليس له معنى، نتيجته قد تقدم لنا بعض المعلومات. مثلاً، يمكننا القول أن أم بقيمة 5 ed (خريجة جامعه) أعلى تعليمًا من أم بقيمة 2 ed (خريجة ثانوية).

على العكس، لا يؤثر علينا الفرق في البيانات الاسمية. الأم التي قيمة العرق فيها race=6 (مكسيكية) وأم race=7 (سوداء) ببساطة لديهم أعراق مختلفة.

## مثال: تدخين الأم وصحة الطفل الرضيع

مؤسسة صحة وتنمية الطفل (CHDS) قامت بإجراء أبحاث لفترات طويلة عن كيف أن الصحة والأمراض تنتقل بين الأجيال.

في إحدى الدراسات، قامت المؤسسة بجمع بيانات من عدة أجيال بين 1960 و 1967 لسيدات في سان فرانسيسكو - إبست باي. على الرغم أن المؤسسة تطالب بتقديم طلب للحصول على هذه البيانات، جزء من هذه البيانات تم إتاحته بواسطة قسم الإحصاء (رابط). قمنا بتحميل البيانات وقراءتها في بانداز:

لتحميل البيانات، [اضغط هنا](#).

```
</>  
babies = pd.read_csv('babies.data', delimiter='\s+')  
babies
```

	bwt	gestation	parity	age	height	weight	smoke
0	120	284	0	27	62	100	0
1	113	282	0	33	64	135	0
2	128	279	0	28	64	115	1
...	...	...	...	...	...	...	...
1233	130	291	0	30	65	150	1
1234	125	281	1	21	65	110	0
1235	117	297	0	38	65	129	0

1236 rows × 7 columns

لفهم أنواع البيانات في الأعمدة، نعود دائمًا لقاموس البيانات:

الوصف	العمود
الوزن عند الولادة بالأونصة (999 غير معروف)	bwt
مدة الحمل بال أيام (999 غير معروف)	gestation
هل أول مولود؟ 0=أول مولود، 9=غير معروف	parity
عمر الأم بالسنوات	age
طول الأم بالبوصة (99 غير معروف)	height
وزن الأم قبل الولادة بالباوند (999 غير معروف)	weight
حالة تدخين الأم: 0=لا تدخن الآن، 1=تدخن الآن، 9=غير معروف	smoke

رغم أن القاموس لا يبين أنواع البيانات، يمكننا رؤية أن بعض الأعمدة تحتوي على بيانات اسمية رغم أن القيم الموجودة فيها عبارة عن أرقام. بناءً فقط على وصف العمود يمكننا معاملة العامدين parity و weight كبيانات اسمية والبقية كرقمية.

نتمنى دائمًا أن يقدم لنا قاموس البيانات كافة المعلومات المهمة عن كل عمود، لكن من الأفضل دائمًا التأكد من البيانات عن طريق فحصها. مثلاً، لا يبدو واضحًا دائمًا إذا كانت القيم في عمود العمر تحتوي على أرقام (21، 30، 41) أو نطاقات (29-21، 40-30، +41).

بيانات babies يبدو أنها تحتوي على أعداد صحيحة فقط:

&lt;/&gt;

babies

	bwt	gestation	parity	age	height	weight	smoke
0	120	284	0	27	62	100	0
1	113	282	0	33	64	135	0
2	128	279	0	28	64	115	1
...	...	...	...	...	...	...	...
1233	130	291	0	30	65	150	1
1234	125	281	1	21	65	110	0
1235	117	297	0	38	65	129	0

1236 rows × 7 columns

لنأخذ لمحه سريعة عن قيم عمود العمر age، يمكننا استخدام دالة series.value\_counts() والتي تظهر لنا عدد مرات تكرار القيم المختلفة:

&lt;/&gt;

```
 تعرض العمر يسار وعدد مرات تكرارة على اليمين
# babies['age'].value_counts()
```

```
23    93
26    90
24    86
..
45    1
44    1
15    1
Name: age, Length: 31, dtype: int64
```

يمكن أن نرى بأن الكثير من الأمهات في بياناتنا يبلغن أعمارهم بين 23 و 26 سنة. أيضاً، لا نرى أعمار بقيمة كسرية (مثلاً 24.5)، يدل ذلك أن العمود age يحتوي فقط على أرقام صحيحة.

بشكل تلقائي، تقوم باندماز بتقييد عدد النتائج التي تظهر لنا. ولعرض المزيد من الأسطر يمكننا القيام بالتالي:

&lt;/&gt;

```
from IPython.display import display
في هذا المثل، اظهرنا 10 اسطر. عرض عدد اسطر اكبر #
قم بتغيير الرقم 10 في الكود البرمجي التالي الى رقم اعلى #
with pd.option_context('display.max_rows', 10):
    display(babies['age'].value_counts())
```

```
23    93
26    90
24    86
27    85
22    79
..
42    4
99    2
45    1
44    1
15    1
Name: age, Length: 31, dtype: int64
```

بعد القيام بمراجعة كل الأعمدة بنفس الطريقة السابقة. نقوم بتحديد نوع كل عمود بناءً على قاموس البيانات ومراجعتنا للبيانات:

العمود	الوصف	نوع البيانات
bwt	الوزن عند الولادة بالأونصة (999 غير معروف)	كمية
gestation	مدة الحمل بال أيام (999 غير معروف)	كمية
parity	هل أول مولود؟=0 أو مولود، 9=غير معروف	أسميه
age	عمر الأم بالسنوات	كمية
height	طول الأم بالبوصة (99 غير معروف)	كمية
weight	وزن الأم قبل الولادة بالباوند (999 غير معروف)	كمية
smoke	حالة تدخين الأم: 0=لا تدخن الآن، 1=تدخن الآن، 9=غير معروف	أسميه

## مثال: المخالفات الصحية في مطعم سان فرانسيسكو

تقوم مدينة سان فرانسيسكو - كاليفورنيا دورياً بفحص المطعم للتحقق من المخالفات الصحية. في كل عملية فحص، يحصل المطعم على تقييم من 0 إلى 100 بناءً على عدد وأنواع المخالفات التي سجلت عليه. المطعم، التقييم والمخالفات جميعها متوفرة بشكل عام في موقع DataSF ([الرابط](#)). الملف يحتوي على جميع الفحوص من شهر يناير 2016.

قمنا بتحميل جزء من البيانات للمتغير `scores`:

لتحميل البيانات، [اضغط هنا](#).

```
scores = pd.read_csv('SFRestaurants.csv')  
scores
```

	business_name	inspection_score	violation_description	risk_category
0	All stars Donuts	86	Unclean or degraded floors walls or ceilings	Low Risk
1	Soo Fong Restaurant	92	Wiping cloths not clean or ... properly stored or	Low Risk
2	Dar Bar Pakistani/Indian Cusine	86	Moderate risk vermin infestation	Moderate Risk
...	...	...	...	...
52795	USA Power Market	71	Unclean hands or improper use of gloves	High Risk
52796	Thai Cottage Restaurant	81	Inadequate and inaccessible ...handwashing facili	Moderate Risk
52797	St Mary's Cathedral/Convention Center	90	Inadequate and inaccessible ...handwashing facili	Moderate Risk

52798 rows × 4 columns

في هذه البيانات، نحن محظوظين أن لدينا قاموس يقدم لنا معلومات أوضح بكثير عن البيانات:

الوصف	نوع البيانات	العمود
الاسم العام للمتجر	string	business_name
نتيجة الفحص، قيمة من 0 إلى 100	number	inspection_score
وصف بسطر واحد للمخالفات (لم يعطى وصف)	string	violation_description
	string	risk_category

لاحظ أن القاموس يشرح أنواع البيانات حسابياً وليس أنواعها بشكل إحصائي. مثلاً، يستخدم `string` بدلاً من التحديد إذا كانت أسميه أو ترتيبية. ولكن نلاحظ أن العمود `risk_category` لا يحتوي على وصف.

### البيانات النصية ليست دائمًا أسمية

العمود `violation_description` يحتوي على بيانات النصية عادة تكون من التصنيفات محددة مسبقاً، على عكس النصوص الغير منتظمة. لكن لم يوضح لنا في القاموس إذا ما علينا معاملة البيانات في هذا العمود كبيانات أسمية. قد يحتوي العمود على بيانات نصية غير منتظمة، أو بيانات أدخلت يدوياً. النصوص غير المنتظمة عادة ما تأتي من مصادر بيانات بلغة طبيعية، مثل مقالات الصحف، بحث قوقل، وردد أسئلة الاستبيانات.

عادة لا نتعامل مع تلك البيانات كبيانات أسمية، البيانات النصية عادة تكون من التصنيفات محددة مسبقاً، على عكس النصوص الغير منتظمة. لذا، يجب علينا تحديد ما إذا كانت تحتوي على بيانات نصية غير منتظمة أو بيانات أسمية.

إذا كان العمود يحتوي على بيانات نصية غير منتظمة، فيجب أن نتوصل تكرار قليل لبعض القيم بسبب وجود طرق كثيرة لتسجيل نفس المخالفة، مثلاً: "unclean floors" أو "أرضية غير نظيفة", "dirty floors" أو "أرضية قذرة", "floor needs cleaning" أو "الأرضية تحتاج للتنظيف" وغيرها الكثير. في الجانب الآخر، إذا كان العمود يحتوي على قيم محددة مسبقاً، الكثير منها سيتكرر.

في المثال السابق على البيانات النصية الغير منتظمة يوضح الكاتب طرق مختلفة لكتابة مخالفات لها نفس المعنى، يعني هنا أنه أمثلة لتكرار نفس المخالفات لكن تكتب بأكثر من طرقه. لذلك التكرار فيها سيكون أقل بكثير من البيانات الأسمية. في حال أردنا أن تكون هذه البيانات أسمية، فيجب علينا تحديد قيم مسبقة مثلاً `unclean floors` وتستخدم بدلاً من القيم الثلاثة.

نريد أن نتحقق ما إذا كان العمود يحتوي على قيم مكررة:

```
with pd.option_context('display.max_rows', 14):  
    display(scores['violation_description'].value_counts())
```

</>

Unclean or degraded floors walls or ceilings	3668
Unapproved or unmaintained equipment or utensils	2704
Inadequate and inaccessible handwashing facilities	2653
Moderate risk food holding temperature	2588
Inadequately cleaned or sanitized food contact surfaces	2467
Wiping cloths not clean or properly stored or inadequate sanitizer	2121
Foods not protected from contamination	1929
...	
Discharge from employee nose mouth or eye	6
Noncompliance with Gulf Coast oyster regulation	5
Mobile food facility stored in unapproved location	4
Mobile food facility with unapproved operating conditions	3
Unreported or unrestricted ill employee with communicable disease	1
Noncompliance with Cottage Food Operation	1
Mobile food facility HCD insignia unavailable	1
Name: violation_description, Length: 67, dtype: int64	

النتيجة جعلتنا نتأكد أن القيم المحفوظة في هذا العمود تم تحديدها مسبقاً في قائمة للمخالفات المحتملة. لذا، سنتعامل مع العمود violation\_description كعمود يحتوي على بيانات اسمية.

## التحقق من الوصف المفقود

رغم أن العمود risk\_category لم يتم وصفه في قاموس البيانات، يمكننا التحقق من محتوى العمود لمحاولة فهم معناه. أولاً، نلاحظ أن العمود violation\_description يحتوي على ثالث قيم فقط:

```
</>
scores['risk_category'].value_counts()
```

Low Risk	19694
Moderate Risk	14712
High Risk	5686
Name: risk_category, dtype: int64	

يمكن أن نفهم أن هذه القيم تشرح خطورة المخالفة. يمكننا التتحقق من فهمنا عن طريق عرض المخالفات لكل قيمة من القيم الموجودة في العمود :risk\_category

```
</>
def risk_counts(risk):
    return (scores.loc[scores['risk_category'] == risk,
                      'violation_description']
           .value_counts().head())
```

الكاتب عزف دالة تستقبل نص وهذا النص إحدى الأنواع الثلاثة من درجات خطورة المخالفة، وينتج عن الدالة DataFrame يحتوي على كل نوع من المخالفات في تلك الدرجة وعدد مرات تكرارها. يمكنك مراجعة [الفصل السابق](#) لمعلومات أكثر عن loc وكيفية إيجاد الأسطر التي تحتوي على قيم معينة.

```
</>
risk_counts('High Risk')
```

High risk food holding temperature	1619
Unclean or unsanitary food contact surfaces	1197
Improper cooling methods	823
Unclean hands or improper use of gloves	755
High risk vermin infestation	712
Name: violation_description, dtype: int64	

```
</>
risk_counts('Moderate Risk')
```

Inadequate and inaccessible handwashing facilities	2653
Moderate risk food holding temperature	2588
Inadequately cleaned or sanitized food contact surfaces	2467
Foods not protected from contamination	1929
Moderate risk vermin infestation	1814
Name: violation_description, dtype: int64	

```
risk_counts('Low Risk')
```

Unclean or degraded floors walls or ceilings	3668
Unapproved or unmaintained equipment or utensils	2704
Wiping cloths not clean or properly stored or inadequate sanitizer	2121
Improper food storage	1817
Unclean nonfood contact surfaces	1440
Name: violation_description, dtype: int64	

وبشكل سريع نلاحظ، أن أنواع المخالفات مقسمه حسب درجة الخطورة. أيضاً، المخالفات من الدرجة High Risk احتمالية تسببها للأمراض أكثر من المخالفات من الدرجة Low Risk. من المحتمل أن يكون مطعماً بمخالفة "خطورة حصول غزو/هجوم حشري" أقل نظافة و احتماليه تعرض متاديه للأمراض أكثر من مطعم بمخالفة Unclean nonfood contact surfaces "أسطح غير مخصصه للطعام غير نظيفه".

بسبب ذلك، قررنا أن العمود risk\_category يحتوي على بيانات ترتيبية توضح درجة خطورة كل مخالفه (Low Risk < Moderate Risk < High Risk).

## مراجعة قاموس البيانات

الوصف	نوع البيانات	العمود
الاسم العام للمتجر	string	business_name
نتيجة الفحص، قيمة من 0 إلى 100	number	inspection_score
وصف بسطر واحد للمخالفات	string	violation_description
درجة خطورة المخالفه (Low Risk < Moderate Risk < High Risk)	string	risk_category

## ملخص

عرفنا البيانات الاسمية، الترتيبية والكمية وأهميتها في علم البيانات. شاهدنا أمثله على بيانات، واستمعنا بقواميس البيانات وبالبيانات نفسها لتحديد أنواع البيانات في كل عمود. تأكيد أن تفرق بين أنواع البيانات الحسابية والإحصائية.

## تنظيف البيانات

### مقدمة

تأتي البيانات بعدة أشكال وتتنوع من حيث فائدتها في التحليل. رغم أنها نسبياً تكون جميع البيانات على شكل جدول وكل قيمة تم إدخالها بشكل صحيح ودقيق، ولكن يجب علينا التتحقق بشكل دقيق عن المشاكل التي قد تؤدينا لنتائج غير صحيحة.

المصطلح تنظيف البيانات يطلق على خطوة التتحقق من البيانات واتخاذ قرارات عن كيفية إصلاح الأخطاء وتعويض البيانات المفقودة. سنناقش أكثر المشاكل الشائعة في البيانات ونشرجها بشكل أوضح.

تنظيف البيانات له بعض القيود. مثلاً، لا يوجد تنظيف بإمكانه تحسين عينات تمأخذها بشكل متاح. قبل البدء بمسح أو تنظيف البيانات الذي عادة ما يكون طويلاً، يجب أن تتأكد أن بياناتنا تم جمعها بشكل دقيق ودون تحيز. في ذلك الحين يمكننا بدأ التتحقق من البيانات وتنظيمها للتخلص من المشاكل في أنواع البيانات أو طرق الدخال.

سنقوم بشرح طرق لتنظيف البيانات وسنستخدم بيانات شرطة مدينة بيركلي.

## نظرة على بيانات شرطة مدينة بيركلي

سنستخدم بيانات شرطة مدينة بيركلي المنشورة لل العامة لشرح طرق تنظيف البيانات. يمكن تحميل بيانات المكالمات من [هذا](#)، وبيانات الإيقافات من [هذا](#).

روابط أخرى لتحميل البيانات:

- [بيانات المكالمات](#).
- [بيانات الإيقافات](#).

```
</>
!ls -lh data/
```

```
total 13936
-rw-r--r--@ 1 sam staff 979K Aug 29 14:41 Berkeley_PD_-_Calls_for_Service.csv
-rw-r--r--@ 1 sam staff 81B Aug 29 14:28 cvdow.csv
-rw-r--r--@ 1 sam staff 5.8M Aug 29 14:41 stops.json
```

يظهر لنا الأمر السابق الملفات في المجلد وأحجامها. الأمر مهم لأنه بين لنا أن الملفات صغيرة الحجم ويمكن تحميلها على ذاكرة حاسبتنا. قاعدة عامة، يمكن تحميل الملفات بشكل آمن عندما يكون حجمها حوالي ربع حجم الذاكرة في الحاسوب. مثلاً، إذا كان جهازنا يحتوي على 4 ج.ب. من الذاكرة العشوائية، يمكننا تحميل ملف CSV بحجم 1 ج.ب. في بانداز. ليتحمل حاسبتنا ملفات بحجم أكبر يجب علينا استخدام أدوات خاصة وسنتحدث لاحقاً عنها في هذا الكتاب.

لاحظ استخدامنا لعلامة التعجب قبل `ls`. هذا يخبر جوبتر أن الكود البرمجي التالي خاص بمترجم الشيل، وليس بايثون. مثال آخر:

```
</>
# يظهر عدد الاسطرون في كل ملف `wc` الأمر
# يحتوي على عدد (29852) سطر `stops.json` يمكن ان نلاحظ ان ملف
!wc -l data/*
```

```
16497 data/Berkeley_PD_-_Calls_for_Service.csv
8 data/cvdow.csv
29852 data/stops.json
46357 total
```

## تنظيف بيانات المكالمات

### فهم توليد البيانات

سنقوم بطرح بعض الأسئلة التي يجب أن تتحقق منها في جميع بياناتك قبل البدء بتنظيفها ومعالجتها. هذه الأسئلة عن كيف تم توليد وإنشاء هذه البيانات. في هذه الخطوة، تنظيف البيانات لن يساعدنا على حل المشاكل التي حصلت أثناء إنشاء البيانات.

على ماذا تحتوي البيانات؟ الموقع الذي تم أخذ بيانات المكالمات منه يذكر أن "الجرائم/الحوادث (وليس تقارير الجرائم)" التي حدثت في الـ180 يوم السابقة." مزيد من القراءة في الموقع أوضحت التالي "ليس جميع المكالمات التي طلبت خدمات الشرطة تم إضافتها (مثال لأحد الحالات التي تمت ولم يتم إضافتها: حالة عض حيوان لشخص)".

موقع بيانات الإيقافات يوضح أن البيانات تحتوي على جميع "السيارات المحتاجة (بما فيها الدراجات الهوائية) واعتقالات المشاة (بحد أعلى خمسة أشخاص)" منذ 26 يناير 2015.

هل البيانات تعداد / إحصاء على السكان؟ يعتمد ذلك على هدفنا من تحليل البيانات. مثلاً، إذا كنا مهتمين بمعرفة المكالمات التي طلبت فيها الخدمات الآخر 180 يوم للحوادث والجرائم، فإن بيانات المكالمات تعتبر بيانات إحصائية للمكالمات التي تمت آخر 180 يوم من قبل السكان. ولكن إذا أردنا المكالمات لطلب خدمات الشرطة لعشر سنوات السابقة، فإن البيانات ليست مناسبة كونها تحتوي على بيانات آخر 180 يوم فقط. يمكننا ذكر نفس الكلام على بيانات الإيقافات لأن البيانات تم جمعها ابتداء من 26 يناير 2015.

إذا كانت البيانات **تشكل عينه**، هل هي عينة الاحتمالات؟ البيانات لا تمثل عينة الاحتمالات لأنها لا تظهر أي عشوائية في طريقة جمع البيانات. لدينا بيانات كاملة لفترة معينة فقط وليس لفترات أخرى.

هل هناك قيود ستغيرنا عليه البيانات في **نتائجنا**? رغم أننا سنسأل هذا السؤال بعد كل خطوه من خطواتنا، يمكننا ملاحظة أن بياناتنا تظهر لنا بعض القيود. أهم القيود التي تظهرها لنا هي أننا لا يمكننا القيام بأي تقديرات غير متحيزة لفترات التي لم يتم تسجيلها في البيانات.

### تنظيف البيانات

لنبدأ الآن بتنظيف بيانات المكالمات. الأمر `head` يظهر لنا أول خمس أسطر في الملف:

```
</>
!head data/Berkeley_PD_-_Calls_for_Service.csv
```

```
CASENO,OFFENSE,EVENTDT,EVENTTM,CVLEGEND,CVDOW,InDbDate,Block_Location,BLKADDR,City,State
17091420,BURGLARY AUTO,07/23/2017 12:00:00 AM,06:00,BURGLARY - VEHICLE,0,08/29/2017 08:28:05 AM,"2500 LE (Berkeley, CA
(37.876965, -122.260544)",2500 LE CONTE AVE,Berkeley,CA
17020462,THEFT FROM PERSON,04/13/2017 12:00:00 AM,08:45,LARCENY,4,08/29/2017 08:28:00 AM,"2200 SHATTUCK A(Berkeley, CA
(37.869363, -122.268028)",2200 SHATTUCK AVE,Berkeley,CA
17050275,BURGLARY AUTO,08/24/2017 12:00:00 AM,18:30,BURGLARY - VEHICLE,4,08/29/2017 08:28:06 AM,"200 UNIVI
```

Berkeley, CA  
(37.865491, -122.310065)", 200 UNIVERSITY AVE, Berkeley, CA

يظهر أن الملف من النوع CSV، ولكن من الصعب معرفة ما إذا كان جميع محتوى الملف منسق بطريقه صحيحه. يمكننا استخدام الدالة pd.read\_csv لقراءة الملف ك DataFrame. إذا أظهر الأمر DataFrame، فيجب علينا البحث بشكل أعمق وحل المشكلة يدوياً. لحسن الحظ، قامت الدالة بقراءة الملف بشكل صحيح على شكل DataFrame.

```
</>
import pandas as pd
calls = pd.read_csv('data/Berkeley_PD_-_Calls_for_Service.csv')
calls
```

FFENSE	EVENTDT	EVENTTM	...	Block_Location	BLKADDR	City	State
IRGLARY AUTO	07/23/2017 12:00:00 AM	06:00	...	LE CONTE 2500 AVE\nBerkeley, ,CA\n(37.876965 ...-	LE 2500 CONTE AVE	Berkeley	CA
IFT FROM ERSON	04/13/2017 12:00:00 AM	08:45	...	SHATTUCK 2200 AVE\nBerkeley, ,CA\n(37.869363 ...-	2200 SHATTUCK AVE	Berkeley	CA
IRGLARY AUTO	08/24/2017 12:00:00 AM	18:30	...	UNIVERSITY 200 AVE\nBerkeley, ,CA\n(37.865491 ...	200 UNIVERSITY AVE	Berkeley	CA
...	...	...	...	...	...	...	...
URBANCE	04/01/2017 12:00:00	12:22	...	FAIRVIEW 1600 ST\nBerkeley, CA\n(37.850001, ...-1	1600 FAIRVIEW ST	Berkeley	CA
IFT MISD. IDER \$950	04/01/2017 12:00:00	12:00	...	DELAWARE 2000 ST\nBerkeley, CA\n(37.874489, ...-1	2000 DELAWARE ST	Berkeley	CA
EXUAL SSAULT .MISD	08/22/2017 12:00:00 AM	20:02	...	2400 TELEGRAPH AVE\nBerkeley, ,CA\n(37.866761 ...	2400 TELEGRAPH AVE	Berkeley	CA

5508 rows × 11 columns

يمكينا كتابة دالة تقوم بإظهار أجزاء من البيانات:

```
</>
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import seaborn as sns
%matplotlib inline
import ipywidgets as widgets
from ipywidgets import interact, interactive, fixed, interact_manual

def df_interact(df):
    def peek(row=0, col=0):
        return df.iloc[row:row + 5, col:col + 6]
    interact(peek, row=(0, len(df), 5), col=(0, len(df.columns) - 6))
    print('{} rows, {} columns total'.format(df.shape[0], df.shape[1]))
df_interact(calls)
```

ال코드 البرمجي السابق يُنتج لنا جدول تفاعلي كما في الصورة أدناه، يحتوي بشكل تلقائي على الـ 6 أسطر الأولى و أول 6 أعمدة. عند تحريك أي من الشريطين تظهر لنا أسطر / أعمدة مختلفة بناءً على رقم السطر الذي اختيارنا ورقم الأعمدة. تذكر دائمًا أنه الترقيم في الجداول / بایتون .0 يبدأ من 0.

row 0  
col 0

CASENO	OFFENSE	EVENTDT	EVENTTM	CVLEGEND	CVDOW	
0	17091420	BURGLARY AUTO	07/23/2017 12:00:00 AM	06:00	BURGLARY - VEHICLE	0
1	17020462	THEFT FROM PERSON	04/13/2017 12:00:00 AM	08:45	LARCENY	4
2	17050275	BURGLARY AUTO	08/24/2017 12:00:00 AM	18:30	BURGLARY - VEHICLE	4
3	17019145	GUN/WEAPON	04/06/2017 12:00:00 AM	17:30	WEAPONS OFFENSE	4
4	17044993	VEHICLE STOLEN	08/01/2017 12:00:00 AM	18:00	MOTOR VEHICLE THEFT	2

(5508 rows, 11 columns) total

بناءً على النتائج في الأعلى، تبدو البيانات مرتبة بشكل مناسب بما ان العمدة مُسمى بشكل صحيح والبيانات في كل عمود مدخله بشكل متناسق. ماذا يحتوي كل عمود؟ يمكننا التتحقق من ذلك بموقع البيانات:

العمود	الوصف	النوع
CASENO	رقم القضية	رقم
OFFENSE	نوع المخالفه	نص
EVENTDT	تاريخ الحدث	تاريخ + وقت
EVENTTM	وقت الحدث	نص
CVLEGEND	تفاصيل الحدث	نص
CVDOW	أي يوم بالاسبوع حصلت فيه المخالفه	رقم
InDbDate	تاريخ ووقت تحديث المخالفه في قاعدة البيانات	تاريخ + وقت
Block_Location	عنوان المخالفه	عنوان
BLKADDR		نص
City		نص
State		نص

قد تبدو البيانات سهلة التحليل. ولكن قبل البدء بذلك، يجب أن نجيب عن الأسئلة التالية:

- هل توجد بيانات مفقودة؟ السؤال مهم لأن البيانات المفقودة قد تكون لعدة أسباب. مثلاً، عنوانين مفقودة قد يكونا حذفها بسبب حماية خصوصية الأشخاص، أو أن أحد المشاهرين لهذه المخالفه رفض الإجابة على هذا السؤال، أو بسبب حدوث مشاكل في جهاز التسجيل.
- هل توجد أي بيانات مفقودة تم تعبيتها؟ ( مثلًا كتابة رقم 999 لعمر مجهول أو 12:00 صباحاً لتاريخ مجهول؟)؟ بالتأكيد سيأثر ذلك على تحليلنا إذا تحاولناها.
- أي جزء من البيانات ادخلت بواسطة أشخاص حقيقين؟ كما سرى بعد قليل، البيانات التي يتم ادخالها من البشر تحتوي على الكثير من التناقضات والأخطاء الإملائية.

رغم أن هناك الكثير من المشاكل التي يجب أن نتحقق منها، هذه المشاكل الثلاثة هي الأكثر تكراراً في جميع البيانات. يمكنك مراجعة [Quartz](#) لاستعراض قائمة من المشاكل التي يحتاج للتحقق منها في البيانات قبل البدء بالتحليل.

## هل توجد بيانات مفقوده؟

هذه الخطوة سهلة التحقق في بانداز عن طريق الكود البرمجي التالي:

```
</>
# سنظهر لنا الأسطر التي تحتوي على الاقل على قيمة واحدة مفقوده
null_rows = calls.isnull().any(axis=1)
calls=null_rows]
```

OFFENSE	EVENTDT	EVENTTM	...	Block_Location	BLKADDR	City	State
BURGLARY AUTO	03/16/2017 12:00:00 AM	22:00	...	Berkeley, CA\n(37.869058, -122.270455	NaN	Berkeley	CA
BURGLARY AUTO	07/20/2017 12:00:00 AM	16:00	...	Berkeley, CA\n(37.869058, -122.270455	NaN	Berkeley	CA
VEHICLE STOLEN	04/22/2017 12:00:00 AM	21:00	...	Berkeley, CA\n(37.869058, -122.270455	NaN	Berkeley	CA
...	...	...	...	...	...	...	...
VANDALISM	07/01/2017 12:00:00	08:00	...	Berkeley, CA\n(37.869058, -122.270455	NaN	Berkeley	CA

OFFENSE	EVENTDT	EVENTTM	...	Block_Location	BLKADDR	City	State
BURGLARY RESIDENTIAL	06/30/2017 12:00:00 AM	15:00	...	Berkeley, CA\n(37.869058, -122.270455	NaN	Berkeley	CA
VANDALISM	08/15/2017 12:00:00 AM	23:30	...	Berkeley, CA\n(37.869058, -122.270455	NaN	Berkeley	CA

27 rows × 11 columns

يظهر لنا 27 سطراً لا تحتوي على عناوين في العمود BLKADDR. لسوء الحظ، لا يظهر لنا في شرح البيانات اي معلومة عن طريقة حفظ معلومات العنوان. نعرف أن جميع البيانات لأحداث تمت في مدينة بيركلي، لذا يمكننا الافتراض أن جميع المكالمات كانت لعنوانين في مكان ما في بيركلي.

### هل توجد أي بيانات مفقودة تم تعبتها؟

من النتيجة السابقة نلاحظ ان العمود Block\_Location يحتوي على القيمة CA اذا كان القيمه في العمود Berkeley مفقوده. أيضاً، التتحقق من الجدول اظهر لنا ان العمود EVENTDT يحتوي على التاريخ بشكل صحيح ولكن في كل الأسطر تم تسجيل الوقت 12:00:00AM ، الوقت الحقيقي في العمود EVENTTM. لتحقق من ما اكتشفناه:

```
# اظهار اول سبع اسطر
calls.head(7)
```

OFFENSE	EVENTDT	EVENTTM	...	Block_Location	BLKADDR	City	State
RGLARY AUTO	07/23/2017 12:00:00 AM	06:00	...	LE CONTE 2500 AVE\nBerkeley, ,CA\n(37.876965 ...-	LE 2500 CONTE AVE	Berkeley	CA
FT FROM ERSON	04/13/2017 12:00:00 AM	08:45	...	SHATTUCK 2200 AVE\nBerkeley, ,CA\n(37.869363 ...-	2200 SHATTUCK AVE	Berkeley	CA
RGLARY AUTO	08/24/2017 12:00:00 AM	18:30	...	UNIVERSITY 200 AVE\nBerkeley, ,CA\n(37.865491 ...-	200 UNIVERSITY AVE	Berkeley	CA
/WEAPON	04/06/2017 0:00	17:30	...	SEVENTH 1900 ST\nBerkeley, ,CA\n(37.869318, ...-12	1900 SEVENTH ST	Berkeley	CA
EHICLE TOLEN	08/01/2017 0:00	18:00	...	PARKSIDE 100 DR\nBerkeley, ,CA\n(37.854247, ...-12	100 PARKSIDE DR	Berkeley	CA
RGLARY IDENTIAL	06/28/2017 12:00:00 AM	12:00	...	PRINCE 1500 ST\nBerkeley, ,CA\n(37.851503, ...-122	1500 PRINCE ST	Berkeley	CA
RGLARY IDENTIAL	05/30/2017 12:00:00 AM	08:45	...	MENLO 300 PL\nBerkeley, ,CA\n	MENLO 300 PL	Berkeley	CA

7 rows × 11 columns

خطوة تنظيف، نريد أن نجمع الأعمدة EVENTDT و EVENTTM ليحتوي على التاريخ والوقت في عمود واحد. إذا قمنا بكتابة دالة تستقبل وتنشأ أخرى، فيمكننا لاحقاً استخدام DataFrame pd.pipe لتطبيق ذلك على جميع القيم:

```
</>
def combine_event_datetimes(calls):
    combined = pd.to_datetime(
        calls['EVENTDT'].str[:10] + ' ' + calls['EVENTTM'],
        infer_datetime_format=True,
    )
    return calls.assign(EVENTDTTM=combined)

# لعرض الناتج قبل التعديل على ال DataFrame
calls.pipe(combine_event_datetimes).head(2)
```

OFFENSE	EVENTDT	EVENTTM	...	BLKADDR	City	State	EVENTDTMM
BURGLARY AUTO	07/23/2017 12:00:00 AM	06:00	...	LE 2500 CONTE AVE	Berkeley	CA	23/07/2017 06:00:00
THEFT FROM PERSON	04/13/2017 12:00:00 AM	08:45	...	2200 SHATTUCK AVE	Berkeley	CA	2017-04-13 08:45:00

2 rows x 12 columns

### أي جزء من البيانات أدخلت بواسطة أشخاص حقيقين؟

يبدو أن الكثير من الأعمدة تم إدخالها بشكل تلقائي بواسطة الآلة، بما في ذلك التاريخ، الوقت، اليوم في الأسبوع، وعنوان الحادثة.

أيضاً، الأعمدة CVLEGEND و OFFENSE يبدو أنها تحتوي على بيانات ثابتة. يمكننا التتحقق من القيم المدخلة في كل عمود لنتحقق إن كان هناك أي قيم تحتوي على أخطاء إملائية:

```
</>
calls['OFFENSE'].unique()
```

```
array(['BURGLARY AUTO', 'THEFT FROM PERSON', 'GUN/WEAPON',
       'VEHICLE STOLEN', 'BURGLARY RESIDENTIAL', 'VANDALISM',
       'DISTURBANCE', 'THEFT MISD. (UNDER $950)', 'THEFT FROM AUTO',
       'DOMESTIC VIOLENCE', 'THEFT FELONY (OVER $950)', 'ALCOHOL OFFENSE',
       'MISSING JUVENILE', 'ROBBERY', 'IDENTITY THEFT',
       'ASSAULT/BATTERY MISD.', '2ND RESPONSE', 'BRANDISHING',
       'MISSING ADULT', 'NARCOTICS', 'FRAUD/FORGERY',
       'ASSAULT/BATTERY FEL.', 'BURGLARY COMMERCIAL', 'MUNICIPAL CODE',
       'ARSON', 'SEXUAL ASSAULT FEL.', 'VEHICLE RECOVERED',
       'SEXUAL ASSAULT MISD.', 'KIDNAPPING', 'VICE', 'HOMICIDE'], dtype=object)
```

```
</>
calls['CVLEGEND'].unique()
```

```
array(['BURGLARY - VEHICLE', 'LARCENY', 'WEAPONS OFFENSE',
       'MOTOR VEHICLE THEFT', 'BURGLARY - RESIDENTIAL', 'VANDALISM',
       'DISORDERLY CONDUCT', 'LARCENY - FROM VEHICLE', 'FAMILY OFFENSE',
       'LIQUOR LAW VIOLATION', 'MISSING PERSON', 'ROBBERY', 'FRAUD',
       'ASSAULT', 'NOISE VIOLATION', 'DRUG VIOLATION',
       'BURGLARY - COMMERCIAL', 'ALL OTHER OFFENSES', 'ARSON', 'SEX CRIME',
       'RECOVERED VEHICLE', 'KIDNAPPING', 'HOMICIDE'], dtype=object)
```

بما أن كل قيمة يبدو أنها أدخلت بشكل صحيح، لنحتاج للقيام بأي تعديلات على العمودان.

تحققنا أيضاً من العمود BLKADDR إن كان يحتوي على أي تناقضات ووجدنا أن العنوانين أدخلت في بعض المرات على الشكل التالي LE CONTE 2500 AVE كعنوان كامل وفي بعض مرات أخرى سجل العنوان كتقاطع شارعين مثل ALLSTON WAY & FIFTH ST. يشير ذلك أن البيانات أدخلت بدليلاً بواسطة أشخاص حقيقين وليس بشكل آلي، هذا العمود سيكون صعب تحليله. لحسن الحظ يمكننا استخدام بيانات خطوط الطول والعرض Latitude و Longitude بدلاً من العنوان.

```
</>
calls['BLKADDR'][[0, 5001]]
```

```
0           2500 LE CONTE AVE
5001      ALLSTON WAY & FIFTH ST
Name: BLKADDR, dtype: object
```

### لمسات أخيرة

يبدو البيانات جاهزة للتحليل الآن. العمود Block\_Location يحتوي على نص بالعنوان، خط الطول والعرض. نحتاج لفصل قيمة خط الطول والعرض ليسهل استخدامها:

```
</>
def split_lat_lon(calls):
    return calls.join(
        calls['Block_Location'])
```

```

(الحصول على الإحداثات من النص ( بيانات خط الطول والعرض
.str.split('\n').str[2]
# حذف الأقواس من النص
.str[1:-1]
# فصل قيم خط الطول والعرض إلى عمودان
.str.split(',', ',', expand=True)
.rename(columns={0: 'Latitude', 1: 'Longitude'})
)

calls.pipe(split_lat_lon).head(2)

```

OFFENSE	EVENTDT	EVENTTM	CVDOW	...	City	State	Latitude	Longitude
BURGLARY AUTO	07/23/2017 12:00:00 AM	6:00	0	...	Berkeley	CA	37.876965	122.260544-
THEFT FROM PERSON	04/13/2017 12:00:00 AM	8:45	0	...	Berkeley	CA	37.869363	122.268028-

2 rows × 13 columns

ثم نربط كل رقم في العمود CVDOW مع نص اليوم، سنستخدم الملف cvdow.csv الذي تم تجهيزه مسبقاً، يحتوي الملف على رقم اليوم واليوم كنص مكتوب:

[لتحميل الملف: cvdow.csv](#)

```

day_of_week = pd.read_csv('data/cvdow.csv')
day_of_week

```

CVDOW		Day
0	0	Sunday
1	1	Monday
2	2	Tuesday
3	3	Wednesday
4	4	Thursday
5	5	Friday
6	6	Saturday

نقوم بترجمة العمود CVDOW إلى نص:

```

def match_weekday(calls):
    return calls.merge(day_of_week, on='CVDOW')

calls.pipe(match_weekday).head(2)

```

IO	OFFENSE	EVENTDT	EVENTTM	...	BLKADDR	City	State	Day
120	BURGLARY AUTO	07/23/2017 12:00:00 AM	6:00	...	LE 2500 CONTE AVE	Berkeley	CA	Sunday
302	BURGLARY AUTO	07/02/2017 0:00	22:00	...	BOWDITCH STREET & CHANNING WAY	Berkeley	CA	Sunday

2 rows × 12 columns

سندف الأعمدة التي لا نحتاجها:

```

def drop_unneeded_cols(calls):
    return calls.drop(columns=['CVDOW', 'InDbDate', 'Block_Location', 'City',
                               'State', 'EVENTDT', 'EVENTTM'])

```

الآن نقوم بتطبيق جميع الدول التي عرفناها سابقاً على البيانات باستخدام  pipe :

&lt;/&gt;

```
calls_final = (calls.pipe(combine_event_datetimes)
    .pipe(split_lat_lon)
    .pipe(match_weekday)
    .pipe(drop_unneeded_cols))
df_interact(calls_final)
```

بنفس الطريقة السابقة سيظهر لنا جدول تفاعلي.

row  0  
col  0

CASENO	OFFENSE	CVLEGEND	BLKADDR	EVENTDTTM	Latitude
0	BURGLARY AUTO	BURGLARY - VEHICLE	2500 LE CONTE AVE	2017-07-23 06:00:00	37.876965
1	BURGLARY AUTO	BURGLARY - VEHICLE	BOWDITCH STREET & CHANNING WAY	2017-07-02 22:00:00	37.867209
2	THEFT MISD. (UNDER \$950)	LARCENY	2900 CHANNING WAY	2017-08-20 23:20:00	37.867948
3	THEFT MISD. (UNDER \$950)	LARCENY	2100 RUSSELL ST	2017-07-09 04:15:00	37.856719
4	DISTURBANCE	DISORDERLY CONDUCT	TELEGRAPH AVENUE & DURANT AVE	2017-07-30 01:16:00	37.867816

(5508 rows, 8 columns) total

الآن، بيانات المكالمات جاهزة للتحليل. في الجزء التالي، سنقوم بتنظيف بيانات الإيقافات.

&lt;/&gt;

```
calls_final.to_csv('data/calls.csv', index=False)
```

## تنظيف بيانات الإيقافات

لنبدأ تجهيز بيانات ملف الإيقافات للتحليل.

لتحميل الملف: [stops.json](#)

نستخدم head لعرض الأسطر الأولى في الملف:

&lt;/&gt;

```
!head data/stops.json
```

```
{
  "meta" : {
    "view" : {
      "id" : "6e9j-pj9p",
      "name" : "Berkeley PD - Stop Data",
      "attribution" : "Berkeley Police Department",
      "averageRating" : 0,
      "category" : "Public Safety",
      "createdAt" : 1444171604,
      "description" : "This data was extracted from the Department's Public Safety Server and covers the c"
    }
  }
}
```

كما يبدو وضاحاً أن الملف ليس من النوع CSV. الملف يحتوي على بيانات من النوع JSON (JavaScript Object Notation) “ترميز الكائنات باستعمال جافا سكريبت”，طريقة كثيرة الاستخدام لحفظ فيها البيانات على في مصفوفة من النوع JSON. مكتبة [Dictionary](#) في بايثون تسهل علينا قراءة هذا النوع من المصفوفات:

تم شرح هذا النوع من المصفوفات Dictionary في [الفصل الثالث](#). تحتوي على مفاتيح Keys وقيم لها Values.

&lt;/&gt;

```
import json

# انتبه ان الملف قد يستهلك جميع ذاكرة الجهاز اذا كان حجمه كبير
# تحققنا من الحجم قبل تحميل الملف #

with open('data/stops.json') as f:
    stops_dict = json.load(f)
```

```
stops_dict.keys()
```

```
dict_keys(['meta', 'data'])
```

لاحظ أننا أظهرنا فقط المفاتيح في المصفوفة `stops_dict` كـ `stops` لأنها تمت بطيء المتصفح أثناء طباعة جميع محتوى المصفوفة. لـ`اء` نظره على البيانات دون أن تنسى بتعطيل المتصفح بـ`stopIteration` بسبب حجم البيانات الكبير، يمكننا تحويل المصفوفة إلى نص وطباعته بعض من محتواها:

```
from pprint import pformat

def print_dict(dictionary, num_chars=1000):
    print(pformat(dictionary)[:num_chars])

print_dict(stops_dict['meta'])
```

عرف الكاتب هنا دالة لطباعة محتوى المصفوفة، تستقبل الدالة المصفوفة + عدد الأحرف التي يرغب بطباعتها

```
{'view': {'attribution': 'Berkeley Police Department',
          'averageRating': 0,
          'category': 'Public Safety',
          'columns': [{"dataTypeName': 'meta_data',
                      'fieldName': ':sid',
                      'flags': ['hidden'],
                      'format': {},
                      'id': -1,
                      'name': 'sid',
                      'position': 0,
                      'renderTypeName': 'meta_data'},
                     {'dataTypeName': 'meta_data',
                      'fieldName': ':id',
                      'flags': ['hidden'],
                      'format': {},
                      'id': -1,
                      'name': 'id',
                      'position': 0,
                      'renderTypeName': 'meta_data'},
                     {'dataTypeName': 'meta_data',
                      'fieldName': ':position',
                      'flags': ['hidden'],
                      'format': {}},
```

```
print dict(stops dict['data'], num chars=300)
```

```
[1,
 '29A1B912-A0A9-4431-ADC9-FB375809C32E',
 1,
 1444146408,
 '932858',
 1444146408,
 '932858',
 None,
 '2015-00004825',
 '2015-01-26T00:10:00',
 'SAN PABLO AVE / MARIN AVE',
 'T',
 'M',
 None,
 None],
[2,
 '1644D161-1113-4C4F-BB2E-BF780E7AE73E',
 2,
 1444146408,
 '932858',
 14
```

يمكن أن نلاحظ أن المفتاح 'meta' يحتوي على وصف البيانات والأعمدة. والمفتاح 'data' يحتوي على البيانات. يمكننا استخدام هذه المعلومة لإنشاء DataFrame:

```
# تحميل البيانات من JSON
# ثم تسمية الأعمدة
stops = pd.DataFrame(
    stops_dict['data'],
    columns=stops_dict['columns'])
```

```
columns=[c.name for c in stops._meta.get_fields()]

```

```
stops
```

d	position	created_at	...	Incident Type	Dispositions	Location - Latitude	Location - Longitude
B912- -4431- C9- :09C32E	1	1444146408	...	T	M	None	None
D161- -4C4F- 2E- :7AE73E	2	1444146408	...	T	M	None	None
ABAB- -488D- 5F- :505872	3	1444146408	...	T	M	None	None
..	...	...	...	...	...	...	...
06ED- -4B0B- 9B- .49F34B	31079	1496269085	...	T	;BM2TWN	None	None
F18D- -441D- 09- :DACA7A	31080	1496269085	...	T	;HM4TCS	37.8698757	122.2865508-
D2A4- -4BE7- C6- .9DF838	31081	1496269085	...	1194	;AR	37.86720754	122.2565294-

```
29208 rows × 15 columns
```

```
# طباعة اسماء الأعمدة
stops.columns
```

```
</>
```

```
Index(['sid', 'id', 'position', 'created_at', 'created_meta', 'updated_at',
       'updated_meta', 'meta', 'Incident Number', 'Call Date/Time', 'Location',
       'Incident Type', 'Dispositions', 'Location - Latitude',
       'Location - Longitude'],
      dtype='object')
```

يحتوي الموقع الذي حصلنا على البيانات منه على المعلومات التالية عن الأعمدة:

النوع	الوصف	العمود
نص	رقم المخالفة، تم توليد هذا الرقم بشكل تلقائي بواسطة برنامج (CAD)	Incident Number
تاريخ + وقت	تاريخ ووقت المخالفه - الإيقاف	Call Date/Time
نص	العنوان العام للمخالفة - الإيقاف	Location
نص	نوع المخالفه يتم توليده أوتوماتيكياً بواسطة (CAD). الحرف (T) يعني إيقاف سيارة من قبل الشرطة. إيقاف سيارة مشبوهة رمز لها (1194B). إيقاف مشاة رمز له (1194). إيقاف دراجة باررمز (1194B)	Incident Type
نص	تفاصيل ومعلومات عن الموقوف، مرتبة بالترتيب: أول حرف يعني العرق، وهو كالتالي: A (آسيوي) B (أسود) H (آسيان) O (آخر) W (أبيض). الحرف الثاني يعني الجنس: F (أنثى) M (ذكر). الحرف الثالث يعني مدى العمر وهو كالتالي: 1 (أقل من 18) 2 (بين 18-29) 3 (بين 30-39) 4 (أكبر من 40). الحرف الرابع يعني السبب: I (تحقيق) T (إيقاف مروري) R (اشتباه) K (إفراج مشروط) W (مطلوب). الحرف الخامس يعني ما تم تطبيقه على الموقوف: A (اعتقال) C (مخالفه) O (آخر) W (إنذار). الحرف ال السادس يوضح إذا تم البحث في السيارة: S (تم البحث) N (لم يتم البحث). معلومات أخرى قد ظهرت، منها: P - تقرير الحالة الأولى. M - سرد عن طريق الهاتف فقط. AR - تقرير اعتقال فقط (لم يتم تسليم تقرير القضية). IN - تقرير حادثة. FC - بطاقة مدنانيه. CO - تقرير حادثة تصدام. MH - تقييم نفسي عاجل. TOW - سيارة محجوزة. O أو 00000 - الشرطي أوقف لأكثر من خمسة أشخاص	Dispositions
رقم	خط العرض العام لموقع المكالمة. هذه المعلومة فقط تم البدء بإضافتها في يناير 2017.	Location - Latitude
رقم	خط العرض العام لموقع المكالمة. هذه المعلومة فقط تم البدء بإضافتها في يناير 2017.	Location - Longitude

نلاحظ أن الموقع لا يحتوي على وصف لأول ثمانية أعمدة لجدول stops. كون هذه الأعمدة تحتوي على بيانات وصفية metadata لسنا مهتمين بتحليلها في الوقت الحالي. سنقوم بحذف هذه الأعمدة من الجدول:

```
</>
columns_to_drop = ['sid', 'id', 'position', 'created_at', 'created_meta',
                    'updated_at', 'updated_meta', 'meta']

# هذه الدالة تستقبل DataFrame
# وتقوم بحذف الأعمدة غير المرغوبه منها
# تسجل هذه الأعمدة في المتغير الذي سيق تعريفه
def drop_unneeded_cols(stops):
    return stops.drop(columns=columns_to_drop)

stops = stops.pipe(drop_unneeded_cols)
stops
```

Incident Number	Call Date/Time	Location	Incident Type	Dispositions	Location - Latitude	Location - Longitude
2015-00004825	2015-01-26T00:10:00	SAN PABLO AVE / MARIN AVE	T	M	None	None
2015-00004829	2015-01-26T00:50:00	SAN PABLO AVE / CHANNING WAY	T	M	None	None
2015-00004831	2015-01-26T01:03:00	UNIVERSITY AVE / NINTH ST	T	M	None	None
...	...	...	...	...	...	...
2017-00024245	2017-04-30T22:59:26	UNIVERSITY AVE/6TH ST	T	;BM2TWN	None	None
2017-00024250	2017-04-30T23:19:27	UNIVERSITY AVE / WEST ST	T	;HM4TCS	37.8698757	122.2865508-
2017-00024254	2017-04-30T23:38:34	CHANNING WAY / BOWDITCH ST	1194	;AR	37.86720754	122.2565294-

29208 rows × 7 columns

كما في بيانات المكالمات، سنجيب على الأسئلة التالية:

- هل توجد بيانات مفقودة؟
- هل توجد أي بيانات مفقودة تم تعبيتها؟ ( مثلًا كتابة رقم 999 لعمر مجهول أو 12:00 صباحاً لتاريخ مجهول؟)
- أي جزء من البيانات أدخلت بواسطة أشخاص حقيقين؟

### هل توجد بيانات مفقودة ؟

يمكن ان نلاحظ ان هناك الكثير من البيانات المفقودة في عمودي خط الطول والعرض. في وصف البيانات ذكر أن العمودان تم البدء في تعبيتها في يناير :2017

```
</>
ستظهر لنا الأسطر التي تحتوي على الأقل على قيمة واحدة مفقوده
null_rows = stops.isnull().any(axis=1)

stops=null_rows]
```

	Incident Number	Call Date/Time	Location	Incident Type	Dispositions	Location - Latitude	Location - Longitude
0	2015-00004825	2015-01-26T00:10:00	SAN PABLO AVE / MARIN AVE	T	M	None	None
1	2015-00004829	2015-01-26T00:50:00	SAN PABLO AVE / CHANNING WAY	T	M	None	None
2	2015-00004831	2015-01-26T01:03:00	UNIVERSITY AVE / NINTH ST	T	M	None	None

	Incident Number	Call Date/Time	Location	Incident Type	Dispositions	Location - Latitude	Location - Longitude
...	...	...	...	...	...	...	...
29078	2017-00023764	2017-04-29T01:59:36	M L 2180 KING JR WAY	1194	;BM4IWN	None	None
29180	2017-00024132	2017-04-30T12:54:23	6TH/UNI	1194	;M	None	None
29205	2017-00024245	2017-04-30T22:59:26	UNIVERSITY AVE/6TH ST	T	;BM2TWN	None	None

25067 rows × 7 columns

يمكن أن نتحقق من قيمة الأعمدة إذا كانت تحتوي على بيانات مفقودة:

```
# ستظهر لنا الأسطر التي تحتوي على الأقل على قيمة واحدة مفقودة
# دون التتحقق من المقدرات في عمودي خطوط الطول والعرض
null_rows = stops.iloc[:, :-2].isnull().any(axis=1)

df interact(stops=null_rows)
```

بنفس الطريقة السابقة سينظر لنا جدول تفاصيله.

row	0													
sid	id	position	created_at	created_meta	updated_at	updated_meta	meta	Incident Number	Call Date/Time	Location	Incident Type	Dispositions	L	
0	1	29A1B912-A0A9-4431-ADC9-FB375809C32E	1	1444146408	932858	1444146408	932858	None	2015-00004825	2015-01-26T00:10:00	SAN PABLO AVE / MARIN AVE	T	M	L
1	2	1644D161-1113-4C4F-BB2E-BF780E7AE73E	2	1444146408	932858	1444146408	932858	None	2015-00004829	2015-01-26T00:50:00	SAN PABLO AVE / CHANNING WAY	T	M	L
2	3	5338ABAB-1C96-48BD-B55F-6A47AC505872	3	1444146408	932858	1444146408	932858	None	2015-00004831	2015-01-26T01:03:00	UNIVERSITY AVE / NINTH ST	T	M	L
3	4	21BC6CBE4-9865-460F-978C-6B26C6EF2FDB	4	1444146408	932858	1444146408	932858	None	2015-00004848	2015-01-26T07:16:00	2000 BLOCK BERKELEY WAY	1194	BM4ICN	L
4	5	0D85FA92-80E9-48C2-B409-C3270251CD12	5	1444146408	932858	1444146408	932858	None	2015-00004849	2015-01-26T07:43:00	1700 BLOCK SAN PABLO AVE	1194	BM4ICN	L

(63 rows, 7 columns) total

نلاحظ أن أكثر البيانات المفقودة تكون في عمود Dispositions "صرفات ومعلومات عن الموقوف". للأسف، لم يتم التوضيح في شرح البيانات سبب فقدان هذه المعلومات. بما أن عدد البيانات المفقودة 63 مقارنة بمجموع البيانات 25000 في الجدول، سنتمكن تنظيف البيانات مع الأخذ بالاعتار أن البيانات المفقودة قد تؤثر على نتائجنا.

هل توجد أى بيانات مفقوده تم تعبيتها ؟

لا لا لا يجدون لدينا أن أي من البيانات المفقودة تم تعبئتها، على عكس بيانات المكالمات، التي تم فيها تقسيم التاريخ والوقت في أعمدة منفصلة، في جدول الانحرافات ظهر التاريخ والوقت في عمود واحد.

أي جزء من البيانات أدخلت بواسطة أشخاص، حقيقين؟

أيضاً، كما في بيانات المكالمات، يbedo أن الكثير من بيانات الإيفاقات تم تلقيها بشكل تلقائي بواسطة الآلة أو تم اختيارها من قوائم محددة مسبقاً بواسطة أشخاص (مثلاً، عمدتاً *Incident Type* "نوع المخالفة")

نلاحظ أن عمود العنوان لا يحتوي على بيانات محددة مسبقاً من قوائم. يمكننا التتحقق لنرى بعض الأخطاء الإملائية في كتابة العنوانين:

```
stops['Location'].value_counts()
```

2200 BLOCK SHATTUCK AVE 229  
37.8693028530001~ -122.272234021 213  
UNIVERSITY AVE / SAN PABLO AVE 202

```

VALLEY ST / DWIGHT WAY      1
COLLEGE AVE / SIXTY-THIRD ST 1
GRIZZLY PEAK BLVD / MARIN AVE 1
Name: Location, Length: 6393, dtype: int64

```

كما يظهر، يبدو أنه في مرات تم إدخال العنوان كاملاً، أو التقطيعات، ومرات أخرى تم إدخال خطوط الطول والعرض. للأسف ليس لدينا بيانات كاملة لخطوط الطول والعرض لاستخدامها بدلاً من العنوانين في هذا العمود. قد نحتاج لتنظيف هذا العمود يدويًا إذا ما أردنا تحليل بياناته.

يمكننا أيضًا التحقق من عمود Dispositions:

```

dispositions = stops['Dispositions'].value_counts()
interact(lambda row=0: dispositions.iloc[row:row+7],
         row=(0, len(dispositions), 7))

```

بنفس الطريقة السابقة سيظهر لنا جدول تفاعلي بالأنواع المختلفة لتصنيفات ومعلومات الموقف

row 0

M	1683
WM4TCN	875
BM4TWN	681
BM2TWN	674
WM4TWN	547
WF4TCN	537
P	493

Name: Dispositions, dtype: int64

يحتوي العمود على الكثير من التناقضات والاختلافات في تسجيل البيانات. مثلاً، في بعض الأحيان يتم إضافة مسافة قبل إدخال البيانات، وبعض المرات يتم إضافة فاصلة منقوطة في النهاية. بعض الأسطر أيضاً تحتوي على أكثر من إدخال. التنوع في البيانات يوضح أنها قد تكون أدخلت بواسطةأشخاص حقيقين وليس الآلة، لذا يجب علينا الحذر عند العمل عليها:

```

امثله على قيم تحتوي على مشاكل #
dispositions.iloc[[0, 20, 30, 266, 1027]]

```

M	1683
M;	238
M	176
HF4TWN;	14
OM4KWS	1

Name: Dispositions, dtype: int64

أيضاً، أكثر القيم تكراراً هو M وهو كقيمه أولًا لا تعتبر صحيحة لأنه ليس من قائمة الخيارات في العرق. هنا يقترح أن تم تغيير طريقة إدخال البيانات في هذا العمود بعد فترة من بدء الإدخال، أو أنه مسموح لمدخل البيانات إدخال قيم دون التتحقق أن كانت تطابق شروط الإدخال في العمود. على أية حال، سيشكل العمل على هذا العمود تحدي كبير.

يمكننا البدء بخطوات بسيطة لتنظيف هذا العمود عن طريق حذف المسافات الفارغة أن كانت في البداية أو النهاية، حذف الفواصل المنقوطة إذا كانت في آخر الجملة، وإذا تكررت الفواصل المنقوطة في نفس السطر نستبدلها بفاصلة عادية:

```

def clean_dispositions(stops):
    cleaned = (stops['Dispositions']
               .str.strip()                                     # حذف المسافات الفارغة إن كانت في البداية أو النهاية
               .str.rstrip(';')                                # حذف الفواصل المنقوطة إن كانت في آخر الجملة
               .str.replace(';', ',')                         # تبديل بباقي الفواصل المنقوطة إلى فواصل عادي
    return stops.assign(Dispositions=cleaned)

```

```

stops_final = (stops
               .pipe(drop_unneeded_cols)
               .pipe(clean_dispositions))
df_interact(stops_final)

```

بنفس الطريقة السابقة سيظهر لنا جدول تفاعلي كال التالي

row 0

	Incident Number	Call Date/Time	Location	Incident Type	Dispositions	Location - Latitude	Location - Longitude
0	2015-00004825	2015-01-26T00:10:00	SAN PABLO AVE / MARIN AVE	T	M	None	None
1	2015-00004829	2015-01-26T00:50:00	SAN PABLO AVE / CHANNING WAY	T	M	None	None
2	2015-00004831	2015-01-26T01:03:00	UNIVERSITY AVE / NINTH ST	T	M	None	None
3	2015-00004848	2015-01-26T07:16:00	2000 BLOCK BERKELEY WAY	1194	BM4ICN	None	None
4	2015-00004849	2015-01-26T07:43:00	1700 BLOCK SAN PABLO AVE	1194	BM4ICN	None	None

(29208 rows, 7 columns) total

## الملخص

كما رأينا، كلا الملفين وضحت كيف أن تنظيف البيانات أحياناً يكون صعباً ومملاً. تنظيف البيانات بشكل كامل يأخذ وقتاً طويلاً، ولكن عدم تنظيفها قد يصلنا لنتائج خطأ. عند مواجهة بيانات يجب أن نحدد خياراتنا ونتحقق التوازن في خطوات تنظيف البيانات حتى نحصل على نتائج صحيحة. القرارات التي نتخذها أثناء تنظيف البيانات تأثر على تحليلنا. مثلاً، قررنا عدم تنظيف عمود Location في بيانات الإيقافات، لذا يجب أن نحذر أثناء تحليله. يجب علينا تسجيل كل قرار اخذه أثناء تنظيف البيانات ليكون مرجع لنا لاحقاً، والأفضل يكون في ملف جوبرت مع الكود البرمجي كـ يمكننا كلهاً أماناً وقت المراجعة.

```
</>
stops_final.to_csv('stops.csv', index=False)
```

## هيكلة وربط البيانات

### الهيكل

هيكل البيانات يعني شكل ملف البيانات. بشكل أبسط، يعني الطريقة التي أدخلت فيها البيانات في الملف. مثلاً، شاهدنا في ملف بيانات CSV المطالعات أن الملف من النوع:

```
</>
!head data/Berkeley_PD_-_Calls_for_Service.csv
```

```
CASENO,OFFENSE,EVENTDT,EVENTTM,CVLEGEND,CVDOW,InDbDate,Block_Location,BLKADDR,City,State
17091420,BURGLARY AUTO,07/23/2017 12:00:00 AM,06:00,BURGLARY - VEHICLE,0,08/29/2017 08:28:05 AM,"2500 LE (Berkeley, CA
(37.876965, -122.260544)",2500 LE CONTE AVE,Berkeley,CA
17020462,THEFT FROM PERSON,04/13/2017 12:00:00 AM,08:45,LARCENY,4,08/29/2017 08:28:00 AM,"2200 SHATTUCK A\ Berkeley, CA
(37.869363, -122.268028)",2200 SHATTUCK AVE,Berkeley,CA
17050275,BURGLARY AUTO,08/24/2017 12:00:00 AM,18:30,BURGLARY - VEHICLE,4,08/29/2017 08:28:06 AM,"200 UNIVE Berkeley, CA
(37.865491, -122.310065)",200 UNIVERSITY AVE,Berkeley,CA
```

وببيانات الإيقافات من النوع JSON:

```
</>
عرض أول وآخر خمس اسطر
!head -n 5 data/stops.json
!echo '...'
!tail -n 5 data/stops.json
```

```
{
  "meta" : {
    "view" : {
      "id" : "6e9j-pj9p",
      "name" : "Berkeley PD - Stop Data",
      ...
      , [ 31079, "C2B606ED-7872-4B0B-BC9B-4EF45149F34B", 31079, 1496269085, "932858", 1496269085, "932858", null
      , [ 31080, "8FADF18D-7FE9-441D-8709-7BFEABDACA7A", 31080, 1496269085, "932858", 1496269085, "932858", null
      , [ 31081, "F60BD2A4-8C47-4BE7-B1C6-4934BE9DF838", 31081, 1496269085, "932858", 1496269085, "932858", null
      ]
    }
}
```

بالطبع هناك أنواع أخرى لأنواع ملف البيانات، هذه قائمة للأكثر استخداماً:

- هذه الملفات كل سطر يمثل صف، ويفصل بين البيانات بعلامة الفاصلة (،) أو علامة \t (Tab). العمل على هذه الملفات يعتبر سهل جداً لأن شكلها مشابه بشكل كبير لـ CSV في بنار.
- ملفات JSON تكون ذات هيكل هرئي وتحتوي على مفاتيح Keys وقيم Values. تحتاج لقراءة DataFrame (Java Script Object Format) في لغة بايثون ومن ثم نبحث عن طريقة لاستخراج القيم إلى DataFrame.
- الملف بشكل كامل كقاموس Dictionary في لغة بايثون ومن ثم نبحث عن طريقة لاستخراج القيم إلى DataFrame (HyperText Markup Language (HTML) و (eXtensible Markup Language (XML والقيم. مثال عليها:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<note>
  <to>Tove</to>
  <from>Jani</from>
  <heading>Reminder</heading>
  <body>Don't forget me this weekend!</body>
</note>
```

في فصل لاحق، سنستخدم XPath لاستخراج البيانات من هذا النوع من الملفات.

- بيانات الإدخال Data Log. الكثير من البرامج يمكنها تصدير البيانات على شكل نصوص غير مهيكلة، مثلاً:

```
2005-03-23 23:47:11,663 - sa - INFO - creating an instance of aux_module.Aux
2005-03-23 23:47:11,665 - sa.aux.Aux - INFO - creating an instance of Aux
2005-03-23 23:47:11,665 - sa - INFO - created an instance of aux_module.Aux
2005-03-23 23:47:11,668 - sa - INFO - calling aux_module.Aux.do_something
2005-03-23 23:47:11,668 - sa.aux.Aux - INFO - doing something
```

في فصل لاحق، سنستخدم التعبير النمطية Regular Expressions لاستخراج البيانات من هذا النوع من الملفات.

## الربط

في العادة تكون البيانات مقسمة في أكثر من جدول. مثلاً، الجدول الأول يحتوي على معلومات الأشخاص، والجدول الثاني يحتوي على البريد الإلكتروني لكل شخص:

```
people = pd.DataFrame(
    [[{"Name": "Joey", "Color": "blue", "Number": 42, "Sex": "M"}, {"Name": "Weiwei", "Color": "blue", "Number": 50, "Sex": "F"}, {"Name": "Joey", "Color": "green", "Number": 8, "Sex": "M"}, {"Name": "Karina", "Color": "green", "Number": 7, "Sex": "F"}, {"Name": "Nhi", "Color": "blue", "Number": 3, "Sex": "F"}, {"Name": "Sam", "Color": "pink", "Number": -42, "Sex": "M"}], columns = ["Name", "Color", "Number", "Sex"])
people
```

	Name	Color	Number	Sex
0	Joey	blue	42	M
1	Weiwei	blue	50	F
2	Joey	green	8	M
3	Karina	green	7	F
4	Nhi	blue	3	F
5	Sam	pink	42-	M

```
email = pd.DataFrame(
    [{"User Name": "Deb", "Email": "deborah_nolan@berkeley.edu"}, {"User Name": "Sam", "Email": "samlau95@berkeley.edu"}, {"User Name": "John", "Email": "doe@nope.com"}, {"User Name": "Joey", "Email": "jegonzal@cs.berkeley.edu"}, {"User Name": "Weiwei", "Email": "weiwzhang@berkeley.edu"}, {"User Name": "Weiwei", "Email": "weiwzhang+123@berkeley.edu"}, {"User Name": "Karina", "Email": "kgoot@berkeley.edu"}], columns = ["User Name", "Email"])
email
```

	User Name	Email
0	Deb	deborah_nolan@berkeley.edu
1	Sam	samlau95@berkeley.edu

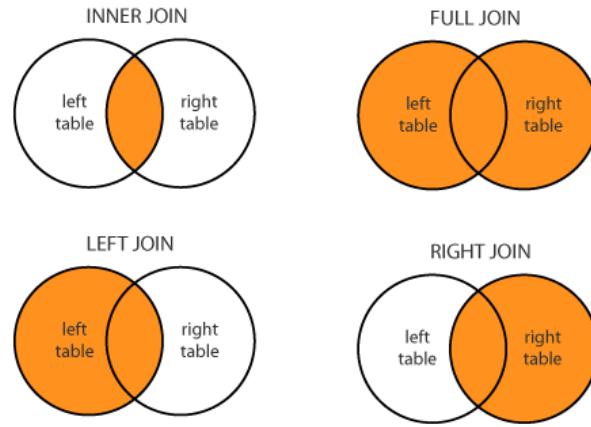
User Name		Email
2	John	doe@nope.com
3	Joey	jegonzal@cs.berkeley.edu
4	Weiwei	weiwzhang@berkeley.edu
5	Weiwei	weiwzhang+123@berkeley.edu
6	Karina	kgoot@berkeley.edu

لربط كل شخص ببريد الإلكتروني، يمكننا جمع الجدولين في جدول واحد والربط بينهم بواسطة عمود اسم المستخدم. يجب أن نقرر ما نفعله للأشخاص الذين يظهرون في جدول دون الآخر. مثلاً، ظهر في جدول الأشخاص Fernando ولم يظهر في جدول البريد الإلكتروني email. لدينا أنواع مختلفة من خيارات الربط join، وكل نوع طريقه مختلفة في التعامل مع البيانات المفقودة في جدول عن الآخر. أحد أشهر أنواع الربط هو الربط الداخلي، وفيه أي سطر لا يوجد له قيمة في الجدول الآخر يتم حذفه:

```
# Fernando في جدول البريد الإلكتروني لهذا تم حذفه
people.merge(email, how='inner', left_on='Name', right_on='User Name')
```

Namr	Color	Number	Sex	User Name	Email
0	blue	42	M	Joey	jegonzal@cs.berkeley.edu
1	green	8	M	Joey	jegonzal@cs.berkeley.edu
2	blue	50	F	Weiwei	weiwzhang@berkeley.edu
3	blue	50	F	Weiwei	weiwzhang+123@berkeley.edu
4	green	7	F	Karina	kgoot@berkeley.edu
5	pink	42-	M	Sam	samlau95@berkeley.edu

توجد أربع أنواع للربط الذي تستخدم بشكل معتاد دائم: الربط الداخلي Inner Join، الربط الكامل Full Join (أحياناً يطلق عليه الخارجي Outer Join)، الربط اليساري Left Join، الربط اليميني Right Join (Join).



شرح مبسط للفرق بين كل نوع. أولاً، حدنا الجدول على اليسار هو people وعلى اليمين هو emails. لدينا شرط في الأمر السابق، وهو أن يتوافق كل اسم 'left\_on='Name' في جدول الأشخاص people مع اسم المستخدم 'right\_on='User Name' في جدول البريد الإلكتروني email. الآن نقوم بالربط ولكل يجب علينا تحديد النوع في المثال اخترنا how في people.merge(email, how='inner', left\_on='Name', right\_on='User Name'):

```
people.merge(email, how='inner', left_on='Name', right_on='User Name')
```

- الربط الداخلي Inner Join: سيتحقق الشرط من توفر القيم في كلا الجدولين. في حال وجد قيمة موجودة في جدول دون الآخر فسيتم تجاهلها.
- الربط الكامل (الخارجي) Full Join (Outer Join): يربط بين كل القيم سواء تطابقت للشرط الذي حدناه أو لم تطابق، القيم التي تتواجد في جدول دون الآخر يتم إضافتها أيضاً وتضاف قيمها NaN للأعمدة التي لا تحتوي على قيم.
- الربط اليساري Left Join: يتم استخدام كل القيم في الجدول على اليسار (في مثالي هنا جدول people) سواء تحتوي على قيم في الجدول الآخر أو لا، بينما يتم جلب القيم التي تتوافق الشرط الذي حدناه من الجدول على اليمين (في مثالي هنا جدول email).
- الربط اليميني Right Join: عكس الربط اليساري، في مثالي هنا يتم جلب جميع القيم في الجدول على اليمين (email) وفي الجدول اليساري يتم استخدام فقط القيم التي تتوافق الشرط، وهي القيم التي تحتوي على أسماء مستخدمين موجودة في الجدول people.

## قائمة المراجعة لهيكل البيانات

بعد مراجعتك لهيكل البيانات، يجب عليك الإجابة على الأسئلة التالية. سنجيب عن الأسئلة باستخدام بيانات المكالمات والإيقافات.

الأنواع الأساسية تشمل:

- البيانات المجدولة: .CSV, TSV, Excel, SQL
- البيانات الهرمية: .JSON, XML

بيانات المكالمات جاءت على شكل CSV وبيانات الإيقافات على شكل JSON.

هل البيانات مرتبة على شكل صفوف؟ إذا كان الجواب لا، هل يمكننا معرفة الأسطر عند مراجعة البيانات؟

بيانات المكالمات جاءت على شكل أسطر، بينما قمنا باستخراج الأسطر في بيانات الإيقافات.

هل البيانات هرمية؟ هل يمكننا تفككيها؟

بيانات المكالمات ليست هرمية، لم يتغير علينا العمل بشكل كبير على بيانات الإيقافات لتفكيك هرميتها.

هل أضيفت للبيانات أي مراجع؟ إذا كان كذلك، هل يمكننا ربطها بالبيانات؟

بيانات المكالمات أضافت جدول أيام الأسبوع كمرجع.ربط وجمع الجدولين معًا أضاف لنا أيام الأسبوع لكل مخالفه. لم يتم ذكر أي مرجع لبيانات الإيقافات.

ما هي الأعمدة في كل جدول؟ ما نوع كل عمود؟

تم وصف وشرح كل نوع من الأعمدة في خطوة تنظيف البيانات لكل جدول. [هنا](#) لبيانات المكالمات، [هنا](#) لبيانات الإيقافات.

## جودة البيانات

جودة البيانات تعنى ما يمثله كل سطر في بياناتها. مثلاً، في بيانات المكالمات كل سطر يمثل حالة واحدة لمحادلة الشرطة:

```
</>
calls = pd.read_csv('data/calls.csv')
calls.head()
```

	CASENO	OFFENSE	CVLEGEND	BLKADDR	EVENTDTTM	Latitude	Longitude	Day
0	17091420	BURGLARY AUTO	BURGLARY - VEHICLE	LE 2500 CONTE AVE	23/07/2017 6:00	37.876965	122.260544-	Sunday
1	17038302	BURGLARY AUTO	BURGLARY - VEHICLE	BOWDITCH STREET & CHANNING WAY	02/07/2017 22:00	37.867209	122.256554-	Sunday
2	17049346	THEFT MISD. ((UNDER \$950	LARCENY	2900 CHANNING WAY	20/08/2017 23:20	37.867948	122.250664-	Sunday
3	17091319	THEFT MISD. ((UNDER \$950	LARCENY	2100 RUSSELL ST	09/07/2017 4:15	37.856719	122.266672-	Sunday
4	17044238	DISTURBANCE	DISORDERLY CONDUCT	TELEGRAPH AVENUE & DURANT AVE	30/07/2017 1:16	37.867816	122.258994-	Sunday

في بيانات الإيقافات كل سطر يعني حالة إيقاف من قبل الشرطة:

```
</>
stops = pd.read_csv('data/stops.csv', parse_dates=[1], infer_datetime_format=True)
stops.head()
```

	Incident Number	Call Date/Time	Location	Incident Type	Dispositions	Location - Latitude	Location - Longitude
0	2015-00004825	26/01/2015 0:10	SAN PABLO AVE / MARIN AVE	T	M	NaN	NaN
1	2015-00004829	26/01/2015 0:50	SAN PABLO AVE / CHANNING WAY	T	M	NaN	NaN
2	2015-00004831	26/01/2015 1:03	UNIVERSITY AVE / NINTH ST	T	M	NaN	NaN
3	2015-00004848	26/01/2015 7:16	BLOCK 2000 BERKELEY WAY	1194	BM4ICN	NaN	NaN

	Incident Number	Call Date/Time	Location	Incident Type	Dispositions	Location - Latitude	Location - Longitude
4	2015-00004849	26/01/2015 7:43	BLOCK SAN 1700 PABLO AVE	1194	BM4ICN	Nan	Nan

يمكن أن تأثيرنا بيانات الإيقافات بشكل آخر كالتالي:

```
</>
(stops
  .groupby(stops['Call Date/Time'].dt.date)
  .size()
  .rename('Num Incidents')
  .to_frame()
)
```

	Num Incidents
Call Date/Time	
26/01/2015	46
27/01/2015	57
28/01/2015	56
...	...
28/04/2017	82
29/04/2017	86
30/04/2017	59

825 rows × 1 columns

في هذه الحالة، كل سطر يعني حالات الإيقاف التي تمت في ذلك التاريخ. يمكن أن نوصي هذا الجدول بجدول ذو جودة رديته مقارنة بالجدول الذي سبقه، من المهم معرفة جودة البيانات لأنها تحدد نوع التحليل الذي سوف تقوم به. بشكل عام، كل ما كانت جودة البيانات أفضل كان العمل عليها أفضل، على الرغم أن بإمكاننا استخدام التجميع والجداول المحوسبة لتحويل بيانات من جيدة إلى رديته، يمكننا تحويل بيانات رديته إلى جيدة باستخدام بعض الأدوات.

## قائمة المراجعة لجودة البيانات

يجب عليك الإجابة على الأسئلة التالية بعد التحقق من جودة البيانات. سنجيب على الأسئلة لبيانات المكالمات والإيقافات.

ماذا يمثل كل سطر؟

في بيانات المكالمات، كل سطر يمثل حالة واحدة لمحادثة الشرطة. في بيانات الإيقافات، كل سطر يمثل حالة إيقاف من قبل الشرطة.

هل كل البيانات تملك نفس الجودة؟ (أحياناً الجدول يحتوي على أسطر مجاميع)

نعم، لجدول المكالمات والإيقافات.

إذا كانت البيانات عبارة عن مجاميع، كيف تم جمعها؟ العينات والمتوسطات أحد أكثر أمثلة التجميع استخداماً

على حسب رؤيتنا للبيانات، لا تحتوي على مجاميع. سنأخذ بعين الاعتبار أن بيانات الموقع هي عبارة عن أسماء الأحياء بدلاً من عناوين معينة.

أي نوع من التجميع يمكننا تطبيقه على البيانات؟

مثلاً، أحد المعلومات التي يمكننا الاستفادة منها هي التجميع بين الأشخاص و مواقع البيانات أو الأحداث لإيجاد المجاميع خلال فترة معينة.

في هذا المثال، يمكننا الجمع بناءً على التاريخ أو الوقت. مثلاً، يمكننا إيجاد الأوقات التي يكثر فيها الحالات يومياً. يمكننا أيضاً الجمع بواسطة نوع المخالفات وموقعها معرفة في أي موقع يتركى تكثر الحوادث.

## مدى البيانات

تحتاج لتحميل البيانات بعد القيام بعملية التنظيف في درسي [تنظيف بيانات المكالمات](#) و [تنظيف بيانات الإيقافات](#)، أو تحميلها هنا:

- بيانات المكالمات: [هنا](#).
- بيانات الإيقافات: [هنا](#).

مدى البيانات هو مدى قدرة البيانات على تغطية ما تحتاجه للقيام بالتحليل. نحاول الإجابة على الأسئلة التالية لمعرفة مدى بيانتنا:

يقصد الكاتب بالمدى Scope ما إذا كانت البيانات شاملة ومفيده لنقوم بتحليلها ونجيب على الأسئلة التي وضعناها باستخدام البيانات.

## هل تغطي البيانات المواقع التي تهمنا؟

مثلاً، بيانات المكالمات والإيقافات تحتوي على جميع الحالات في مدينة بيركلي. إذا كنا مهتمين بحالات الجرائم في ولاية كاليفورنيا، فهذه البيانات لن تفيذنا كونها محدودة المدى.

بشكل عام، كلما كان المدى أكبر، كلما أصبح أكثر فائدة لأن إمكاننا فلترة البيانات الكبيرة لعده مدادات صغيرة ولا يمكننا عمل العكس، تحويل المدادات الصغيرة إلى كبيرة. مثلاً، إذا كانت لدينا بيانات الإيقافات في الولايات المتحدة، يمكننا فلترة وتقسيم البيانات لنقوم بتحليلنا على بيانات بيركلي.

خذ بعين الاعتبار، أن المدى مصطلح عام وليس مخصوص فقط للموقع الجغرافي. مثلاً، يمكن استخدامه مع الوقت، بيانات المكالمات تحتوي على بيانات 180 يوم فقط.

عاده ما نقوم بالتحقق من المدى عندما نقوم بالكشف عن طريقة توليد البيانات ونقوم بالتأكد من المدى في خطوة التحليل الاستكشافي للبيانات. لنتحقق من مدى الموقع الجغرافي والوقت في بيانات المكالمات:

```
</>  
calls = pd.read_csv('data/calls.csv', parse_dates=['EVENTDTTM'], infer_datetime_format=True)  
stops = pd.read_csv('data/stops.csv', parse_dates=[1], infer_datetime_format=True)  
calls
```

	CASENO	OFFENSE	CVLEGEND	BLKADDR	EVENTDTTM	Latitude	Longitude	Day
0	17091420	BURGLARY AUTO	BURGLARY - VEHICLE	LE 2500 CONTE AVE	23/07/2017 6:00	37.876965	122.260544-	Sunday
1	17038302	BURGLARY AUTO	BURGLARY - VEHICLE	BOWDITCH STREET & CHANNING WAY	02/07/2017 22:00	37.867209	122.256554-	Sunday
2	17049346	THEFT MISD. ((UNDER \$950	LARCENY	2900 CHANNING WAY	20/08/2017 23:20	37.867948	122.250664-	Sunday
...	...	...	...	...	...	...	...	...
5505	17021604	IDENTITY THEFT	FRAUD	100 MONTROSE RD	31/03/2017 0:00	37.896218	122.270671-	Friday
5506	17033201	DISTURBANCE	DISORDERLY CONDUCT	2300 COLLEGE AVE	09/06/2017 22:34	37.868957	122.254552-	Friday
5507	17047247	BURGLARY AUTO	BURGLARY - VEHICLE	UNIVERSITY AVENUE & CHESTNUT ST	11/08/2017 20:00	37.869679	122.288038-	Friday

5508 rows × 8 columns

```
</>  
# عرض أقرب وبعد تاريخ في بيانات المكالمات  
calls['EVENTDTTM'].dt.date.sort_values()
```

```
1384    2017-03-02  
1264    2017-03-02  
1408    2017-03-02  
      ...  
3516    2017-08-28  
3409    2017-08-28  
3631    2017-08-28  
Name: EVENTDTTM, Length: 5508, dtype: object
```

```
</>  
calls['EVENTDTTM'].dt.date.max() - calls['EVENTDTTM'].dt.date.min()
```

```
datetime.timedelta(179)
```

يحتوى الجدول على بيانات 179 يوم وهي قريباً بشكل كبير إلى 180 يوماً الي ذكرت في وصف البيانات، لذا نتوقع أن أحد الأيام مر دون القيام بأى مكالمة، لذا نتوقع أن اليوم الذي لم يحصل فيه أي مكالمة اما 14 أبريل 2017 او 29 أغسطس 2017

لتحقيق من مدى الموقع الجغرافي سنسخدم الخريطه:

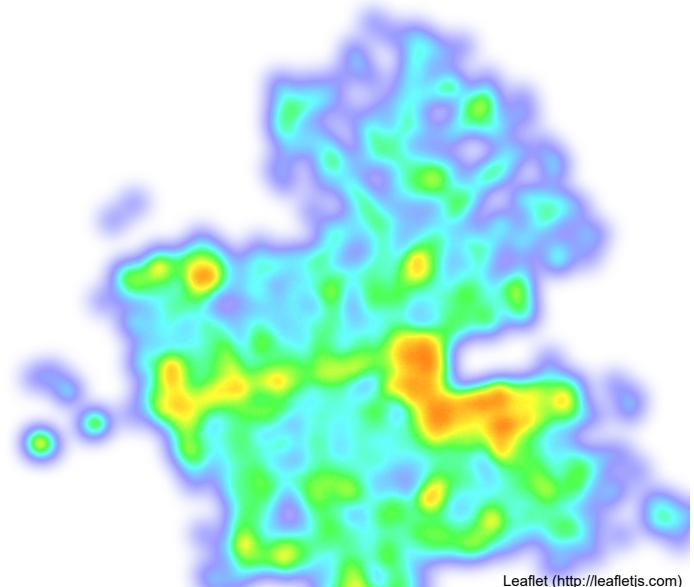
```
</>
```

```

import folium # لرسم الخريطة
folium مكتبة يستخدم
import folium.plugins

SF_COORDINATES = (37.87, -122.28)
sf_map = folium.Map(location=SF_COORDINATES, zoom_start=13)
locs = calls[['Latitude', 'Longitude']].astype('float').dropna().to_numpy()
heatmap = folium.plugins.HeatMap(locs.tolist(), radius = 10)
sf_map.add_child(heatmap)

```



Leaflet (<http://leafletjs.com>)

مع القليل من الإستثناءات، بيانات المكالمات تغطي مدينة بيركلي بشكل كامل. نلاحظ ان اكثر المكالمات كانت من وسط مدينة بيركلي وجنوب الحرم الجامعي لجامعة بيركلي.

لتحقيق من بيانات الإيقافات لتحديد مداها الزمني والجغرافي:

stops

</>

	Incident Number	Call Date/Time	Location	Incident Type	Dispositions	Location - Latitude	Location - Longitude
0	2015-00004825	26/01/2015 0:10	SAN PABLO AVE / MARIN AVE	T	M	NaN	NaN
1	2015-00004829	26/01/2015 0:50	SAN PABLO AVE / CHANNING WAY	T	M	NaN	NaN
2	2015-00004831	26/01/2015 1:03	UNIVERSITY AVE / NINTH ST	T	M	NaN	NaN
...	...	...	...	...	...	...	...
29205	2017-00024245	30/04/2017 22:59	UNIVERSITY AVE/6TH ST	T	BM2TWN	NaN	NaN
29206	2017-00024250	30/04/2017 23:19	UNIVERSITY AVE / WEST ST	T	HM4TCS	37.869876	122.286551-
29207	2017-00024254	30/04/2017 23:38	CHANNING WAY / BOWDITCH ST	1194	AR	37.867208	122.256529-

29208 rows × 7 columns

```
stops['Call Date/Time'].dt.date.sort_values()
```

</>

```

0      2015-01-26
25     2015-01-26
26     2015-01-26
...
29175   2017-04-30
29177   2017-04-30
29207   2017-04-30
Name: Call Date/Time, Length: 29208, dtype: object

```

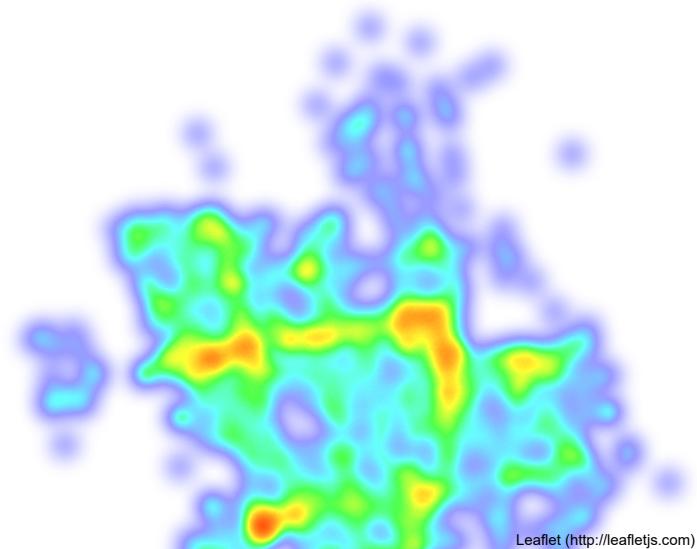
كما ذكر لنا، تم البدء بتجمیع البيانات من تاريخ 26 يناير 2015. ويبعد ان تم تحميل البيانات في بداية شهر مايو 2017 كون ان اخر تاريخ في البيانات كان 30 ابريل 2017. نقوم برسم الخريطة للتحقق من المدى الجغرافي:

```

</>

SF_COORDINATES = (37.87, -122.28)
sf_map = folium.Map(location=SF_COORDINATES, zoom_start=13)
locs = stops[['Location - Latitude', 'Location - Longitude']].astype('float').dropna().to_numpy()
heatmap = folium.plugins.HeatMap(locs.tolist(), radius = 10)
sf_map.add_child(heatmap)

```



Leaflet (<http://leafletjs.com>)

تأكد لنا الخريطة أن بيانات الإيقافات هي لمدينة بيركلي، وأن أكثر الإيقافات كانت في وسط وغرب المدينة.

## زمانية البيانات

يقصد بزمانية البيانات هنا بكيفية بناء الوقت والتاريخ في البيانات. نحاول الإجابة عن الأسئلة التالية:

**ما معنى أعمدة التاريخ والوقت في البيانات؟**

في بيانات المكالمات والإيقافات، بيانات التاريخ والوقت توضح متى تم إجراء المكالمة أو متى تم الإيقاف بواسطة الشرطة. ولكن، بيانات الإيقافات تحتوي أيضاً على أعمدة تاريخ ووقت توضح متى تم إدخال القضية إلى قاعدة البيانات والتي قمنا بحذفها أثناء قيمنا بتنظيم البيانات لأننا رأينا عدم أهميتها لتحليلنا.

أيضاً، يجب علينا الحذر والتحقق من المنطقة الزمنية والتوقيت الصيفي لأعمدة الوقت والتاريخ عند العمل على بيانات تم سحبها من أكثر من موقع.

**كيف تم تمثيل التاريخ والوقت في البيانات؟**

رغم أن الولايات المتحدة تستخدم النمط YYYY/MM/DD/HH/MM/SS، الكثير من دول العالم تستخدم DD/MM/YYYY، هناك الكثير من الأنماط الأخرى حول العالم ويجب الحذر ومعرفة تلك الأنماط أثناء تحليل البيانات.

في بيانات المكالمات والإيقافات، التواريخ تأتي بالنمط YYYY/MM/DD/HH/MM/SS.

**هل هناك أنماط زمنية قد تظهر كقيم غير موجودة؟**

بعض البرامج تستخدم أنماط سبق تعريفها كقيم غير موجودة Null. مثلاً برنامج أكسل يستخدم التاريخ Jan 1st, 1990 ، ونفس البرنامج على أجهزة الماكنتوش يستخدم التاريخ Jan 1st, 1904. الكثير من البرامج الأخرى تقوم بإنشاء وقت وتاريخ بشكل تلقائي 1970 Jan 1st, 12:00am أو 12:00pm Jan 1st, 1970 أو 11:59pm Dec 31st, 1969 كون ذلك هو **نط البردية بتوقيت يونكس**. إذا لاحظت تكرار هذه القيمة أكثر من مرة في بياناتك، فيجب عليك الحذر ومراجعة مصدر البيانات. لا تحتوي بيانات المكالمات والإيقافات على أي من هذه القيم المشبوهة.

## مدى ثقتنا بالبيانات

نطلق على بيانات أنها موثوقة إذا كنا نعتقد أنها تصف الحقيقة بشكل كامل. عادةً البيانات غير الموثوقة تحتوي على التالي:

أرقام غير واقعية أو غير حقيقية

مثلاً، احتواء البيانات على تواريخ مستقبلية، موقع جغرافية غير موجودة، أرقام سلبية أو قيم شاذة كثيرة.

قيم تعتمد على قيم أخرى لكن لا تتوافق معها

مثلاً، تاريخ الميلاد والعمر لا يتطابقان.

بيانات مدخله يدوياً

كما رأينا سابقاً، هنا النوع من البيانات عادةً ما يحتوي على الكثير من الأخطاء الإملائية والتناقضات.

علامات واضحة بوجود بيانات مزورة

مثلاً، تكرار بالأسماء، أو معلومات بريد إلكتروني تبدو غير حقيقة.

لاحظ التشابه الكبير بعمليات تنظيف البيانات. كما ذكرنا سابقاً، عادةً ما ننتقل بين تنظيف البيانات والتحليل الاستكشافي للبيانات، خاصةً عندما نحدد مدى ثقتنا بالبيانات. مثلاً، الرسم البياني عادةً ما يساعد باكتشاف القيم الغريبة في البيانات:

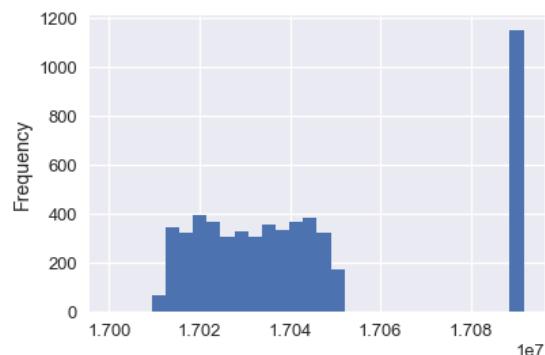
```
</>  
calls = pd.read_csv('data/calls.csv')  
calls.head()
```

	CASENO	OFFENSE	EVENTDT	EVENTTM	...	BLKADDR	Latitude	Longitude	Day
0	17091420	BURGLARY AUTO	07/23/2017 12:00:00 AM	6:00	...	LE 2500 CONTE AVE	37.876965	122.260544-	Sunday
1	17038302	BURGLARY AUTO	07/02/2017 0:00	22:00	...	BOWDITCH STREET & CHANNING WAY	37.867209	122.256554-	Sunday
2	17049346	THEFT MISD. ((UNDER \$950	08/20/2017 12:00:00 AM	23:20	...	2900 CHANNING WAY	37.867948	122.250664-	Sunday
3	17091319	THEFT MISD. ((UNDER \$950	07/09/2017 0:00	4:15	...	2100 RUSSELL ST	37.856719	122.266672-	Sunday
4	17044238	DISTURBANCE	07/30/2017 12:00:00 AM	1:16	...	TELEGRAPH AVENUE & DURANT AVE	37.867816	122.258994-	Sunday

5 rows x 9 columns

```
</>  
calls['CASENO'].plot.hist(bins=30)
```

```
<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x1a1ebb2898>
```



لاحظ المجموعات الغير متوقعة بين 17030000 و 17090000. عن طريق رسم توزيع البيانات لأرقام الحالات، نلاحظ مباشرةً الشذوذ في البيانات. في هذه الحالة، يمكننا توقع أنه يوجد فريقين مختلفين في قسم الشرطة يستخدمون أنواع مختلفة لأرقام الحالات في مكالماتهم.

استكشاف البيانات عادةً ما يظهر أسباب الشذوذ فيها، إذا كان بالإمكان إصلاحها، يمكننا تطبيق تقنيات تنظيف البيانات عليها.

## مقدمة

هناك سحر في الرسوم البيانية. المنحنى في الرسم يظهر بشكل سريع الحالة — قصة حياة وباء، الهلع، أو مرحلة الرخاء. المنحنى ينبه العقل، يثير الخيال، يقنعه.

— هنري دي هوبارد

التصویر والرسوم البيانية أدوات أساسية في كل خطوه من خطوات التحليل في علم البيانات، من التنظيف حتى التحليل الاستكشافي للبيانات إلى الوصول لنتائج وتوقعات. لأن العقل البشري متطور للغاية للإدراك البصري، اختيار الرسم البياني الصحيح يظهر لنا الاتجاهات والشذوذ في البيانات بشكل أفضل من الوصف النصي.

لتسخدم تصویر البيانات بشكل فعال، يجب أن تكون خبيراً في أدوات البرمجة التي تنشئ الرسوم البيانية ومبادئ تصویر ورسم البيانات. في هذا الفصل سنعرف على `matplotlib` و `seaborn`، الأدوات التي اختارناها للرسم. سنتعلم أيضاً كيف نكتشف الرسوم البيانية المضللة وكيف نحسن ممن الرسوم البيانية باستخدام تحويل، تبسيط، وتقليل أبعاد البيانات.

## البيانات الكمية

## تصوير البيانات الكمية

عادة ما نستخدم أنواع مختلفة من الرسوم البيانية لتصوير البيانات الكمية (الرقمية) والنوعية (الاسمية). في البيانات الكمية، عادة ما نستخدم المدرج التكراري `Histogram`، مخطط الصندوق `Box Plot`، ومخطط التشتت `Scatter Plot`. يمكننا استخدام [مكتبة Seaborn](#) للرسوم البيانية لرسم تلك الرسوم في بايثون. سنستخدم بيانات تحتوي على معلومات ركاب سفينة تايتنيك.

```
</>
# جلب المكتبة
import seaborn as sns

# تطبيق الإعدادات الإفتراضية لـ Seaborn
sns.set()

# تحميل وتعريف البيانات وحذف الحقول الفارغة
ti = sns.load_dataset('titanic').dropna().reset_index(drop=True)

df_interact(ti)
```



	fare	embarked	class	who	adult_male	deck	embark_town	alive
65	28.50	S	First	man	True	C	Southampton	no
66	153.46	S	First	man	True	C	Southampton	no
67	66.60	S	First	man	True	C	Southampton	no
68	134.50	C	First	woman	False	E	Cherbourg	yes
69	26.00	S	Second	child	False	F	Southampton	yes

(182 rows, 15 columns) total

كما في الفصل السابق، عرف الكاتب دالة تقوم بإظهار أجزاء من البيانات مع إمكانية التنقل بينها بواسطة الشريطين في الأعلى

```
</>
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import seaborn as sns
%matplotlib inline
import ipywidgets as widgets
from ipywidgets import interact, interactive, fixed, interact_manual

def df_interact(df):
    df_norm=(df-np.mean(df))/np.std(df)
```

```

def peek(row=0, col=0):
    return df.iloc[row:row + 5, col:col + 8]
interact(peek, row=(0, len(df), 5), col=(0, len(df.columns) - 6))
print('({} rows, {} columns) total'.format(df.shape[0], df.shape[1]))

```

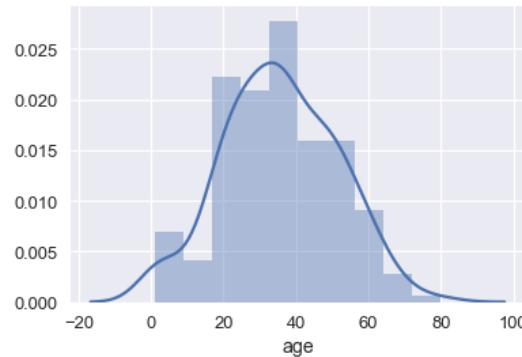
## المدرج التكراري

نرى أن كل سطر في البيانات هو معلومات لراكب. كل سطر يحتوي على عمر الراكب والقيمة التي دفعها على التذكرة. لنرسم عمود العمر باستخدام المدرج التكراري. يمكننا استخدام دالة `distplot` الموجودة في `Seaborn`:

```

</>
# في النهاية تخبر جوينر أن لا يظهر النتيجة التالية
# <matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot>
# بل يظهر لنا الرسم البياني مباشرةً
sns.distplot(ti['age']);

```

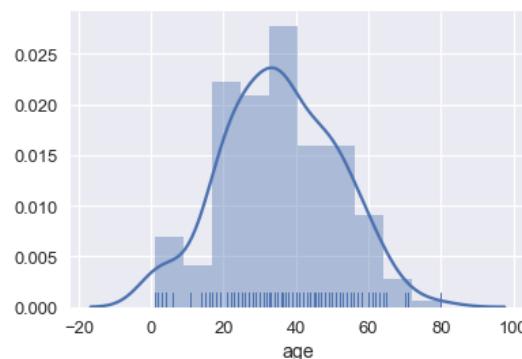


يشكل تلقائيًا، دالة `distplot` في `Seaborn` ستُظهر منحنى يناسب توزيع البيانات لدينا. يمكننا إظهار `Rug Plot` والتي تقوم بتحديد أماكن توزيع البيانات على المحور x :

```

</>
sns.distplot(ti['age'], rug=True);

```

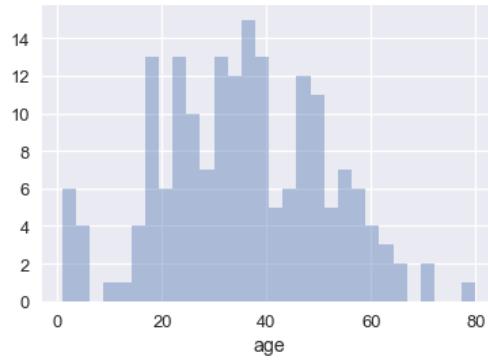


يمكننا أيضًا التحكم بالتوزيع. بالتعديل على عدد البيانات لكل مجموعة:

```

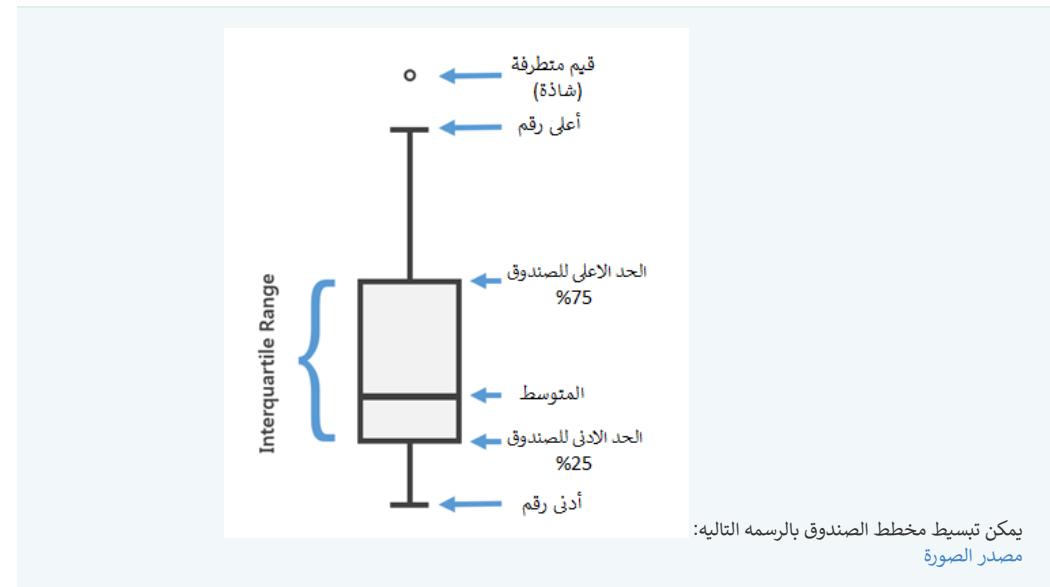
</>
sns.distplot(ti['age'], kde=False, bins=30);

```

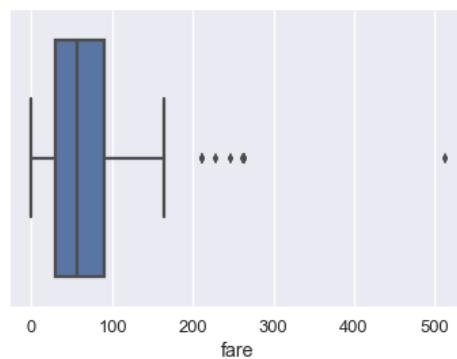


### مخطط الصندوق

يعتبر مخطط الصندوق طريقة مناسبة لمعرفة أين تجتمع البيانات. عادةً، نستخدم النسبة 25 و 75 كنقطي بداية ونهاية للصندوق ونرسم خطًّا عند النسبة 50 (المتوسط)، نرسم خارجها خطين لبقية البيانات دون القيم المتطرفة والتي يرمز لها بنقاط خارج الخطين.



```
</>
sns.boxplot(x='fare', data=ti);
```



عادةً ما يستخدم الانحراف الربعي (IQR) لتحديد أي النقاط يمكن حسابها كنقاط شاذة في مخطط الصندوق. IQR هو الفرق بين بيانات النسبة 75 و 25:

```
</>
lower, upper = np.percentile(ti['fare'], [25, 75])
iqr = upper - lower
iqr
```

```
60.29999999999997
```

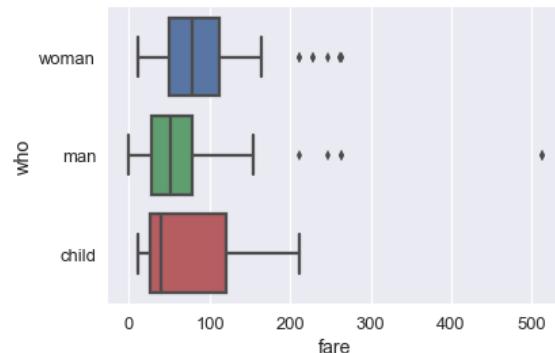
القيم أكبر من  $IQR \times 1.5$  تكون أعلى من نسبة 75% والقيم أقل من  $IQR \times 1.5$  تكون أسفل النسبة 25% ويتم اعتبارها قيم شاذة ويمكننا مشاهدتها في الرسم البياني لمخطط الصندوق السابق:

```
</>  
upper_cutoff = upper + 1.5 * iqr  
lower_cutoff = lower - 1.5 * iqr  
upper_cutoff, lower_cutoff
```

```
(180.4499999999999, -60.74999999999986)
```

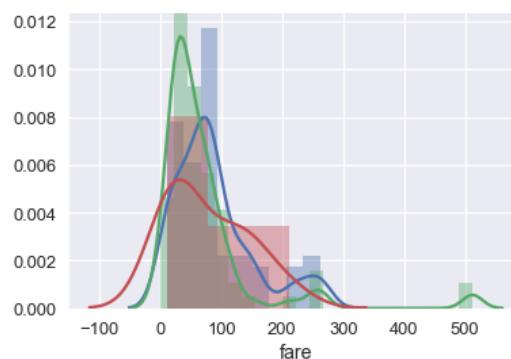
بالرغم أن المدرج التكراري يظهر كل البيانات مرة واحدة، يسهل علينا فهم مخطط الصندوق عندما نقسمه حسب نوع البيانات. مثلاً، يمكننا رسم مخطط الصندوق لكل نوع من الزكاب:

```
</>  
sns.boxplot(x='fare', y='who', data=ti);
```



يسهل علينا فهم مخطط الصندوق عند تقسيمه على عكس المدرج التكراري، التالي رسم لنفس البيانات وتقسيمها ولكن في مدرج تكراري:

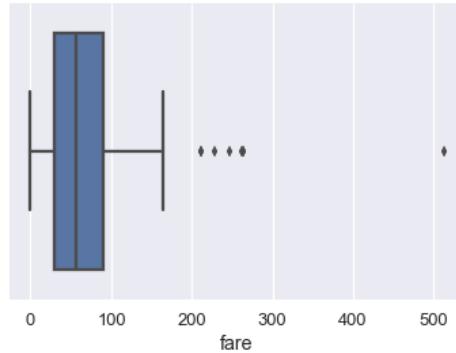
```
</>  
sns.distplot(ti.loc[ti['who'] == 'woman', 'fare'])  
sns.distplot(ti.loc[ti['who'] == 'man', 'fare'])  
sns.distplot(ti.loc[ti['who'] == 'child', 'fare']);
```



## نقطة بسيطة عن استخدام مكتبة Seaborn

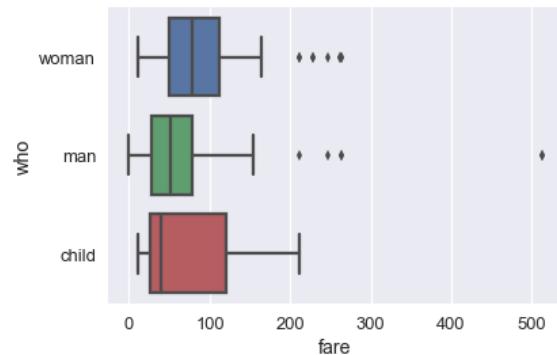
ربما لاحظت أن الدالة `boxplot` أنشأت مخطط صندوق منفصل لكل نوع داخل العمود `who` وكانت أسهل للكتابة على عكس طريقة الرسم في المدرج التكراري. على الرغم من أن `sns.distplot` تستقبل البيانات كمحفوظات، الكثير من الدوال في `Seaborn` يمكنها قبول البيانات التي على شكل `DataFrame` وتحدد أي الأعمدة على المحورين `x` و `y`. مثلاً:

```
</>  
# على المحور ti في بيانات fare ارسم العمود x  
sns.boxplot(x='fare', data=ti);
```



عندما تكون نوع البيانات في العمود نوعية (العمود 'who' يحتوي على 'child', 'women', 'men')، مكتبة Seaborn ستقوم أتوماتيكياً بتقسيم البيانات حسب نوعها قبل رسماها. لذا لا نحتاج لفلترة البيانات حسب نوعها كما فعلنا في الدالة :sns.distplot;

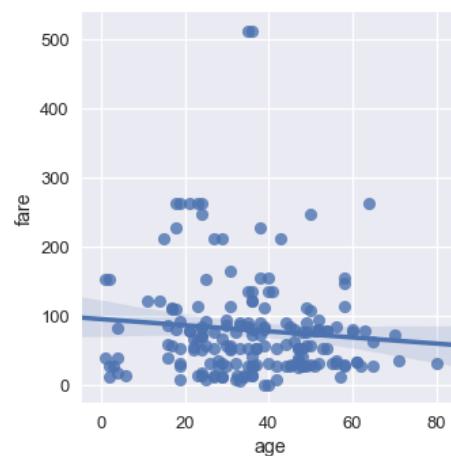
```
</>
# fare على المحور x
# who نوعي على المحور y
sns.boxplot(x='fare', y='who', data=ti);
```



## محظط التشتت

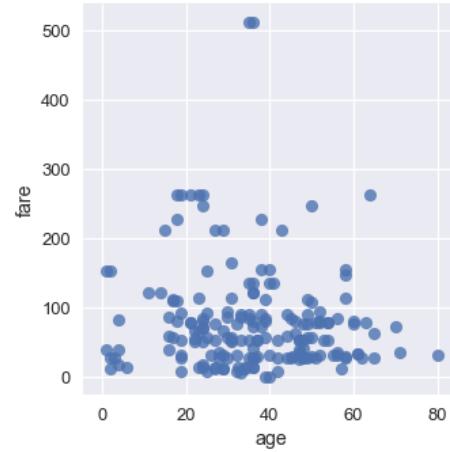
محظط التشتت يستخدم للمقارنة بين قيمتين كمية (رقمية). يمكننا المقارنة بين العامودان age و fare في بيانات تايتانيك:

```
</>
sns.lmplot(x='age', y='fare', data=ti);
```



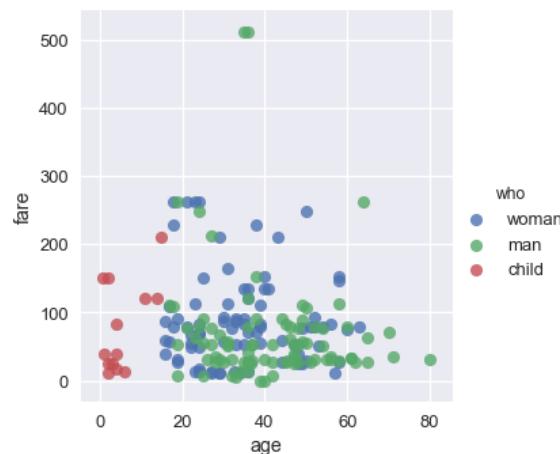
بشكل تلقائي تقوم Seaborn بإضافة خط الانحدار للرسم البياني ومجال ثقة حول خط الانحدار والذي يظهر بلون ازرق شفاف. في حالتنا هذه لا يبدو أن خط الانحدار صحيح لذا سنقوم بإخفاذه:

```
</>
sns.lmplot(x='age', y='fare', data=ti, fit_reg=False);
```



يمكّنا تلوين النقاط حسب نوعها. لنستخدم العمود `who` مرة أخرى:

```
</>
sns.lmplot(x='age', y='fare', hue='who', data=ti, fit_reg=False);
```



من الرسم البياني السابق يمكننا ملاحظة أن أكثر الركاب دون الـ18 سنة تم تحديدهم كأطفال `child`. لا يبدو أن هناك فرق في سعر التذكرة `fare` بين الذكور والإثاث، على الرغم أن أعلى تذكرة تم شرائها من قبل ذكران.

## البيانات النوعية

### تصوير البيانات النوعية

للبيانات النوعية أو التصنيفية، عادة ما نستخدم المخطط الشريطي Bar Chart أو النقطي Dot Chart. سنرى كيف بإمكاننا رسم هذه الرسوم البيانية باستخدام `seaborn` وبيانات الناجين من سفينة تايتانيك:

```
</>
import seaborn as sns
sns.set()

# تحميل البيانات
ti = sns.load_dataset('titanic').reset_index(drop=True)

df_interact(ti)
```

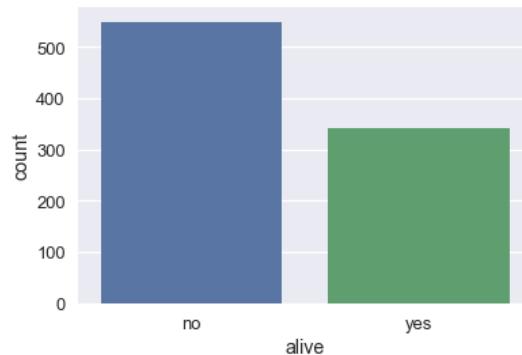
```
(891 rows, 15 columns) total
```

## المخطط الشريطي

في `seaborn`، يوجد نوعين من المخططات الشريطية. النوع الأول يستخدم دالة `countplot` ليقوم بعد عدد مرات تكرار كل نوع في العمود:

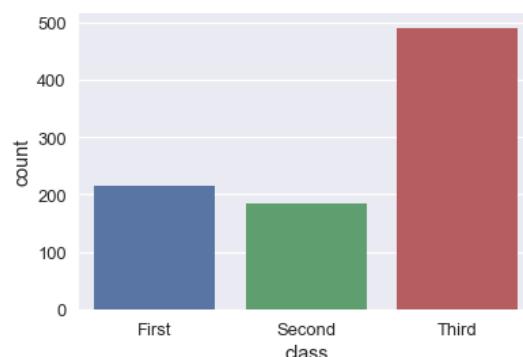
&lt;/&gt;

يقوم برسم وحساب عدد الناجين والذين لم ينجو ثم رسم شريط بعدهم  
`#sns.countplot(x='alive', data=ti);`



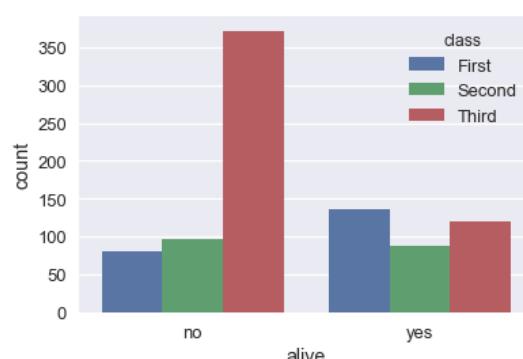
&lt;/&gt;

`sns.countplot(x='class', data=ti);`



&lt;/&gt;

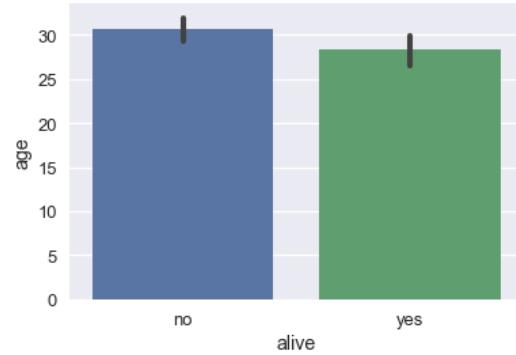
كما في مخطط الصندوق، يمكننا التقسيم بشكل أوسع باستخدام الألوان  
`#sns.countplot(x='alive', hue='class', data=ti);`



والطريقة الأخرى، دالة `barplot`، تجمع البيانات باستخدام عمود نوع ويتم تحديد طول الشريط بناءً على متوسط نتيجة عمود كمي لكل نوع من الأنواع.

&lt;/&gt;

لكل نوع ناجي/لم ينجو، قم بحساب ورسم متوسط الأعمار  
`#sns.barplot(x='alive', y='age', data=ti);`



يمكنا حساب طول كل شريط عن طريق جمع الأعمدة alive و age وحساب المتوسط للعمود :age

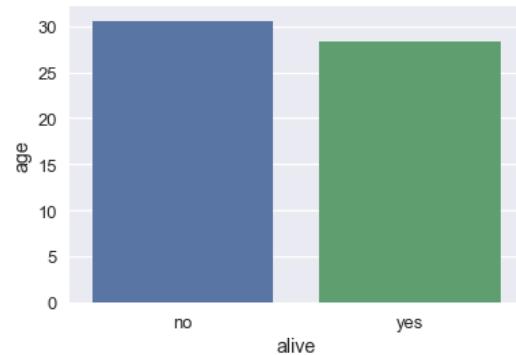
```
</>
ti[['alive', 'age']].groupby('alive').mean()
```

Age	
alive	
no	30.626179
yes	28.343690

يشكل تلقي، دالة barplot تحاول حساب فاصل ثقة بنسبة 95% باستخدام Bootstrap لكل متوسط. مشار إليها بالخط الأسود في أعلى الشريط. فاصل الثقة يحاول توضيح أنه إذا كانت بيانات تايتنيك تحتوي على عينة عشوائية، الفرق في عمر الراكب بين الذين نجوا والذين لم ينجو ليس مهم إحصائياً على مستوى 5%.

فاصل الثقة تأخذ وقتاً طويلاً للحساب عندما يكون لدينا بيانات ذات حجم أكبر، لذا من الأفضل عدم حسابها:

```
</>
sns.barplot(x='alive', y='age', data=ti, ci=False);
```



## المخطط النقطي

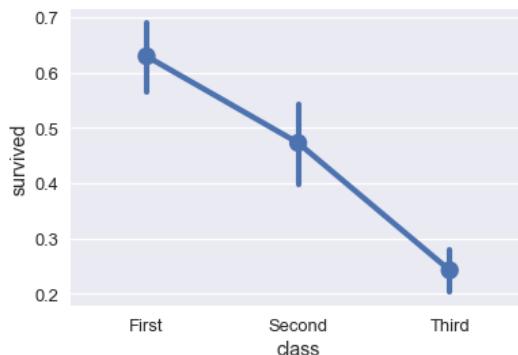
المخطط النقطي يتباين كثيراً مع المخطط الشريطي. بدلاً من رسم أشرطة، المخطط النقطي يرسم نقطة واحدة تعبّر عن نهاية الشريط. نستخدم الدالة pointplot في seaborn لرسم المخطط النقطي. كما في barplot تقوم بالتجميع أوتوماتيكياً وحساب المتوسط لعمود رقمي، وتحديد فاصل ثقة بنفسه 95% بخطوط عاصمه يكون النقطة متوسطها:

```
</>
# لكل نوع ناجي/لم ينجو، قم بحساب ورسم متوسط الأعمار
sns.pointplot(x='alive', y='age', data=ti);
```

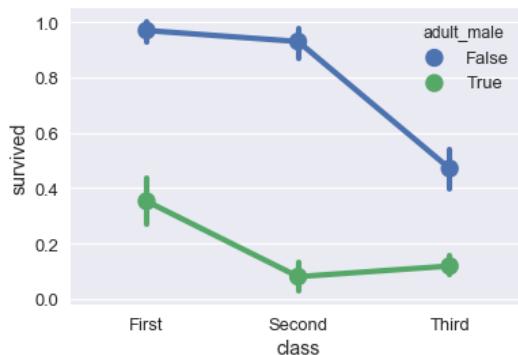


المخطط النقطي مفید جداً عند محاولة مقارنة التغيرات على حسب نوع البيانات:

```
# عرض نسبة الناجين بناءاً على الفئة
sns.pointplot(x='class', y='survived', data=ti);
```



```
# عرض نسبة الناجين بناءاً على الفئة
# التقسيم ما إذا كان الناجي ذكر بالغ
# sns.pointplot(x='class', y='survived', hue='adult_male', data=ti);
```



## تخصیص الرسوم البيانية

### تخصیص الرسوم البيانية باستخدام matplotlib

على الرغم أن seaborn تُمكّنا من رسم العديد من أنواع الرسوم البيانية بشكل سريع، لكنها لا يمكننا التحكم بشكل كامل بالرسم. مثلاً، لا يمكننا في seaborn تعديل عنوان الرسم البياني، وعناوين محاور الطول والعرض، أو إضافة ملاحظات على الرسم. لذا، يجب علينا استخدام مكتبة matplotlib والتي تعتمد عليها seaborn.

مكتبة seaborn هي بالأصل matplotlib ولكن أضيفت لها تحسينات وتعديلات لتتمكن من التعامل مع مكتبة pandas.

توفر لنا `matplotlib` الأساسية لإنشاء الرسوم البيانية في بايثون. على الرغم من أنها تمكننا من الحصول على تحكم كامل، إلا أنها أيضاً متعدة في العمل، إعادة رسم ما رسمناه سابقاً في `matplotlib` ستحتاج لكتابية العديدة من الأسطر البرمجية. بالأصل، يمكننا القول إن `seaborn` هي اختصار مفيد لإنشاء رسوم بيانية في `matplotlib`. نفضل العمل بالرسوم المبتدئة المقدمة من `seaborn`، ولكن لتعديل وتحسين الرسومات لغرض النشر سنحتاج لمعرفة أساسيات العمل في `matplotlib`.

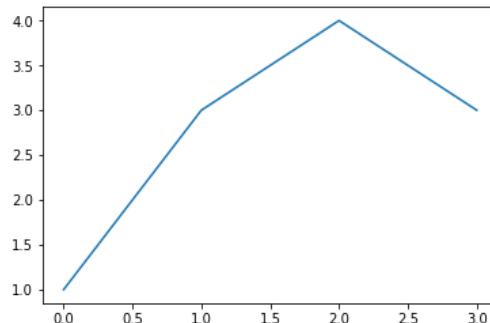
قبل أن نرى المثال الأول، يجب علينا تفعيل دعم مكتبة `matplotlib` في `Jupyter Notebook`.

```
</>  
# هذا السطر يجعل الرسوم البيانية تظهر كصور في جوينر بدلاً من ان تظهر في صفحة منفصلة  
%matplotlib inline  
  
# matplotlib هو اختصار كثير الاستخدام لمكتبة plt الاختصار  
import matplotlib.pyplot as plt
```

## تحسين الرسم والأبعاد

للرسم في `matplotlib`، نحتاج أولاً لإنشاء شكل بياني أو `Figure`، ثم إضافة المحاور `Axes`، المحور `Axes` هو رسم بيان واحد، والشكل البياني `Figure` يمكن أن يحتوي على عدة محاور على شكل جداول. المحور يحتوي على نقاط `Marks`، وهي الخطوط أو النقاط المرسومة في الرسم البياني:

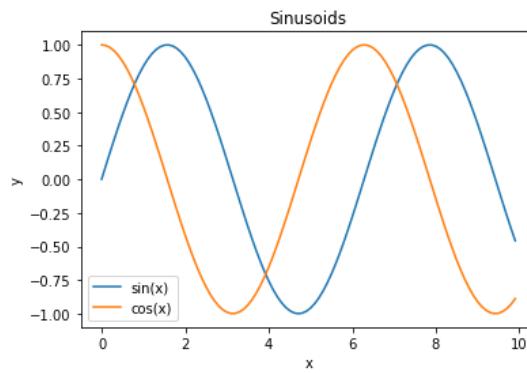
```
</>  
إنشاء الشكل البياني  
f = plt.figure()  
  
إضافة محور إلى الشكل البياني. المتغير الثاني والثالث تقوم بإنشاء  
جدول بسطر وعمود واحد. المتغير الأول يتحكم بمكان المحور، هنا في الخلية الأولى  
ax = f.add_subplot(1, 1, 1)  
  
إنشاء رسم بياني خطى على المحور  
ax.plot([0, 1, 2, 3], [1, 3, 4, 3])  
  
أظهار الرسم البياني، في جوينر يتم دعاء هذه الدالة بشكل اوتوماتيكي  
لذا لن نستخدمها في الأكواد البرمجية التالية  
plt.show()
```



للتخصيص في هذه الرسمة، يمكننا استخدام دوال أخرى على كائن المحور:

كائن هنا تعني Object

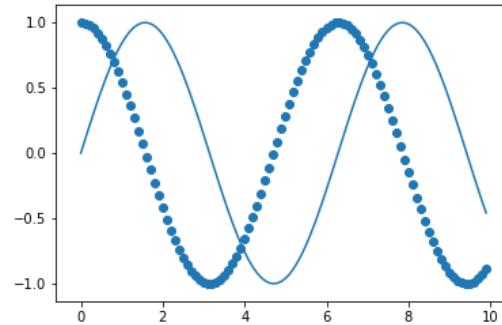
```
</>  
f = plt.figure()  
ax = f.add_subplot(1, 1, 1)  
  
x = np.arange(0, 10, 0.1)  
  
تمكيناً من إنشاء عنوان للخط label أصلية للمتغير  
ax.plot(x, np.sin(x), label='sin(x)')  
ax.plot(x, np.cos(x), label='cos(x)')  
ax.legend()  
  
ax.set_title('Sinusoids')  
ax.set_xlabel('x')  
ax.set_ylabel('y');
```



كاختصار، لديها دوال رسم بياني في plt يمكنها إنشاء شكل بياني ومحور أوتوماتيكيًّا:

```
</>
اختصار لرسم شكل بياني ومحور
plt.plot(x, np.sin(x))
```

```
أكثر من مره في نفس الخلية، سيتم إعادة استخدام نفس الشكل والمحور plt عند استخدام
plt.scatter(x, np.cos(x));
```

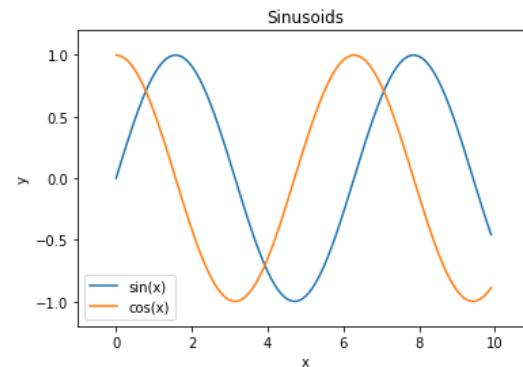


يحتوي plt على دوال مشابهة للي في المحور، لذا يمكننا إعادة إنشاء أحد الرسوم في الأعلى باستخدام plt مباشرةً:

```
</>
x = np.arange(0, 10, 0.1)
plt.plot(x, np.sin(x), label='sin(x)')
plt.plot(x, np.cos(x), label='cos(x'))
plt.legend()

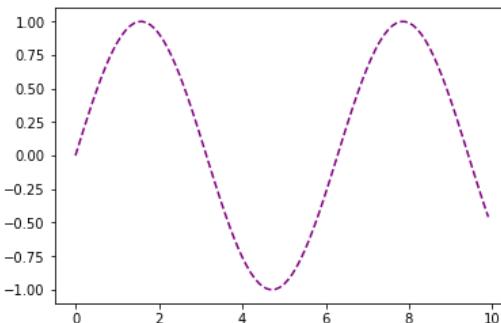
# اختصار plt.set_title
plt.title('Sinusoids')
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')

# تحديد مقاسات محوري
plt.xlim(-1, 11)
plt.ylim(-1.2, 1.2);
```



لتغيير خصائص النقاط في الرسمه (مثلاً، الخطوط في الرسمه السابقة)، يمكننا تمرير المزيد من المتغيرات إلى plt.plot:

```
</>
plt.plot(x, np.sin(x), linestyle='--', color='purple');
```



تصفح الشرح الخاص بمكتبة matplotlib هو أسهل طريقة لمعرفة أي المتغيرات متوفرة لكل دالة. الطريقة الأخرى هي حفظ الكائن الناتج عن دالة plt.plot:

```
</>
line = plt.plot([1,2,3])
```

كائن الخط في الرسم البياني يحتوي على الكثير من الخصائص التي يمكن أن تحكم فيها، يمكن عرضها باستخدام .set، هذه قائمة كاملة بخصائص الرسم البياني السابق:

```
</>
line.set
```

line.set	line.set_drawstyle	line.set_mec
line.set_aa	line.set_figure	line.set_mew
line.set_agg_filter	line.set_fillstyle	line.set_mfc
line.set_alpha	line.set_gid	line.set_mfcalt
line.set_animated	line.set_label	line.set_ms
line.set_antialiased	line.set_linestyle	line.set_picker
line.set_axes	line.set_linewidth	line.set_pickradius
line.set_c	line.set_lod	line.set_rasterized
line.set_clip_box	line.set_ls	line.set_snap
line.set_clip_on	line.set_lw	line.set_solid_capstyle
line.set_clip_path	line.set_marker	line.set_solid_joinstyle
line.set_color	line.set_markeredgewidth	line.set_transform
line.set_contains	line.set_markeredgecolor	line.set_url
line.set_dash_capstyle	line.set_markerfacecolor	line.set_visible
line.set_dashes	line.set_markerfacecoloralt	line.set_xdata
line.set_dash_joinstyle	line.set_markersize	line.set_ydata
line.set_data	line.set_markevery	line.set_zorder

ولكن استخدام set (اختصار لتحديد خاصية) قد يكون أفضل، خاصة عند العمل بشكل تفاعلي كونه يحتوي على وصف، لكي تتعلم الطرق الصحيحة لنداء الدوال أثناء عملك عليها:

```
</>
line = plt.plot([1,2,3])
```

```
</>
plt.setp(line, 'linestyle')
```

```
linestyle: {'-', '--', '-.', ':', '', (offset, on-off-seq), ...}
```

```
</>
plt.setp(line)
```

```
agg_filter: unknown
alpha: float (0.0 transparent through 1.0 opaque)
animated: [True | False]
```

```

antialiased or aa: [True | False]
...
...

```

في النتيجة الأولى يظهر لنا القيم الصحيحة التي يقبلها متغير linestyle، وفي النتيجة الثانية يظهر لنا جميع المتغيرات التي يمكن تخصيصها في كائن الخط. يمكنك ذلك بسهولة اكتشاف وتحصيص رسومك البيانية لتحصل على ما تريده.

## النصوص ودعم LaTeX

في `matplotlib` يمكن إضافة النص لمحور معين أو للشكل البياني ككل.

هذه الأوامر لإضافة نصوص للمحاور:

- `set_title`: إضافة عنوان
- `set_xlabel`: إضافة عنوان للمحور السيني x-axis
- `set_ylabel`: إضافة عنوان للمحور الصادي y-axis
- `text`: إضافة نص في مكان معين
- `annotate`: إضافة ملاحظة مع إمكانية إضافة سهم

والأوامر التالية للشكل البياني:

- `figtext`: إضافة نص في مكان معين
- `suptitle`: إضافة عنوان

وأي نص من الممكن أن يحتوي على نصوص بـ `LaTeX` والمخصوصة للعمليات الرياضية، طالما تم إضافتها داخل علامة `.`.

هذا المثال على جميع ما سبق:

```

fig = plt.figure()
fig.suptitle('bold figure suptitle', fontsize=14, fontweight='bold')

ax = fig.add_subplot(1, 1, 1)
fig.subplots_adjust(top=0.85)
ax.set_title('axes title')

ax.set_xlabel(' xlabel')
ax.set_ylabel(' ylabel')

ax.text(3, 8, 'boxed italics text in data coords', style='italic',
       bbox={'facecolor': 'red', 'alpha': 0.5, 'pad': 10})

ax.text(2, 6, 'an equation: $E=mc^2$', fontsize=15)

ax.text(3, 2, 'unicode: Institut für Festkörperphysik')

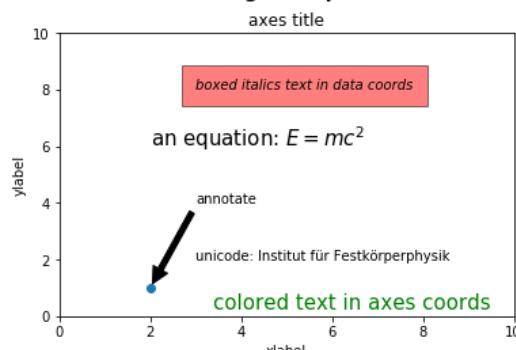
ax.text(0.95, 0.01, 'colored text in axes coords',
       verticalalignment='bottom', horizontalalignment='right',
       transform=ax.transAxes,
       color='green', fontsize=15)

ax.plot([2], [1], 'o')
ax.annotate('annotate', xy=(2, 1), xytext=(3, 4),
            arrowprops=dict(facecolor='black', shrink=0.05))

ax.axis([0, 10, 0, 10]);

```

**bold figure suptitle**



والآن بعد أن رأينا كيف نستخدم `matplotlib` للتخصيص الرسم البياني، يمكننا استخدام نفس الدوال للتخصيص في `seaborn` لأن `seaborn` يقوم بإنشاء الرسوم البيانية باستخدام `:matplotlib`

```
</>
# تحميل مكتبة seaborn
import seaborn as sns
sns.set()

# ضبط شكل وحجم الرسم
# https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.set_context.html
sns.set_context('talk')

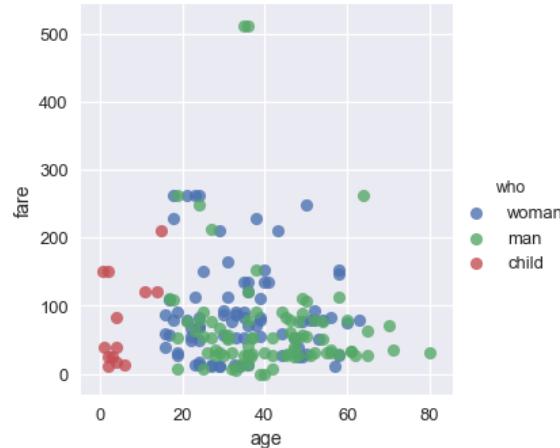
# تحميل البيانات
ti = sns.load_dataset('titanic').dropna().reset_index(drop=True)
ti.head()
```

	survived	pclass	sex	age	...	deck	embark_town	alive	alone
0	1	1	female	38	...	C	Cherbourg	yes	FALSE
1	1	1	female	35	...	C	Southampton	yes	FALSE
2	0	1	male	54	...	E	Southampton	no	TRUE
3	1	3	female	4	...	G	Southampton	yes	FALSE
4	1	1	female	58	...	C	Southampton	yes	TRUE

5 rows x 15 columns

لنبأ بهذه الرسمة:

```
</>
sns.lmplot(x='age', y='fare', hue='who', data=ti, fit_reg=False);
```



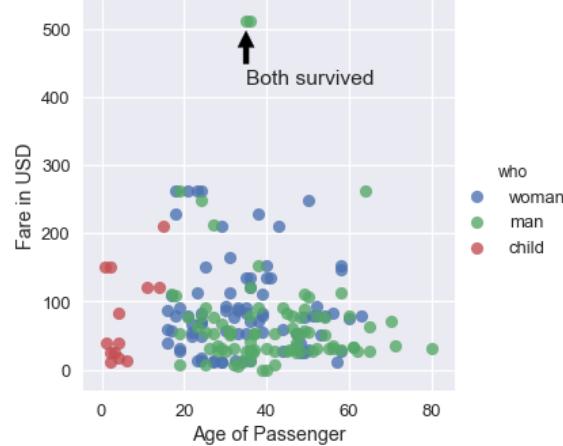
يمكننا رؤية أن الرسم يحتاج لعنوان وصف أفضل لعناوين المحورين x و y. أيضاً، الشخصين اللذين لديهما أعلى التذاكر سعراً نجا، لذا نحتاج لإضافة توضيح ذلك في رسمنا البياني:

```
</>
sns.lmplot(x='age', y='fare', hue='who', data=ti, fit_reg=False)

plt.title('Fare Paid vs. Age of Passenger, Colored by Passenger Type')
plt.xlabel('Age of Passenger')
plt.ylabel('Fare in USD')

plt.annotate('Both survived', xy=(35, 500), xytext=(35, 420),
            arrowprops=dict(facecolor='black', shrink=0.05));
```

Fare Paid vs. Age of Passenger, Colored by Passenger Type



بشكل عملي، سنستخدم seaborn لتصفح البيانات بشكل سريع ثم ننتقل إلى matplotlib لنحسن من الرسم بعد اختيارنا للرسم البياني المثالي.

## مبادئ تصوير البيانات

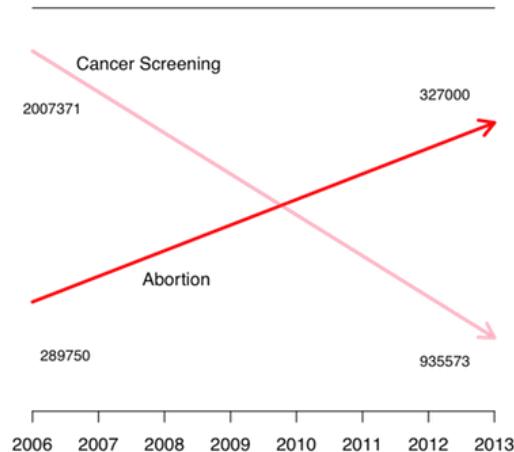
والآن بما أن لدينا الأدوات لرسم وتخصيص الرسوم البيانية، ننتقل للمباديء الأساسية لتصوير البيانات. تماماً كما في باقي أقسام علم البيانات، من الصعب تحديد مقاييس معينة لكفاءة رسمه ببيانية معينة. لكن، هناك مباديء أساسية وجودها يجعل الرسم البياني فعالاً بشكل كبير ويظهر اتجاهات البيانات. سنناقش ست مباديء: المقاييس، الحالة، الإدراك، التحويل، النصوص والتبسيط.

### مبادئ المقاييس

يقصد بمباديء المقاييس هو اختيار المقاسات المناسبة للمحاور  $x$  و  $y$  في الرسم البياني.

في جلسة استماع في الكونجرس الأمريكي عام 2015، الوكيل شافيت ناقش تحقيق عن برنامج Planned Parenthood. قام الوكيل باستخدام الرسم البياني التالي والذي ظهر في تقرير من قبل مؤسسة Americans United for Life. يقارن الرسم بين إجراءات الإجهاض وفحوص السرطان، كلا الإجرائين يتم تقديمها في Planned Parenthood متوفراً بشكل [كامل هنا](#).

ما المرتب بهذا الرسم البياني؟ كم نقطة تم رسمها؟



هذا الرسم يخالف مباديء المقاييس، لا يحسن الاختيار لمحاور  $x$  و  $y$ .

عندما نختار المحاور  $x$  و  $y$  في رسمنا البياني، يجب أن نبني مقاساتنا ثابتة على طول المحور. ولكن، الرسم المعلوّة تحتوي على مقاسين مختلفين لخطي إجراءات الإجهاض وفحوص السرطان، بداية خط إجراءات الإجهاض ونهاية خط فحوص السرطان يبدأون قريباً من بعضهما على المحور  $y$  ولكن الأرقام تظهر العكس. أيضاً، تم رسم النقاط لسنٍ 2006 و 2013 ولكن المحور  $x$  يحتوي على علامات إضافية لسنوات بينهما ولم يتم استخدامها.

للتحسين من هذا الرسم البياني، يجب علينا إعادة رسم النقاط على مقاس ثابت في المحور  $y$ :

لتحميل بيانات Planned Parenthood [اضغط هنا](#).

```
pp = pd.read_csv("data/plannedparenthood.csv")
pp[["age","cancerscreening","abortion"]].plot(x="age",y="cancerscreening",color="red",label="Cancer Screening")
pp[["age","cancerscreening","abortion"]].plot(x="age",y="abortion",color="blue",label="Abortion")
```

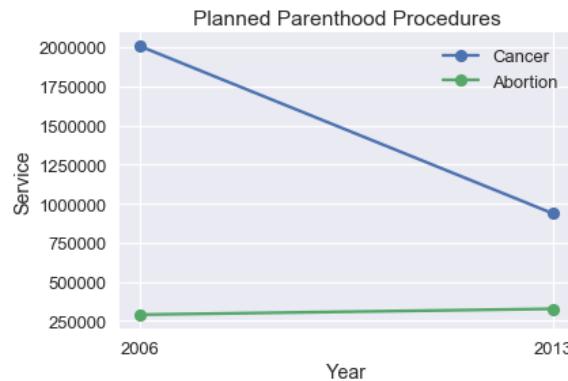
</>

```

plt.plot(pp['year'], pp['screening'], linestyle="solid", marker='o', label='Cancer')
plt.plot(pp['year'], pp['abortion'], linestyle="solid", marker="o", label='Abortion')
plt.title('Planned Parenthood Procedures')
plt.xlabel("Year")
plt.ylabel("Service")

plt.xticks([2006, 2013])
plt.legend();

```

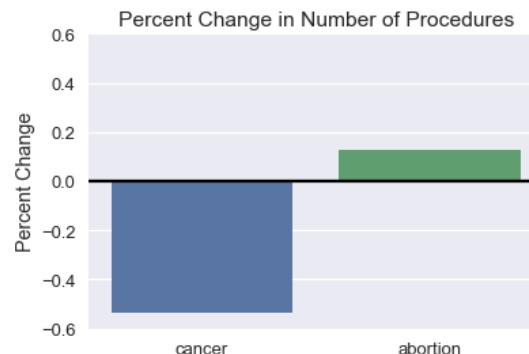


يمكن أن نلاحظ أن الفرق في إجراءات الإجهاض قليل مقارنة بالنزول المفاجئ في فحوص السرطان. بدلاً من مقارنة عدد الإجراءات بينهما، ربما من الأفضل مقارنة فرق بالنسبة بين السنين 2006 و 2013:

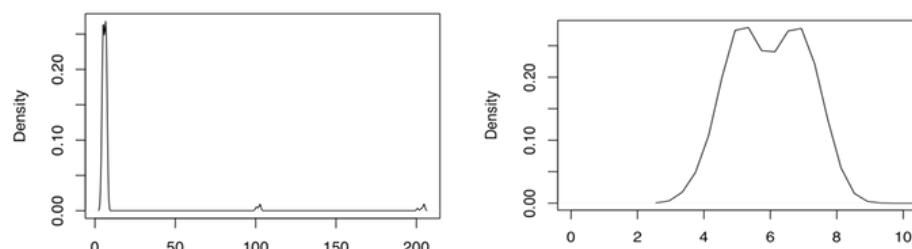
```

percent_change = pd.DataFrame({
    'percent_change': [
        pp['screening'].iloc[1] / pp['screening'].iloc[0] - 1,
        pp['abortion'].iloc[1] / pp['abortion'].iloc[0] - 1,
    ],
    'procedure': ['cancer', 'abortion'],
    'type': ['percent_change', 'percent_change'],
})
ax = sns.barplot(x='procedure', y='percent_change', data=percent_change)
plt.title('Percent Change in Number of Procedures')
plt.xlabel('')
plt.ylabel('Percent Change')
plt.ylim(-0.6, 0.6)
plt.axhline(y=0, c='black');

```



عند اختيار مقاسات المحاور نحاول التركيز على الجزء الذي يحتوي على عدد بيانات أكبر، خاصة عندما نعمل على بيانات المعروفة باسم الذيل Long-tailed Data. لاحظ في الرسم البياني التالي الرسمه قبل (يسار) وبعد (يمين) التقرير في على الرسم الأخرى:



الرسم على اليمين تفيد أكثر في فهم البيانات. إذا احتاج الأمر، يمكننا رسم أكثر من رسمه ببنائه لأجزاء مختلفة من البيانات. لاحقاً في هذا الفصل، سنتحدث عن تحويل البيانات والذي سيساعدنا في رسم البيانات ذات الذيل الطويل.

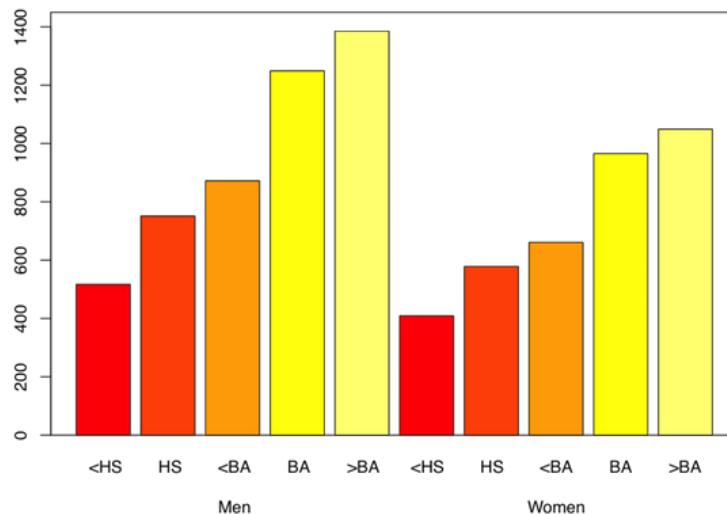
## مبادئ الحالات

تقدّم لنا مبادئ الحالات الطرق والوسائل لإظهار التوزيع والعلاقة بين المجموعات الفرعية في بياناتنا.

يشرف مكتب إحصائيات العمال في الولايات المتحدة على إجراء استبيانات علمية لصحة اقتصاد الولايات المتحدة. يحتوي موقع المكتب على أداة لإنشاء التقارير باستخدام هذه البيانات التي استخدمناها لرسم متوسط الأجر الأسوي حسب الجنس.

أي المقارنات أسهل في هذا الرسم؟ هل هذه المقارنات هي الأهم؟

2014 Median Weekly Earnings  
Full-Time Workers over 25 years old

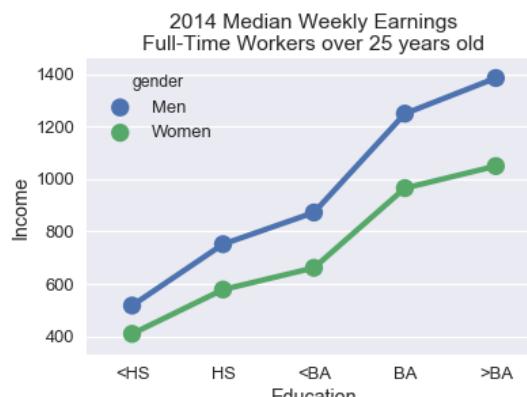


يبين لنا هذا الرسم لمحة بسيطة على أن الراتب الأسوي يزيد حسب الدرجة العلمية. ولكن، من الصعب تحديد الزيادة بالضبط بين كل درجة علمية وأخرى ويصعب أكثر التفريغ بين أجور الذكور والإثاث في نفس الدرجة العلمية. يمكننا التتحقق من اتجاهات المشككين السابقتين باستخدام المخطط النقطي بدلاً من الشرطي:

لتحميل بيانات الأجور اضغط هنا.

```
cps = pd.read_csv("data/edInc2.csv")
ax = sns.pointplot(x="educ", y="income", hue="gender", data=cps)

ticks = ["<HS", "HS", "<BA", "BA", ">BA"]
ax.set_xticklabels(ticks)
ax.set_xlabel("Education")
ax.set_ylabel("Income")
ax.set_title("2014 Median Weekly Earnings\nFull-Time Workers over 25 years old");
```

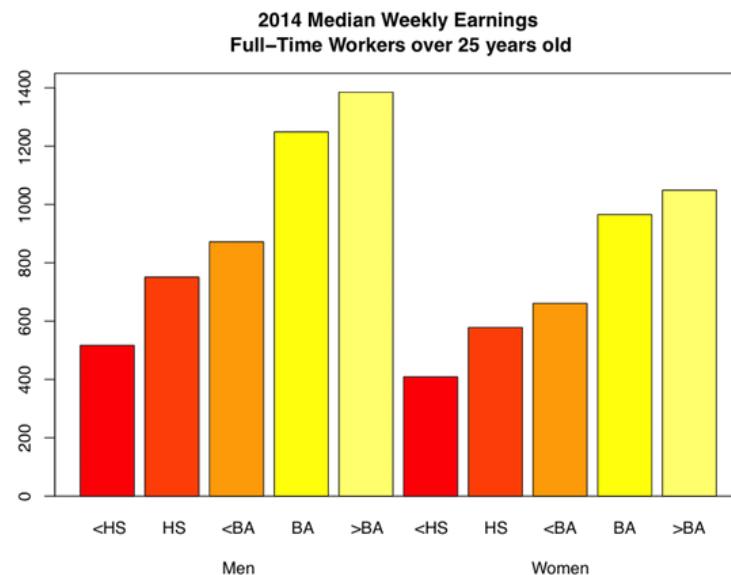


الخط الذي يربط بين النقاط يوضح تأثير الحصول على درجة البكالوريوس على الأجر الأسبوعي. وضع نقطتي الذكور والإثاث فوق بعضهما يسهل علينا ملاحظة زيادة الفارق بينهما كلما زادت الدرجة العلمية.

للمساعدة في المقارنة بين المجموعتين الفرعتين في بياناتنا، حاذي النقاط على المحور  $x$  أو  $y$  واختر ألوان أو شكل مختلف للكل منهما. الخطوط عادةً ما توضح اتجاه البيانات بشكل واضح أكثر من المخططات الشريطية وهي اختيار أفضل لنوعي البيانات النوعية والكمية.

## مبادئ الإدراك

لدى إدراك البشر بعض الخصائص التي يجب أن ننتبه لها عند تصميم رسومنا البيانية. أول الخصائص في الإدراك البشري أننا ننتبه لبعض الألوان أكثر من أخرى، خاصة في درجات اللون الأخضر. أيضاً، نلاحظ أن الألوان الفاتحة أكبر حجماً من الألوان الغامقة. مثلاً، في الرسم البياني للأجر الأسبوعي، المخططات الشريطية الفاتحة تجذب انتباها أكثر من الغامقة:

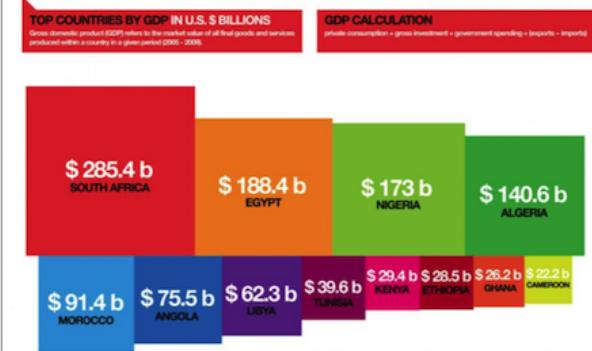


عملياً، يجب أن تتأكد أن ألوان رسومك البيانية ذات إدراك موحد *Perceptually Uniform*. يعني ذلك، شدة الألوان لا تتغير بين كل شريط وآخر في الرسم. في البيانات الكمية، لدينا خياران: إذا كانت البيانات من تتصاعد من الأقل للأعلى فيجب عليك أن تشدد على القيم العليا، لذا تستخدم قالب ألوان متسلسلة *Sequential Color Scheme* والتي تعين لوناً فاتحاً للقيم العالية. إذا كانت كلا القيم العليا والدنيا تحتاج للتنوية عليها، استخدم قالب ألوان معكوس *Diverging Color Scheme* فيه يتم تعين اللون الفاتح للقيم القريبة من المنتصف.

تحتوي `seaborn` على الكثير من قوالب الألوان. يمكنك تصفحها في شرح المكتبة لمعرفة كيفية التغيير بين كل قالب وآخر:  
[http://seaborn.pydata.org/tutorial/color\\_palettes.html](http://seaborn.pydata.org/tutorial/color_palettes.html)

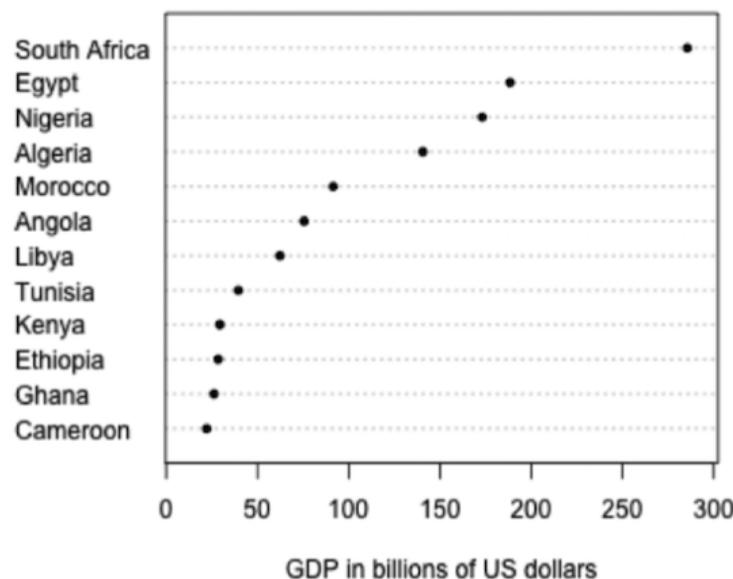
ثاني خصائص الإدراك البشري هي أننا دققين أكثر عندما نقارن بين الأطوال وأقل دقة عندما نقارن بين المساحات. الرسم البياني التالي للنواتج المحلية الإجمالية لبلدان أفريقيا:

## African Countries by GDP



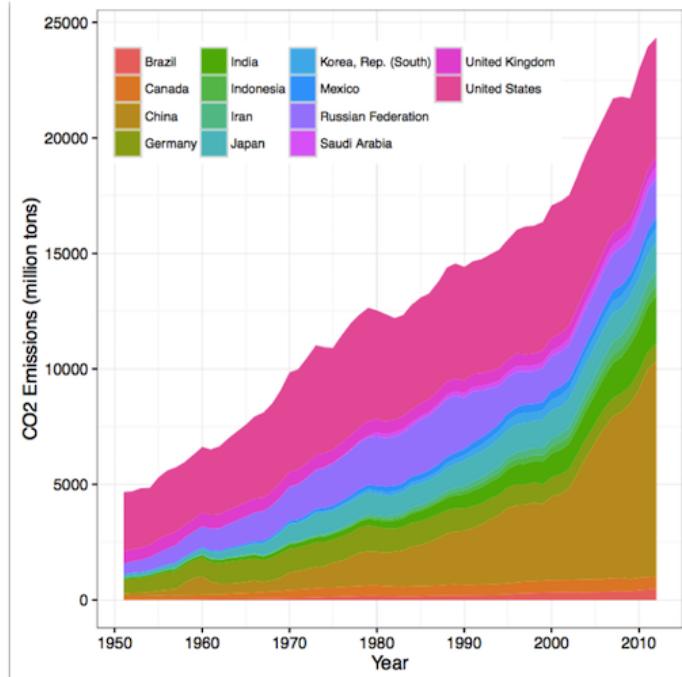
بناءً على الأرقام، جنوب أفريقيا لديها ضعف الناتج المحلي في الجزائر ولكن ليس من السهل ملاحظة ذلك في الرسم البياني. بدلاً من ذلك، يمكننا استخدام المخطط النقطي للرسم:

## African Countries by GDP



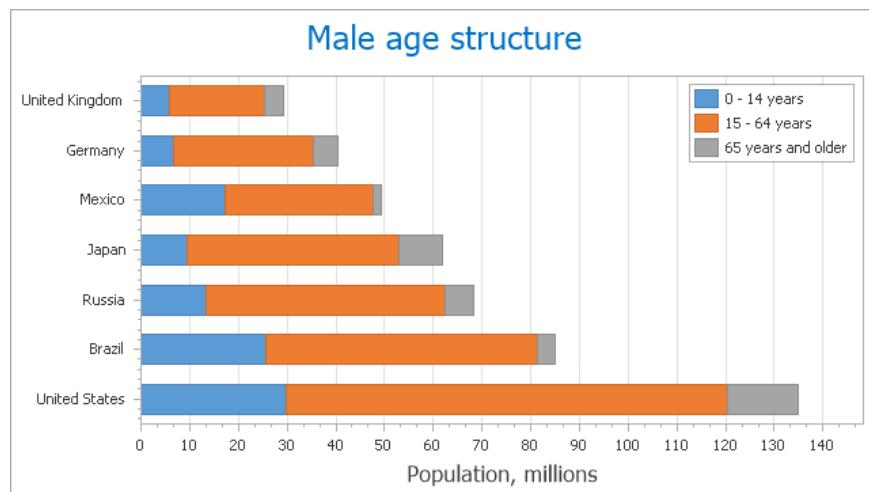
هذا أوضح بكثير لأنه سمح لنا المقارنة الطول بدلاً من المساحة. الدائرة الجزئية Pie Chart والرسوم ثلاثية الأبعاد Three-dimensional Charts يصعب ترجمتها بسبب نفس المشكلة؛ عملياً نحاول الابتعاد عن هذه الرسومات.

خاصية الإدراك البشري الثالثة والأخيرة هي أن العين تواجه صعوبات عند التنقل بين خطوط الأساس. في الرسم البياني التالي من النوع الماسحي المجمع (المتكبس) Stacked Area Chart والذي يوضح انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمبور الوقت ومفصلاً حسب الدولة:



من الصعب معرفة ما إذا زادت أو نقصت الانبعاثات في المملكة المتحدة بسبب مشكلة هزّة خط الأساس Jiggling Baseline (الخط السفلي) للمساحة يهتز أعلى وأسفل. أيضاً من الصعب المقارنة بين انبعاثات المملكة المتحدة والصين عندما يكون الطول متشابه (في عام 2000 مثلاً).

نفس المشكلة تظهر في المخطط الشريطي للمجتمع (المتكدس). في الرسم البياني التالي يصعب المقارنة عدد الذين أعمارهم بين 15-64 في المكسيك وألمانيا.



يمكننا تحويل رسوم البيانات من النوع المساحي والشريطي المجمع (متكدسة) عن طريق تحويلها إلى رسوم خطية. الرسم البياني التالي لبيانات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمدورة الوقت كخطوط بدلاً من مساحات:

لتحميل بيانات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بين الدول [اضغط هنا](#).

```

co2 = pd.read_csv("data/CAITcountryCO2.csv", skiprows = 2,
                  names = ["Country", "Year", "CO2"])
last_year = co2.Year.iloc[-1]
q = f"Country != 'World' and Country != 'European Union (15)' and Year == {last_year}"
top14_lasty = co2.query(q).sort_values('CO2', ascending=False).iloc[:14]
top14 = co2[co2.Country.isin(top14_lasty.Country) & (co2.Year >= 1950)]

from cycler import cycler

linestyles = ('-', '--', ':', '-.']*3)[:7]
colors = sns.color_palette('colorblind')[:4]
lines_c = cycler('linestyle', linestyles)
color_c = cycler('color', colors)

fig, ax = plt.subplots(figsize=(9, 9))
ax.set_prop_cycle(lines_c * color_c)

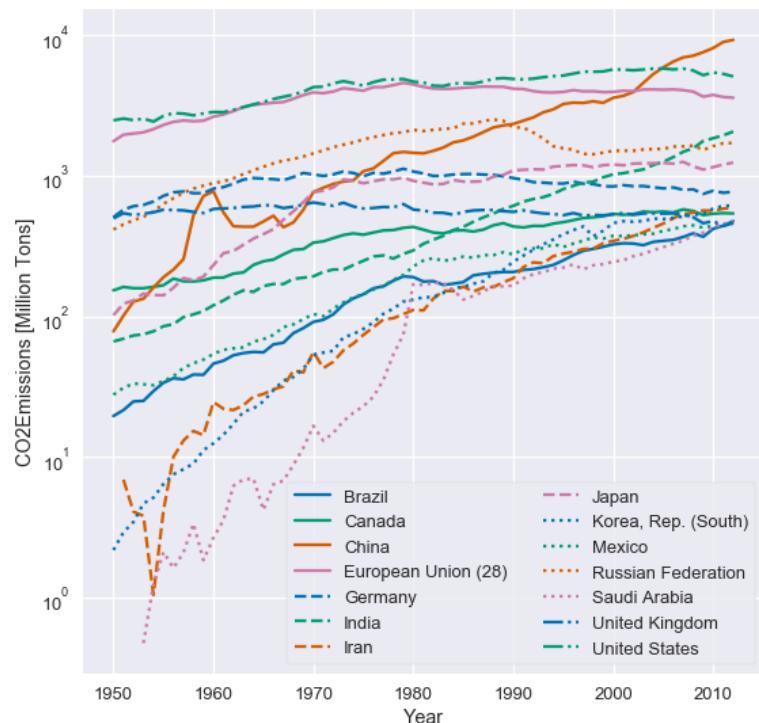
```

```

x, y ='Year', 'CO2'
for name, df in top14.groupby('Country'):
    ax.semilogy(df[x], df[y], label=name)

ax.set_xlabel(x)
ax.set_ylabel(y + "Emissions [Million Tons]")
ax.legend(ncol=2, frameon=True);

```



رسم البيانات على شكل خطوط لا يحدث بها اهتزازات في خط الأساس لكن خط لها من السهل مقارنة الانبعاثات بين الدول. أيضاً يمكننا أن نرى بوضوح أي الدول زادت فيها الانبعاثات.

### مبادئ التحويل

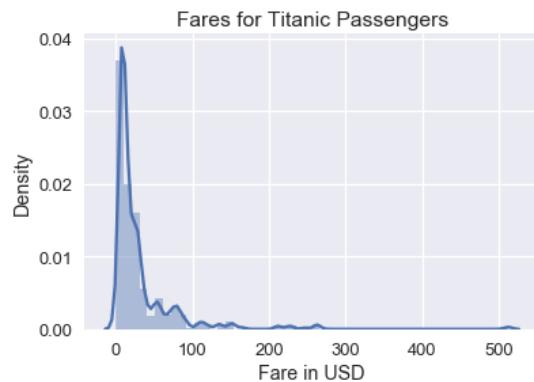
تقديم لنا مبادئ التحويل طرق مفيدة للتغيير البيانات في الرسوم البيانية لإظهار اتجاهاتها بصورة واضحة. عادة ما نستخدم التحويل لإظهار الأنماط في البيانات المنحرفة Skewed Data أو العلاقات غير الخطية بين المتغيرات.

الرسم البياني التالي يوضح توزيع أسعار التذاكر بين كل راكب في سفينة تايتانيك. كما ترى، الرسم منحرف باتجاه اليمين:

```

ti = sns.load_dataset('titanic')
sns.distplot(ti['fare'])
plt.title('Fares for Titanic Passengers')
plt.xlabel('Fare in USD')
plt.ylabel('Density');

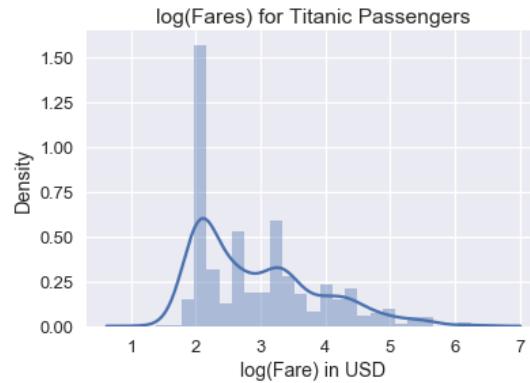
```



على الرغم أن الرسم البياني يوضح جميع أسعار التذاكر، من الصعب ملاحظة الأنماط فيها لأن البيانات مُتجمعة في الجهة اليسرى. لتحسين ذلك، يمكننا حساب اللوغاريتم الطبيعي Natural logarithm لأسعار التذاكر قبل رسماها:

&lt;/&gt;

```
sns.distplot(np.log(ti.loc[ti['fare'] > 0, 'fare']), bins=25)
plt.title('log(Fares) for Titanic Passengers')
plt.xlabel('log(Fare) in USD')
plt.ylabel('Density');
```



يمكننا ملاحظة في الرسم البياني أنه بعد حساب اللوغاريتمية أكثر القيم تكراراً (المتوسط Mode) كان حوالي  $\$7.40 = e^2$  والأقل تكراراً كان  $\$30.00 = e^{3.4}$ . لماذا يفيدنا رسم اللوغاريتمية الطبيعية للبيانات عندما تكون مُنحرفة؟ اللوغاريتمية للأرقام العالية عادة ما تكون قريبة من اللوغاريتمية للأرقام الصغيرة:

value	(log)value
1	0
10	2.3
50	3.91
100	4.6
500	6.21
1000	6.9

يعني ذلك أنأخذ اللوغاريتمية ستجلب تلك البيانات ذات الأرقام الكبيرة على الجانب الأيمن إلى الأرقام الصغيرة. يسهل ذلك في توضيح أين تقع أغلب البيانات.

بالأصل، تعتبر اللوغاريتم أداه مهمة في تحويل البيانات، تساعدنا أيضاً على ملاحظة العلاقات بين البيانات غير الخطية. في عام 1619، وثق [يوهانس كيبلر](#) البيانات التالية ليكتشف القانون الثالث في حركة الكواكب:

لتحميل بيانات يوهانس كيبلر عن حركة الكواكب [اضغط هنا](#).

&lt;/&gt;

```
planets = pd.read_csv("data/planets.data", delim_whitespace=True,
                      comment="#", usecols=[0, 1, 2])
planets
```

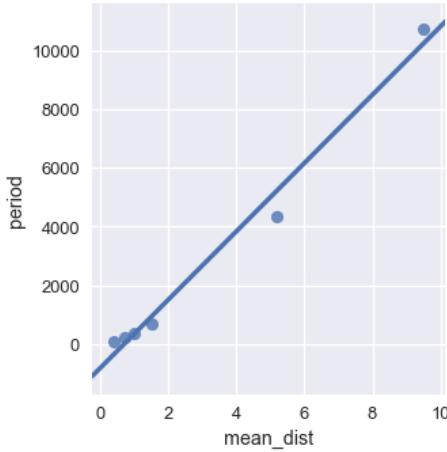
	planet	mean_dist	period
0	Mercury	0.389	87.77
1	Venus	0.724	224.7
2	Earth	1	365.25
3	Mars	1.524	686.95
4	Jupiter	5.2	4332.62
5	Saturn	9.51	10759.2

إذا رسمنا متوسط المسافة حتى الشمس مقارنة بفترة الدوران، يمكننا ملاحظة أنه هناك علاقة لا تبدو خطية:

&lt;/&gt;

```
sns.lmplot(x='mean_dist', y='period', data=planets, ci=False)
```

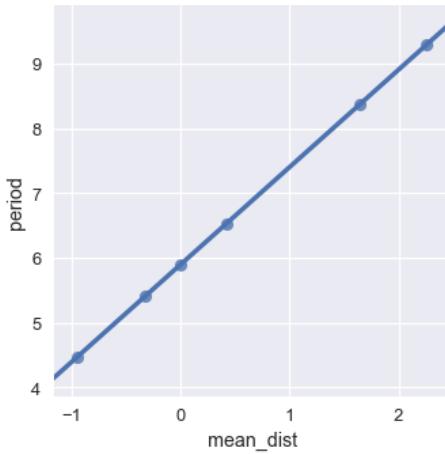
<seaborn.axisgrid.FacetGrid at 0x1a1f54aba8>



ولكن، إذا قمنا بحساب اللوغاريتمية لمتوسط المسافة والفترة، سنحصل على الرسم التالي:

```
</>
sns.lmplot(x='mean_dist', y='period',
            data=np.log(planets.iloc[:, [1, 2]]),
            ci=False);
```

<seaborn.axisgrid.FacetGrid at 0x1a1f693da0>



يمكن أن نرى علاقة خطية Linear بشكل شبه كامل هنا بين القيم اللوغاريتمية لمتوسط والفترة. ماذا يعني ذلك؟ بما أننا نعتقد أن هناك علاقة بين القيم اللوغاريتمية، يمكننا استنتاج التالي:

$$\begin{aligned} \log(\text{period}) &= m \log(\text{dist}) + b \\ \text{period} &= e^{m \log(\text{dist}) + b} \quad \text{Taking the exponent of both sides} \\ \text{period} &= e^b \text{dist}^m \\ \text{period} &= C \cdot \text{dist}^m \end{aligned}$$

قمنا بتبدل  $e^b$  بـ  $C$  في الخطوة الأخيرة لتوسيع أن  $e^b$  رقم ثابت. العملية الرياضية الجبرية السابقة تظهر أنه عندما تكون قيمتان لديهما علاقة متعددة الحدود Polynomial، فإن لوغارتميهما ذات علاقة خطية. بالأصل، يمكننا إيجاد درجة متعددة حدود عن طريق إيجاد انحدار الخط في هذه الحالة، الانحدار قيمته 1.5 والذي يعطينا قانون كيلر الثالث: Slope  $\propto \text{dist}^{1.5}$ .

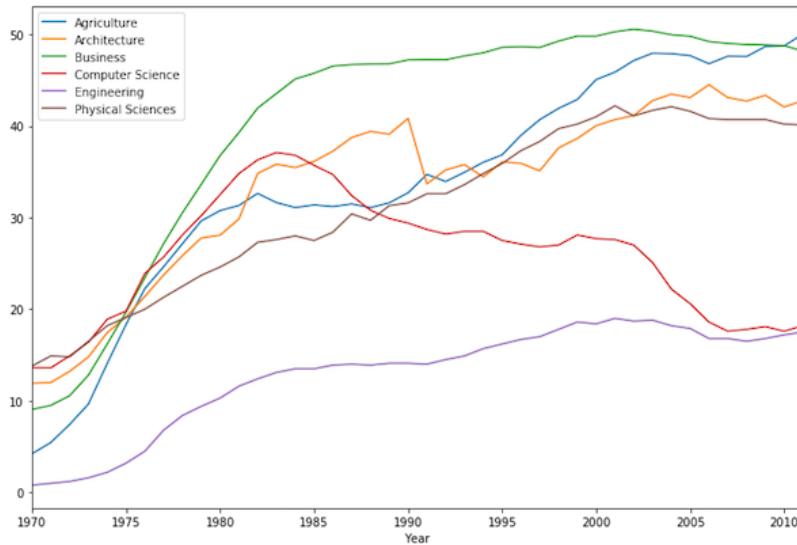
بنفس طريقة الاستنتاج السابق يمكننا إظهار أن العلاقة بين  $(y) \log(\text{period})$  و  $x \text{mean\_dist}$  هي خطية أسيّة:  $y = a^x$

بهذه الطرق، يمكننا استخدام اللوغاريتمية لإظهار أنماط في البيانات ذات الذيل الطويل وعلاقات الغير خطية الشائعة بين القيم.

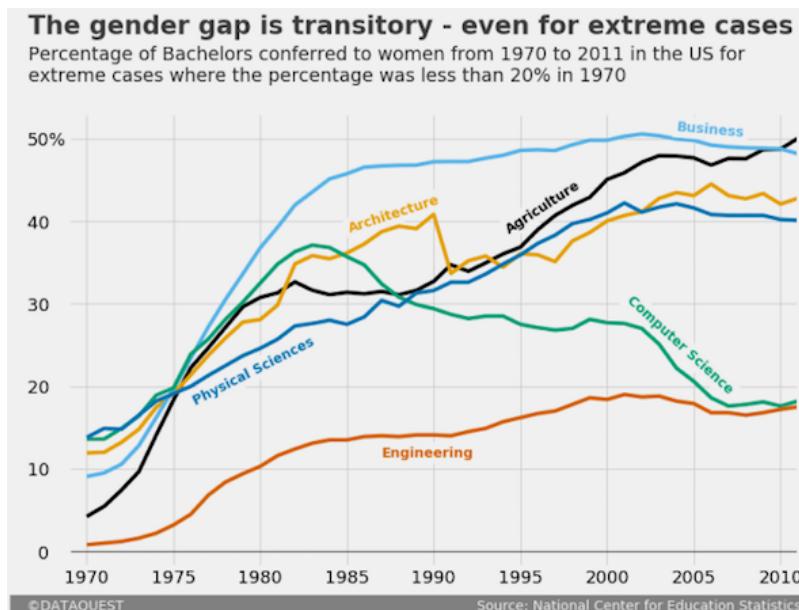
طرق أخرى في تحويل البيانات تشمل التحويلات متعددة الحدود وتحويل بوكس كوكس.

## مبادئ النصوص

من المهم إضافة أكبر قدر ممكن من النصوص التوضيحية لأي رسم بياني تبني مشاركته بشكل واسع. مثلاً، الرسم البياني التالي تبدو البيانات فيه واضحة ولكن يقدم القليل من المعلومات التي تفيدنا في فهم ما تم رسمه:



للتوضيح محتوى الرسم، أضفنا عنوان، عنوان فرعى، عناوين للمحاور ووحداتها، وسميات للخطوط التي تم رسمها:



(التدوينة [هنا](#) توضح كيف تمت إضافة كل هذه التعديلات باستخدام `.matplotlib`)

بشكل عام، نضيف التالي إذا أردنا نصوصاً توضيحية في رسمنا البياني:

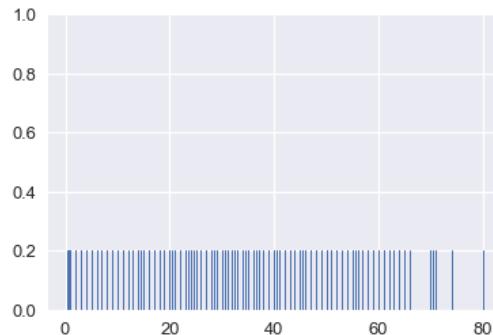
- عنوان الرسم.
- عناوين المحاور.
- إشارات للخطوط والعلامات ذات القيم المهمة.
- مسميات لنقطات المهمة والغير متوقعة.
- عنوان فرعى البيانات والمعلومات المهمة التي تقدمها.

## مبادئ التبسيط

تبسيط يساعدنا في رسم البيانات بشكل واضح عندما تكون النقاط فيها كثيرة. في الحقيقة سبق أن شاهدنا ذلك: المدرج التكراري هو نوع من التبسيط لرسم التخطيطي Rug Plots. الرسم التخطيطي التالي يوضح عمر كل شخص في تايتانيك:

```
ages = titanic['age'].dropna()
sns.rugplot(ages, height=0.2)
```

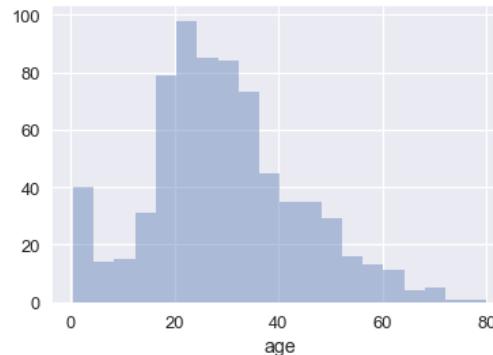
```
<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x1a20c05b38>
```



توجد الكثير من الخطوط التي تصعب علينا معرفة أين تقع أكثر البيانات. إضافة إلى أنه بعض النقاط تتدخل في بعضها، ويصعب علينا ذلك معرفة كم نقطة تجتمع في 0. هذه المشكلة يطلق عليها فرط الرسم Overplotting وتحاول دائمًا الابتعاد عن ذلك قدر الإمكان. لإظهار توزيع البيانات، يمكننا التبديل بين إظهارها كمجموعة واحدة بشريط يمتد للأعلى عندما تكون هناك بيانات اضافية في نفس النقطة. التبسيط يعني الخطوات لتبدل بعض النقاط بعلامات؛ تحاول عدم إظهار كل نقطة في البيانات لمحاولة الاتجاه العام للبيانات:

```
</>
sns.distplot(ages, kde=False)
```

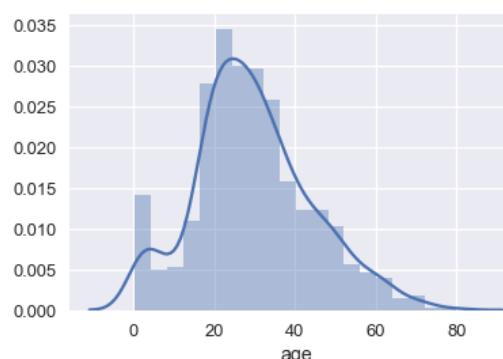
```
<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x1a23c384e0>
```



رأينا أيضًا أن seaborn سترسم خط منحني بشكل تلقائي في المدرج التكراري:

```
</>
sns.distplot(ages)
```

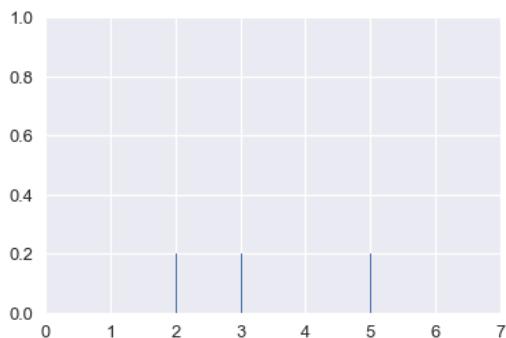
```
<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x1a23d89780>
```



هذه طريقة أخرى من التبسيط تسمى تقدير كثافة النواة (Kernel Density Estimation). بدلاً من تجميع النقاط معنًا ورسم شريط، تقوم برسم منحني فوق كل نقطة وتجميئها كل منحني وتحديد التقدير النهائي لتوزيع البيانات. لأخذ الرسمة التخطيطية التالية لثلاث نقاط:

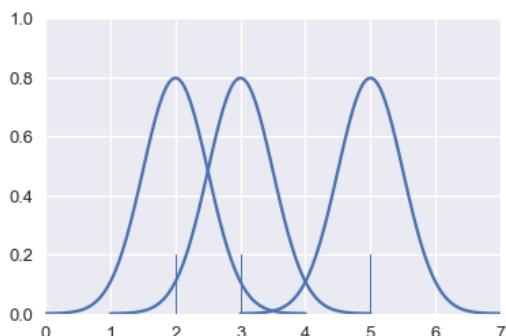
```
</>
points = np.array([2, 3, 5])
sns.rugplot(points, height=0.2)
```

```
plt.xlim(0, 7);
```



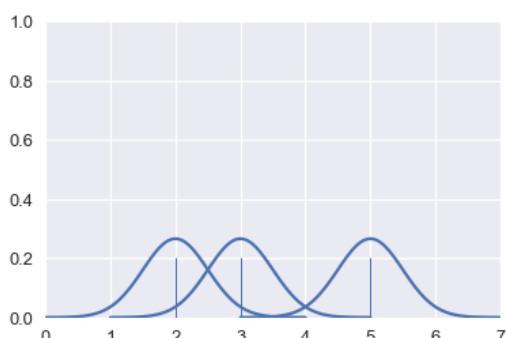
لتطبيق تقدير كثافة النقاط نقوم برسم توزيع احتمالي طبيعي Normal Gaussian في كل نقطة:

```
</>  
from scipy.stats import norm  
  
def gaussians(points, scale=True, sd=0.5):  
    x_vals = [np.linspace(point - 2, point + 2, 100) for point in points]  
    y_vals = [norm.pdf(xs, loc=point, scale=sd) for xs, point in zip(x_vals, points)]  
    if scale:  
        y_vals = [ys / len(points) for ys in y_vals]  
    return zip(x_vals, y_vals)  
  
for xs, ys in gaussians(points, scale=False):  
    plt.plot(xs, ys, c=sns.color_palette()[0])  
  
sns.rugplot(points, height=0.2)  
plt.xlim(0, 7)  
plt.ylim(0, 1);
```



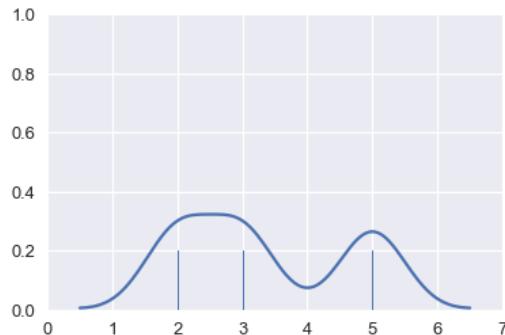
المساحة أسفل المنهج الاحتمالي الطبيعي تساوي 1. بما أننا سنجمع أكثر من منهج معًا، سنقوم بإعادة حساب مساحة كل منهج حتى يكون مجموع كل المنهجيات يساوي 1.

```
</>  
for xs, ys in gaussians(points):  
    plt.plot(xs, ys, c=sns.color_palette()[0])  
  
sns.rugplot(points, height=0.2)  
plt.xlim(0, 7)  
plt.ylim(0, 1);
```



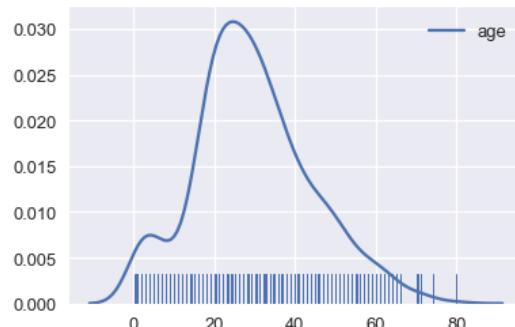
أخيراً، نجمع كل المنحنيات معاً لإيجاد المنحنى الأخير للتوزيع:

```
</>
sns.rugplot(points, height=0.2)
sns.kdeplot(points, bw=0.5)
plt.xlim(0, 7)
plt.ylim(0, 1);
```



بإتباع نفس الطريقة، يمكننا استخدام KDE لتبسيط الكثير من النقاط:

```
</>
اظهار النقاط الأصلية قبل التبسيط #
sns.rugplot(ages, height=0.1)
اظهار تدبير التبسيط للتوزيع #
sns.kdeplot(ages);
```

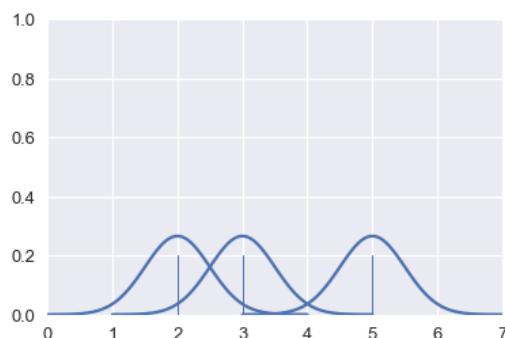


#### تفاصيل KDE

في المثال السابق، قمنا برسم منحنى بسيط فوق كل نقطة وجمعناهم معاً:

```
</>
for xs, ys in gaussians(points):
    plt.plot(xs, ys, c=sns.color_palette()[0])

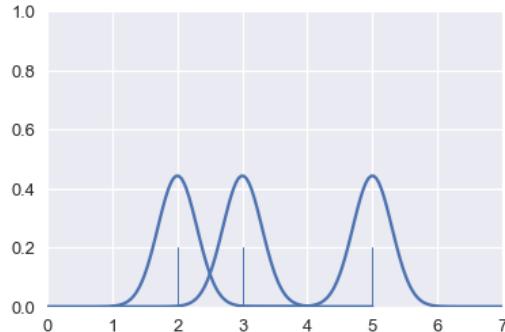
sns.rugplot(points, height=0.2)
plt.xlim(0, 7)
plt.ylim(0, 1);
```



يمكننا التحكم بعرض المنحنيات. مثلاً، يمكننا تصغير حجمها. يسمى ذلك تقليل حجم نطاق *Bandwidth* تقدير الكثافة.

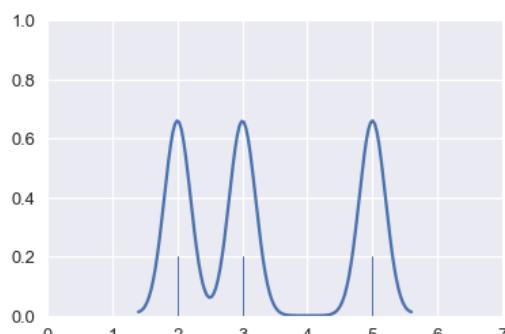
```
</>
for xs, ys in gaussians(points, sd=0.3):
    plt.plot(xs, ys, c=sns.color_palette()[0])

sns.rugplot(points, height=0.2)
plt.xlim(0, 7)
plt.ylim(0, 1);
```

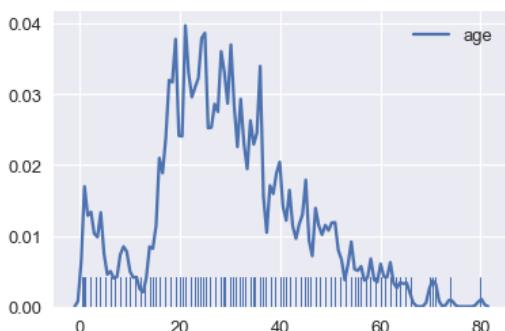


عندما نجمع المنحنيات ذات العرض الأقل معاً، نُتَّج تقدير نهائٍ أكثر تفصيلاً:

```
</>
sns.rugplot(points, height=0.2)
sns.kdeplot(points, bw=0.2)
plt.xlim(0, 7)
plt.ylim(0, 1);
```



```
</>
# لأعمار ركاب تايتانيك باستخدام نطاق أقل KDE رسم
sns.rugplot(ages, height=0.1)
sns.kdeplot(ages, bw=0.5);
```

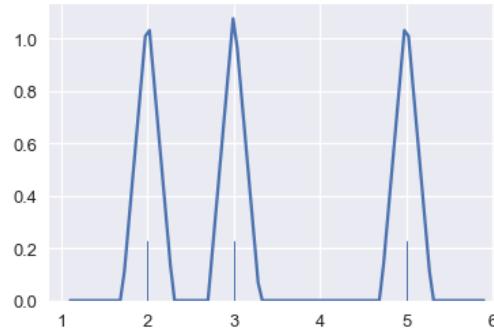


تماماً مثل التعديل في الأشرطة في المخطط الشريطي، عادة ما نقوم بالتعديل على النطاق حتى نرى أن الرسم البياني النهائي يظهر التوزيع دون تشتت انتباه المتلقٍ بكثير من التفاصيل.

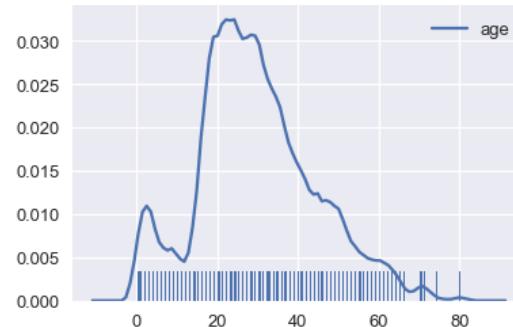
على الرغم من رسمنا لمنحنٍ في كل نقطة، يمكننا استخدام دوال أخرى للتقدير. يسمى ذلك تغيير نواة *Kernal* تقدير كثافة النواة. سابقاً، استخدمنا نواة غاوسيّة *Gaussian Kernal*. الآن، سنستخدم نواة ثلاثية النقاط *Triangular Kernal*.

```
</>
```

```
sns.rugplot(points, height=0.2)
sns.kdeplot(points, kernel='tri', bw=0.3)
```



```
</>
# لأعمار ركاب تايتانيك باستخدام نواه ثلاثة النطاق KDE رسم
sns.rugplot(ages, height=0.1)
sns.kdeplot(ages, kernel='tri');
```



#### تفاصيل تبسيط مخططات التشتت

يمكننا تبسيط الرسوم ثنائية الأبعاد عندما نواجه مشكلة فرط الرسم.

المثال التالي تأي بيانته من سباق أزهار الكرز سباق سنوي لـ 10 أميال في مدينة واشنطن العاصمة. كل متسابق سُجل عمره ووقت نهايته للسباق؛ قمنا برسم كل البيانات في مخطط التشتت التالي:

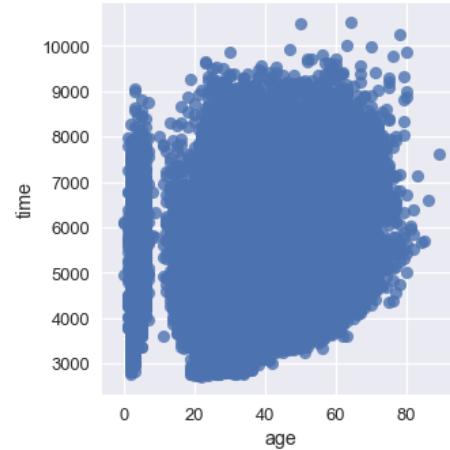
لتحميل بيانات سباق أزهار الكرز [اضغط هنا](#).

```
</>
runners = pd.read_csv('data/cherryBlossomMen.csv').dropna()
runners
```

	year	place	age	time
0	1999	1	28	2819
1	1999	2	24	2821
2	1999	3	27	2823
...	...	...	...	...
70066	2012	7190	56	8840
70067	2012	7191	35	8850
70069	2012	7193	48	9059

70045 rows x 4 columns

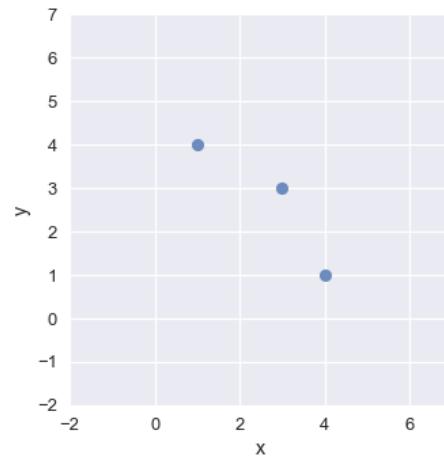
```
</>
sns.lmplot(x='age', y='time', data=runners, fit_reg=False);
```



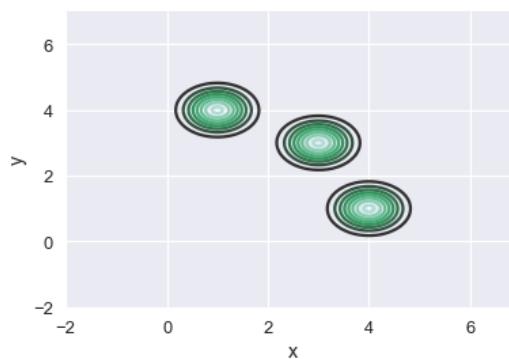
الكثير من النقاط متداخلة في بعضها البعض ويصعب بهذا الشكل تحديد اتجاه البيانات!

يمكننا تبسيط مخطط التشتت باستخدام KDE للرسوم ثنائية الأبعاد. عندما نطبقها على الرسم، نقوم برسم منحنى ثالث الأبعاد على كل نقطة. بهذه الطريقة سيكون شكل المنحنى كالجبل ومتوجه إلى الخارج:

```
# رسم ثلاث نقاط
two_d_points = pd.DataFrame({'x': [1, 3, 4], 'y': [4, 3, 1]})
sns.lmplot(x='x', y='y', data=two_d_points, fit_reg=False)
plt.xlim(-2, 7)
plt.ylim(-2, 7);
```



```
# رسم المنحنى لكل نقطة واستخدام مخطط المنسوب لإظهار كل واحد
sns.kdeplot(two_d_points['x'], two_d_points['y'], bw=0.4)
plt.xlim(-2, 7)
plt.ylim(-2, 7);
```



كما رأينا سابقاً، نعيد حساب المساحة لكل منحنى ونجمعها معًا حتى نصل لمخطط منسوب *Contour Plot* النهائي لمخطط التشتت:

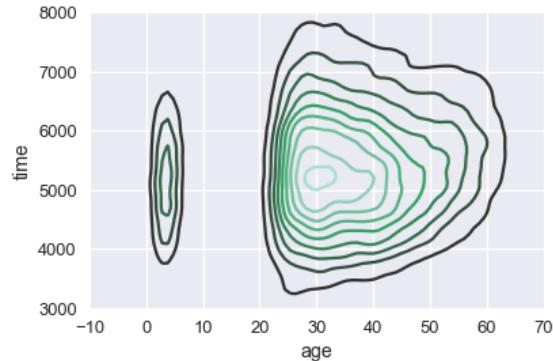
</>

```
sns.kdeplot(two_d_points['x'], two_d_points['y'])
plt.xlim(-2, 7)
plt.ylim(-2, 7);
```



الرسمة النهائية توضح الميلان نحو الأسفل لكل الثالث نقاط. بنفس الطريقة، يمكننا تطبيق KDE لتبسيط مخطط التشتت على بيانات الأعمار ووقت انتهاء المتسابقين للسباق:

```
</>
sns.kdeplot(runners['age'], runners['time'])
plt.xlim(-10, 70)
plt.ylim(3000, 8000);
```



يمكن أن نلاحظ أن أكثر المتسابقين تتراوح أعمارهم بين 25 و 50 سنة، وأكثر المتسابقين استغرقه 400 إلى 700 ثانية (بين ساعة وساعتين) حتى ينهون السباق.

نلاحظ أيضًا وبشكل واضح أن هناك مجموعة من المتسابقين مشكوك بأمرها الذين بين 0 و 10 سنوات. ربما نحتاج إلى التحقق بشكل أكثر من بيانات الأعمار مما إذا كانت مسجلة بشكل صحيح.

يمكن أيضًا أن نلاحظ بأن الوقت لإنها السباق يتوجه للأعلى كلما زاد عمر المتسابق.

## فلسفة تصوير البيانات

للأسف، الكثير من الرسومات البيانية حول العالم لا تطبق مبادئنا في تصوير البيانات. هذه صفحة لرسومات بيانية تظهر على الصفحة الأولى من بحث قوله "good data visualization" تم أخذ الصورة في ربيع 2018. كم من الرسوم البيانية السيئة تلاحظ؟



الرسم البياني الفعال يظهر البيانات بشكل أوضح. كل مبادئنا لرسم البيانات تهدف لجعل البيانات مفهومه للقارئ. تستخدم الرسوم البيانية أخيراً للتضليل وإظهار معلومات خاطئة. عندما يتم رسمها بشكل صحيح، الرسوم البيانية واحدة من أهم الأدوات لاكتشاف، توضيح والربط بين اتجاهات البيانات والشذوذ فيها.

## تقنيات الويب

### مقدمة

قبل ظهور الإنترنت، كان علماء البيانات يقومون بنقل الأقراص الصلبة بينهم يدوياً لمشاركة البيانات. الآن، يمكننا بسهولة البحث واستيراد البيانات من أجهزة الكمبيوتر حول العالم.

على الرغم من أننا نستخدم الإنترنت لتحميل ومشاركة ملفات البيانات، موقع الإنترنت أيضاً تحتوي على عدد كبير من المعلومات محفوظة كنصوص، صور أو فيديو. بتعلم تقنيات الويب، يمكننا أن نستخدمها ك مصدر للبيانات. في هذا الفصل، سنعرف على HTTP، XML/HTML، التنسيدات الأساسية للملفات في مواقع الإنترنت.

### HTTP

الـ HTTP (أو HyperText Transfer Protocol) هي وسيلة وبروتوكول للطلب والرد وتسمح لجهاز كمبيوتر بالتواصل مع جهاز آخر عبر الإنترنت.

### الطلب والرد

يسمح الإنترنت لأجهزة الكمبيوتر بإرسال النصوص بينها، ولكن دون أي قيود عن نوع النصوص. تقوم HTTP بإنشاء هيكل للنصوص أثناء التواصل بين الجهاز الأول (العميل) والجهاز الثاني (الخادم). في هذا البروتوكول، العميل يقدم طلب Request إلى الخادم، مصمم بشكل نصي محدد. يقوم الخادم بالرد Response بنص إلى العميل.

أداة سطر الأوامر curl تقدم لنا وسيلة سهلة لإرسال طلبات HTTP. في النتيجة التالية، السطر الذي يبدأ بـ > يعني أن النص أرسل في الطلب؛ الأسطر الباقي هي رد الخادم:

```
$ curl -v https://httpbin.org/html
</>
```

كما ذكرت مسبقاً في الفصل الثالث، لتشغيل أوامر sh على أجهزة ويندوز قم بتحميل Gitbash

```
> GET /html HTTP/1.1
> Host: httpbin.org
> User-Agent: curl/7.55.1
```

```

> Accept: /*
>
< HTTP/1.1 200 OK
< Connection: keep-alive
< Server: meinheld/0.6.1
< Date: Wed, 11 Apr 2018 18:15:03 GMT
<
<html>
<body>
<h1>Herman Melville - Moby-Dick</h1>
<p>
    Availing himself of the mild...
</p>
</body>
</html>

```

تشغيل الأمر curl يجعل جهاز العميل يكتب رسالة تبدو بهذا الشكل:

```

GET /html HTTP/1.1
Host: httpbin.org
User-Agent: curl/7.55.1
Accept: /*
{blank_line}

```

تتبع هذه الرسالة شكلاً معيناً: تبدأ بـ `HTTP/1.1` `HTTP/1.1` `GET` إلى صفحة `/html` `.html` والتي تعني أن الرسالة من نوع طلب `GET` إلى الأسطر الثلاثة التي تلي سطر رأس `HTTP`، هي معلومات اختبارية ترسلها `curl` إلى الخادم. رؤوس `HTTP Headers` شكلها كالتالي `{name}: {value}`. أخيراً، الأسطر الفارغ في نهاية الرسالة يخبر الخادم أن الرسالة انتهت بعد ثلاث رسائل. لاحظ أنها أشرنا للسطر الفارغ بـ `{blank_line}` في المثال؛ ولكن في رسالة حقيقة تستبدل `{blank_line}` بسطر فارغ دون أي نص.

إذاً، جهاز العميل يستخدم الإنترنت لإرسال رسالة إلى خادم الويب `https://httpbin.org` بارسال الرد التالي:

```

HTTP/1.1 200 OK
Connection: keep-alive
Server: meinheld/0.6.1
Date: Wed, 11 Apr 2018 18:15:03 GMT
{blank_line}

```

السطر الأول من الرد يشير على أن الطلب تم بنجاح. الأسطر الثلاثة التي تلي سطر `HTTP`، هي معلومات اختبارية يرسلها الخادم إلى العميل. أخيراً السطر الفارغ يخبر جهاز العميل أن الخادم أنهى رسالته الأولية ثم سيقوم بإرسال المحتوى `:Body`:

```

<html>
<body>
<h1>Herman Melville - Moby-Dick</h1>
<p>
    Availing himself of the mild...
</p>
</body>
</html>

```

بروتوكول `HTTP` يستخدم بواسطة أغلب التطبيقات التي تعامل مع الإنترنت. مثلاً، زيارة الموقع <https://httpbin.org/html> عبر متصفح يرسل طلب مشابه لطلب `curl`. بدلاً من إظهار الرد كنص فقط كما شاهدنا مسبقاً، يتعرف المتصفح أن النص عبارة عن ملف `HTML` فيظيره بالشكل المطلوب.

عملياً، لن نكتب طلب `HTTP` كامل كنص. بدلاً من ذلك، سنستخدم أدوات مثل `curl` أو مكتبات في بايثون لبناء الطلب عنا.

## بايثون

مكتبة `Requests` في بايثون تسمح لنا بإنشاء طلب `HTTP`. الكود البرمجي التالي ينشأ طلب `HTTP` مشابه للطلب `-v` `:https://httpbin.org/html`

```

import requests

url = "https://httpbin.org/html"
response = requests.get(url)
response

```

```
<Response [200]>
```

## الطلب

لنلقي نظرة أقرب على الطلب السابق. يمكننا تصفح الطلب الرئيسي باستخدام كائن `response`; سنظهر رأس طلب `HTTP`:

</>

```
request = response.request
for key in request.headers: # رأس HTTP محفوظ في مصفوفه
    print(f'{key}: {request.headers[key]}')
```

```
User-Agent: python-requests/2.12.4  
Accept-Encoding: gzip, deflate  
Accept: */*  
Connection: keep-alive
```

كل طلب عبر HTTP لديه نوع. في الحالة السابقة، استخدمنا طلب GET والذي يجلب بيانات من الخادم.

</>

request.method

‘GET’

الد

لتحقيقه، من الرد الذي حصلنا عليه من الخادم. أولاً، سنطبع رأس HTTP لل رد:

</>

```
for key in response.headers:  
    print(f'{key}: {response.headers[key]}')
```

```
Connection: keep-alive
Server: gunicorn/19.7.1
Date: Wed, 25 Apr 2018 18:32:51 GMT
Content-Type: text/html; charset=utf-8
Content-Length: 3741
Access-Control-Allow-Origin: *
Access-Control-Allow-Credentials: true
X-Powered-By: Flask
X-Processed-Time: 0
Via: 1.1 vegur
```

يحتوي رد HTTP على رمز للحالة، رقم خاص، بينه إذا نجح أو فشأ، الطلب. الرمز 200 يعني، أن الطلب تم بنجاح:

10

response status code

300

أخيراً، سننظر أولاً في محتوى الدليل الكامن، محتواه كله ولا يظهر بشكٍ حيًّا هنا:

</>

response.text[::100]

'<!DOCTYPE html><html><head></head><body><h1>Herman Melville - Moby-Dick</h1><p>

أنواع الطلبات

الطبخ والحياة كان طهراً، GET، هناك عادةً أنواع من طلبات HTTP، أكثر الطلبات أهمية هي

GET /db

طلب GET يستخدم لاستيراد معلومات من الخادم. بما أن المتصفح يقوم بطلب GET كل مرة تدخل فيها رابط لموقع، يعتبر لذلك طلب GET من أكثر المايلز تكراراً في طلبات HTTP.

تستخدم curl طلب GET دائمًا الأمر curl https://www.google.com يقوم بإنشاء طلب GET لـ <https://www.google.com>

طلب POST

الطلب POST يستخدم لإرسال معلومات من العميل إلى الخادم. مثلاً، بعض الموقع تحتوي على حقول تحتاج أن تمלאها، مثل حقول تسجيل الدخول. عند الضغط على زر إدخال، أكثر المتصفحات ستقوم بإنشاء طلب POST لإرسال البيانات الحقول إلى الخادم ليجري العمليات عليها.

لذلك مثلاً على طلب POST يرسل الكلمة `name=sam` في المتغير `name`. يمكن فعل ذلك كالتالي curl -d 'name=sam' https://httpbin.org/post سطير الأوامر.

لاحظ أن طلبنا لديه محتوى الآن (عندما عبّينا المتغير في طلب POST)، ومحظوظ الـ `curl` سيكون مختلف عن محتوى رد GET السابق.

كما في رؤوس HTTP، تستخدم طلبات POST نفس الشكل مفتاح-قيمة key-value. في بايثون، نستخدم requests.post مع تمرير المتغيرات كصفوفات لإنشاء طلبات POST:

<Response 「200」>

الخادم سيرد برمز للحالة لينوه إذا ما كانت عملية طلب POST تمت بنجاح. أيضا، يرسل الخادم عادة محتوى لعرض للعميل:

```
post_response.status_code
```

200

أنواع و معنى الحالة للددود

ردود HTTP السابقة تحتوي على رمز 200 لحالة الرد. هذا الرمز يخبرنا أن الطلب تم بنجاح. هناك الكثير من الرموز الأخرى لحالات الرد لـ HTTP.

- ردود 100: معلوماتية: رد على أنه مطلوب معلومات أكثر من الخادم أو العميل. (مثلاً 100 استمرار، 102 جاري العمل).
  - ردود 200: نجاح: طلب العميل تم بنجاح. (مثلاً 200 نجاح، 202 مقبول).
  - ردود 300: إعادة توجيه: الرابط URL المطلوب موجود بمكان آخر، ربما يحتاج لقرار إضافي من المستخدم. (مثلاً 300 اختيارات، 301 منقول بشكل كامل).
  - ردود 400: خطأ من العميل: خطأ من جهة العميل (مثلاً 400 طلب خاطئ، 403 محظوظ، 404 غير موجود).
  - ردود 500: خطأ من الخادم: خطأ من جهة الخادم أو أن الخادم لا يمكنه من إجراء الطلب (مثلاً 500 خطأ داخلي في الخادم، 503 الخدمة غير متوفرة).

وكان ذلك في الأذن

```
# هذه الصفحة غير موجوده، سنحصل على رمز الخطأ بعدم وجود الصفحة # 404
url = "https://www.youtube.com/404errorwow"
errorResponse = requests.get(url)
print(errorResponse)
```

<Response [404]>

```
# رد الرد لهذه الصفحة 500 خطأ في الخادم  
url = "https://httpstat.us/500"
```

```
serverResponse = requests.get(url)
print(serverResponse)
```

```
<Response [500]>
```

## ملخص

تعرفنا على بروتوكولات HTTP، الطرق البسيطة للتواصل بين البرامج التي تستخدم الويب. على الرغم أن البروتوكول يحدد شكل معين للنصوص، ننتقل عادةً لأدوات أخرى لكتابة طلبات HTTP لنا، مثل أداة سطر الأوامر curl أو مكتبة requests في بايثون.

## التعامل مع النصوص

### مقدمة

الكثير من البيانات التي نواجهها في ملف CSV ليست أرقام بس نصوص موجودة في كتب، ملفات، تدوينات، أو تعليقات في الإنترنت. كما في الكثير من أنواع البيانات، هناك طرق مختلفة للتعامل مع النصوص وقد تحتاج لكتابة أكثر من كتاب لشرحها بشكل تفصيلي. في هذا الفصل، سنشرح جزء بسيط من هذه التقنيات والتي توفر لنا العديد من العمليات المفيدة للعمل مع النصوص: معالجة نصوص بايثون والتعابير النمطية .RegEx

## دواوين النصوص في بايثون

توفر لنا بايثون العديد من الدوال للتعامل مع النصوص. رغم بساطتها، تعد هذه الدوال من الأولويات في التعامل مع النصوص والتي جُمعت مع بعضها البعض لتكون دوال أكثر تعقيداً. سنقوم بشرح دوال بايثون للتعامل مع النصوص حسب كثرة الاستخدام في تنظيف البيانات النصية.

### تنظيف البيانات النصية

تأتي البيانات عادةً من عدة مصادر وكل مصدر لديه طريقه مختلفة لتمييز المعلومات. في المثال التالي، لدينا جدول يحتوي على الولايات الأمريكية والمقاطعات التي تشملها وجدول آخر يحتوي على عدد سكان المقاطعة.

```
state = pd.DataFrame({
    'County': [
        'De Witt County',
        'Lac qui Parle County',
        'Lewis and Clark County',
        'St John the Baptist Parish',
    ],
    'State': [
        'IL',
        'MN',
        'MT',
        'LA',
    ]
})
population = pd.DataFrame({
    'County': [
        'DeWitt',
        'Lac Qui Parle',
        'Lewis & Clark',
        'St. John the Baptist',
    ],
    'Population': [
        '16,798',
        '8,067',
        '55,716',
        '43,044',
    ]
})
```

	County	State
0	De Witt County	IL
1	Lac qui Parle County	MN
2	Lewis and Clark County	MT
3	St John the Baptist Parish	LA

County		Population
0	DeWitt	16,798
1	Lac Qui Parle	8,067
2	Lewis & Clark	55,716
3	St. John the Baptist	43,044

بالطبع نريد جمع جدول state و population معاً باستخدام العمود County. للأسف، لا تتطابق أي من أسماء المقاطعات في الجدولين. هذا المثال يوضح عدد من المشاكل في البيانات النصية وهي كالتالي:

- الكتابية بحروف كبيرة / صغيرة: Qui و Qui
- علامات ترقيم مختلفة: St. و St.
- عدم كتابة بعض الكلمات: مثلاً كلمتي County/Parish لم يتم كتابتها في جدول population.
- إضافة مسافات: .De Witt و DeWitt
- استخدام مختلف لاختصارات: & و and

## دواو النصوص

دواو النصوص في بايثون تساعدنا بالبيه في حل هذه المشاكل. هذه الدوال معرفه في جميع نسخ بايثون لهذا لا نحتاج لإستخدام اي مكتبه أخرى. على الرغم أنه مهم جداً لك شخصياً معرفة [جميع الدوال للتعامل مع النصوص](#)، قمنا بشرح بعض من أكثر الدوال استخداماً في الجدول التالي:

الوصف	الدالة
تقوم الدالة بفصل النص str من x (تشمل الحرف) حتى y (لاتشمل الحرف).	[str[x:y]
تنشئ نسخة من النص str بعد تحويل جميع الحروف فيه إلى حروف صغيرة.	str.lower()
تحويل جميع مرات ظهور النص/الحرف a في str إلى النص/الحرف b.	(str.replace(a, b
تقوم الدالة بفصل النص str عند ظهور النص/الحرف a.	(str.split(a
تحذف الدالة المسافات الفارغه في بداية ونهاية النص	str.strip()

قمنا باختيار النص St. John the Baptist من جدول state و population لتطبيق دوال النصوص بحذف الحروف الكبيرة، علامات الترقيم، والخلص من الكلمتين parish و county :

```
</>
john1 = state.loc[3, 'County']
john2 = population.loc[3, 'County']

(john1
.lower()
.strip()
.replace(' parish', '')
.replace(' county', '')
.replace('&', 'and')
.replace('.', '')
.replace(' ', '')
)
```

'stjohnthebaptist'

تطبيق نفس الدوال على john2 يؤكد لنا أن النصين متطابقان:

```
</>
(john2
.lower()
.strip()
.replace(' parish', '')
.replace(' county', '')
.replace('&', 'and')
.replace('.', '')
.replace(' ', '')
)
```

'stjohnthebaptist'

عند الوصول لنتيجة مُقنعة، تقوم بتعريف دالة باسم clean\_county والتي ستطبق مهام تنظيف المدخلات (المقاطعات):

```
</>
def clean_county(county):
    return (county
        .lower()
        .strip()
        .replace(' county', ''))
```

```
.replace(' parish', '')
.replace('&', 'and')
.replace(' ', '')
.replace('.', '')
```

يمكننا التأكيد أن الدالة clean\_county تقوم بتوحيد جميع أسماء المقاطعات عبر تطبيقها على الجدولين:

```
</>
([clean_county(county) for county in state['County']],
[clean_county(county) for county in population['County']]
)
```

```
(['dewitt', 'lacquiparle', 'lewisandclark', 'stjohnthebaptist'],
['dewitt', 'lacquiparle', 'lewisandclark', 'stjohnthebaptist'])
```

بما أن كلا العامودين الآن يحتويان على نفس اسم المقاطعة وبنفس الشكل، يمكننا جمع الجدولين معاً باستخدام اسم المقاطعة.

## دوال النصوص في بانداز

في الكود البرمجي السابق، استخدمنا التكرار Loop لتغيير أسماء المقاطعات. مصفوفات pandas تقدم طريقة أسهل لتطبيق دوال النصوص لجميع محتوى المصفوفة. أولاً، لنرى أسماء المقاطعات في جدول state:

```
state['County']
```

```
0          De Witt County
1      Lac qui Parle County
2    Lewis and Clark County
3  St John the Baptist Parish
Name: County, dtype: object
```

الدالة str في مصفوفات بانداز تعامل مع النص كما في بايثون. استخدام الدوال على str يطبقها على جميع القيم في المصفوفة:

```
state['County'].str.lower()
```

```
0          de witt county
1      lac qui parle county
2    lewis and clark county
3  st john the baptist parish
Name: County, dtype: object
```

يمكننا ذلك من تحويل جميع النصوص في المصفوفة دون الحاجة لاستخدام التكرار:

```
</>
(state['County']
.str.lower()
.str.strip()
.str.replace(' parish', '')
.str.replace(' county', '')
.str.replace('&', 'and')
.str.replace('.', '')
.str.replace(' ', '')
)
```

```
0          dewitt
1      lacquiparle
2    lewisandclark
3  stjohnthebaptist
Name: County, dtype: object
```

نعيد حفظ نتيجة تغير شكل عمود المقاطعات على نفس العمود:

```
</>
state['County'] = (state['County']
.str.lower())
```

```

.str.strip()
.str.replace(' parish', '')
.str.replace(' county', '')
.str.replace('&', 'and')
.str.replace('.', '')
.str.replace(' ', '')
)

population['County'] = (population['County']
.str.lower()
.str.strip()
.str.replace(' parish', '')
.str.replace(' county', '')
.str.replace('&', 'and')
.str.replace('.', '')
.str.replace(' ', '')
)

```

والآن بما أن كلا الجدولين لديهما نفس التعبير النصي للمقاطعات:

```

state

```

	County	State
0	dewitt	IL
1	lacquiparle	MN
2	lewisandclark	MT
3	stjohnthebaptist	LA

```

population

```

	County	Population
0	dewitt	16,798
1	lacquiparle	8,067
2	lewisandclark	55,716
3	stjohnthebaptist	43,044

من السهل جمع الجدولين عندما يتطابق عمود المناطق:

```

state.merge(population, on='County')

```

	County	State	Population
0	dewitt	IL	16,798
1	lacquiparle	MN	8,067
2	lewisandclark	MT	55,716
3	stjohnthebaptist	LA	43,044

## ملخص دوال النصوص

توفر بايثون دوال سهلة وعملية للتعامل وتعديل النصوص. مصفوفات بانداز توفر نفس الدوال وتسهل تطبيقها على جميع القيم داخل المصفوفة.

يمكنك تصفح شرح كامل عن دوال النصوص في [بايثون هنا](#) ودوال النصوص في [بانداز هنا](#)

## التعابير النمطية RegEx

في هذا الجزء سنتحدث عن التعابير النمطية RegEx، أداة مهمة للتحقق من الأنماط في النصوص.

في النصوص الكبيرة، الكثير من النصوص الفرعية تأتي بعدة أشكال. مثلاً، الجملة في الأسفل تحتوي على رقم هاتف:

```
"give me a call, my number is 123-456-7890."
```

رقم الهاتف يحتوي على الأنماط التالية:

- ثلاثة أرقام.
- متتابعه بخط فاصل.
- متتابعه بثلاث أرقام.
- متتابعه بخط فاصل.
- متتابعه باربع أرقام.

إذا أعطينا نصاً مكتوب، قد نرغب بإيجاد سحب أرقام الهواتف فقط. ربما أيضاً نريد جزء معين من رقم الهاتف، مثلاً، سحب رمز المنطقة (الثلاث أرقام الأولى) قد يصل لنا مكان تواجد صاحب الرقم المذكور في النص.

للتحقق إذا كان النص يحتوي على رقم هاتف، قد نعرف دالة كالتالي:

```
</>
def is_phone_number(string):
    digits = '0123456789'
    def is_not_digit(token):
        return token not in digits
    # ثلاثة أرقام
    for i in range(3):
        if is_not_digit(string[i]):
            return False
    # متتابعه بخط فاصل
    if string[3] != '-':
        return False
    # متتابعه بثلاث أرقام
    for i in range(4, 7):
        if is_not_digit(string[i]):
            return False
    # متتابعه بخط فاصل
    if string[7] != '-':
        return False
    # متتابعه باربع أرقام
    for i in range(8, 12):
        if is_not_digit(string[i]):
            return False
    return True
```

وللتحقق:

```
</>
is_phone_number("382-384-3840")
```

True

```
</>
is_phone_number("phone number")
```

False

ال코드 البرمجي السابق يبدو طويلاً وغير مرغوب فيه. بدلاً من الدوران على كل الحروف في النص، نفضل أن نحدد النمط وأوامر لبايثون تسهل علينا إيجاد الأنماط المطابقة لطلباتنا.

تعتبر النمطية Regular expressions (ويشكل مختصر **RegEx**) تحل هذه المشكلة بجعلنا ننشأ الأنماط للنصوص. باستخدامها، يمكننا إعادة تعريف الدالة السابقة `is_phone_number`:

```
</>
import re
def is_phone_number(string):
    regex = r"[0-9]{3}-[0-9]{3}-[0-9]{4}"
    return re.search(regex, string) is not None
is_phone_number("382-384-3840")
```

True

في المثال السابق، استخدمنا التعبير النمطي `[9-0]{3}-[9-0]{3}[9-0]` لمطابقة أرقام الهواتف. ربما يبدو مبهماً في البداية، ولكن أوامر التعابير النمطية سهلة لتعلمها؛ في هذا الجزء شرحنا كل الأوامر.

سنقوم بالتعرف على المكتبة التي تأتي مع بايثون باسم `re` الخاصة بكتابة وتطبيق عمليات النصوص باستخدام التعابير النمطية.

## كتابة أوامر التعابير النمطية

سنبدأ أولاً بالتعرف على طريقة الكتابة. التعابير النمطية عادةً ما تُحفظ على شكل نصوص خام `Raw String`. تعمل تماماً كما تعمل النصوص في بايثون ولكن دون قوانين خاصة للخطوط المائلة.

الخط المائل \ يستخدم لتجاهل ما بعده escape. مثلاً، إذا أردنا كتابة `It's raining`، نحتاج لإضافة \ قبل ' لأن علامة الإقتباس تستخدم لحفظ النص:

```
print('It\'s raining')
```

It's raining

تستخدم أيضاً \ لإضافة سطر جديد باستخدام \n أو إضافة مسافة باستخدام \t

مثلاً لحفظ النص `hello \ world` في بايثون، نحتاج لكتابته:

```
# الخطوط المائلة في بايثون تحتاج للتوضيح ليتم تجاهلها في نصوص بايثون العادي
some_string = 'hello \\ world'
print(some_string)
```

hello \ world

استخدام النصوص الخامه يحذف شرط إضافة رمز لتجاهل الخطوط المائلة:

لإخبار بايثون أن النص التالي يعتبر نص خام `Raw String`, نقوم بإضافة `r` قبل النص

```
# قبلي بادئه النص `r` لاحظ ال
some_raw_string = r'hello \ world'
print(some_raw_string)
```

hello \ world

بما ان الخطوط المائلة تظهر بشكل كثير في التعابير النمطية، سنستخدم النصوص الخامه لكتابه جميع التعابير النمطية في هذا الجزء.

حرفاً

إيجاد حرف بشكل معين بالتحديد في التعبير النمطي يوجد لنا ذلك الحرف فقط. مثلاً، التعبير "r'a" في `Say! I like green` يوجد لنا أي "a" في `eggs and ham`!. جميع الأرقام والأحرف ورموز الترميم يمكن البحث عنها بشكل خاص في التعابير النمطية:

```
def show_regex_match(text, regex):
    """
    regex: تطبع النص مع تغيير اللون لتحديد نص
    """
    print(re.sub(f'({regex})', r'\033[1;30;43m\1\033[m', text))
```

```
regex = r"green"
show_regex_match("Say! I like green eggs and ham!", regex)
```

```
Say! I like green eggs and ham!
```

```
</>
```

```
show_regex_match("Say! I like green eggs and ham!", r"a")
```

```
Say! I like green eggs and ham!
```

في المثال السابق، شاهدنا أن التعبير النمطية يمكنها إيجاد الأنماط أينما ظهر في النص المدخل. في بايثون، في بايثون هذه الطريقة تختلف ببناءً على الدالة المدخلة لمطابقة التعبير النمطي، بعض الدوال فقط تظهر النتيجة إذا ظهر في بداية النص، والبعض يظهرها إذا ظهرت في أي مكان في النص.

للحظ أيضاً أن الدالة `show_regex_match` تظهر جميع تكرارات النمط في النص المدخل. مرة أخرى، يختلف ذلك حسب دالة بايثون المستخدمة، بعضها يظهر جميع التكرارات والبعض فقط يظهر أول تكرار.

التعابير النمطية تتحسن لحالة وشكل الحرف. في المثال التالي، التعبير يتطابق فقط الحرف الصغير `s` في `eggs`، وليس الحرف الكبير `S` في `Say`.

```
show_regex_match("Say! I like green eggs and ham!", r"s")
```

```
</>
```

```
Say! I like green eggs and ham!
```

## رموز خاصة

بعض الرموز لديها معانٍ خاصة في RegEx. هذه الرموز تساعدننا على إيجاد أنماط مختلفة من النصوص.

الرمز (نقطة) تعني أنه تطابق أي حرف عدى أن يكون ببداية سطر جديد:

```
show_regex_match("Call me at 382-384-3840.", r".all")
```

```
</>
```

```
Call me at 382-384-3840.
```

لتطابق النقطة بشكل خاص يجب علينا تجاهلها كرمز بإضافة \:

```
show_regex_match("Call me at 382-384-3840.", r"\.")
```

```
</>
```

```
Call me at 382-384-3840.
```

باستخدام النقطة يمكننا مطابقة أنواع مختلفة من الأنماط، سنقوم بكتابة تعبير نمطي لمطابقة أرقام الهواتف. مثلاً، يمكننا أخذ الرقم 3840-384-382 وتبديل كل رقم بنقطة ، لتبقى لنا فقط الخطوط الفاصلة. النتيجة كالتالي .....-.....-.....-.....:

```
show_regex_match("Call me at 382-384-3840.", "...-...-...-...")
```

```
</>
```

```
Call me at 382-384-3840.
```

بما أن النقطة تطابق جميع النصوص، النص التالي سيظهر لنا نتيجة خطأ، لأننا نريد إيجاد الأرقام فقط وليس الحروف:

```
show_regex_match("My truck is not-all-blue.", "...-...-...")
```

```
</>
```

```
My truck is not-all-blue.
```

تسمح لنا المجموعات النصية بمطابقة نوع معين من النصوص، يوفر لنا ذلك إمكانية إنشاء قيود أكثر للتطابق بدلاً من النقطة . لمطابقة أي نص.  
لإنشاء مجموعة، قم بإضافة الحروف داخل أقواس [ ]:

```
</>  
show_regex_match("I like your gray shirt.", "gr[ae]y")
```

I like your **gray** shirt.

```
</>  
show_regex_match("I like your grey shirt.", "gr[ae]y")
```

I like your **grey** shirt.

```
</>  
# لا يطابق، المجموعات تطابق حرف واحد فقط من ما تحويها وليس جميعها  
show_regex_match("I like your graey shirt.", "gr[ae]y")
```

I like your **graey** shirt.

```
</>  
# في هذا المثال، كتابة المجموعه مره اخري ستتطابقها  
show_regex_match("I like your graey shirt.", "gr[ae][ae]y")
```

I like your **graey** shirt.

في مجموعات النصوص، الرمز . سيستخدم كحرف وليس كرمز:

```
</>  
show_regex_match("I like your grey shirt.", "irt[.]")
```

I like your **grey** shirt.

توجد بعض الحالات المختصرة الخاصة التي يمكن استخدامها لمطابقة مجموعات النصوص:

الإختصار	المعنى
[0-9]	جميع الأرقام
[a-z]	الأحرف الصغيرة
[A-Z]	الأحرف الكبيرة

```
</>  
show_regex_match("I like your gray shirt.", "y[a-z]y")
```

I like your **gray** shirt.

نُمكننا المجموعات النصية من إنشاء أنماط خاصة بأرقام الهواتف:

```
</>  
# استبدلنا النقطة . في ..... ب [9-0] لتحديد النطء على الأرقام  
phone_regex = r'[9-0][0-9][0-9]-[0-9][0-9]-[0-9][0-9][0-9][0-9]'  
show_regex_match("Call me at 382-384-3840.", phone_regex)
```

Call me at **382-384-3840**.

&lt;/&gt;

```
# والأن لا نطبق هذا النص
show_regex_match("My truck is not-all-blue.", phone_regex)
```

My truck is not-all-blue.

## عكس المجموعات النصية

عكس المجموعات يطابق أي نص غير الموجود في المجموعة. لإنشاء هذا التعبير، نضيف النص داخل الأقواس [ ^ ]:

```
</>
show_regex_match("The car parked in the garage.", r"[^c]ar")
```

The car **parked** in the **garage**.

## الحدود الرقمية

لإنشاء تعبير نمطي لمطابقة أرقام الهواتف، كتبنا التالي:

```
</>
[0-9][0-9][0-9]-[0-9][0-9][0-9]-[0-9][0-9][0-9]
```

هذا النمط يطابق ثلاثة أرقام، متبوعة بخط، ثم ثلاثة أرقام وخط ثم أربعة أرقام أخرى.

الحدود الرقمية تسمح لنا مطابقة التكرار في النمط. نحدد عدد مرات التكرار بوضع الرقم داخل أقواس معقوفة { }:

```
</>
phone_regex = r'[0-9]{3}-[0-9]{3}-[0-9]{4}'
show_regex_match("Call me at 382-384-3840.", phone_regex)
```

Call me at **382-384-3840**.

```
</>
# لا نطبق لأن اول جزء مكون من رقمين
phone_regex = r'[0-9]{3}-[0-9]{3}-[0-9]{4}'
show_regex_match("Call me at 12-384-3840.", phone_regex)
```

Call me at **12-384-3840**.

الحدود تطابق جميع النصوص أو الفئات النصية التي كُتبت قبلها. الجدول التالي يظهر شرح لها:

رمز الحدود الرقمية	المعنى
{m, n}	مطابقة تكرار الحرف من m إلى n مرات.
{m}	مطابقة تكرار الحرف m مرات.
{,m}	مطابقة تكرار الحرف على الأقل m مرات.
{n,}	مطابقة تكرار الحرف بالأكثر n مرات.

اختصارات الحدود الرقمية

الكثير من الحدود الرقمية التي تستخدم كثيراً تم اختصارها:

الرمز	رمز الحدود الرقمية المفصّل	المعنى
{,0}	{0}	مطابقة تكرار الحرف 0 أو أكثر.
{,1}	{1}	مطابقة تكرار الحرف مرة واحدة أو أكثر.
{0,1}		مطابقة تكرار الحرف 0 أو مرة واحدة.

نستخدم الرمز \* بدلاً من {0,} في الأمثلة التالية:

&lt;/&gt;

```
# ثالث مرات a تكرار
show_regex_match('He screamed "Aaaah!" as the cart took a plunge.', "Aa*h!")
```

He screamed "Aaaaah!" as the cart took a plunge.

&lt;/&gt;

```
# مطابقة المزيد من a
show_regex_match(
    'He screamed "aaaaaaaaaaaaah!" as the cart took a plunge.',
    "Aa*h!"
)
```

He screamed "aaaaaaaaaaaaah!" as the cart took a plunge.

&lt;/&gt;

```
# يشكل صغير a عدم وجود
show_regex_match('He screamed "Ah!" as the cart took a plunge.', "Aa*h!")
```

He screamed "Ah!" as the cart took a plunge.

الحدود الكمية جشعة!

توجد لنا دائماً الحدود الكمية أكثر القيم تطابقاً. تظهر بعض المرات نتائج غير متوقعة:

&lt;/&gt;

```
ابضاً and حاولنا ايجاد 311 و 911 ولكن تم ايجاد #
لأن #
# <311> and <911>
# <.+> هي أعلى قيمة ممكنه للنط
show_regex_match("Remember the numbers <311> and <911>", "<.+>")
```

Remember the numbers <311> and <911>

في هذا المثال نلاحظ أن التعبير النمطي لم يتوقف عند أول ظهور ل < .+> بس استمر إلى آخر تكرار، يقصد هنا أن الحدود الكمية تبحث دائماً عن المزيد ولا تتوقف عند تكرار واحد إلا إذا حددنا ذلك

في كثير من الحالات، استخدام مجموعات النصوص يسهل علينا تفادي هذه النتائج الخطأة:

&lt;/&gt;

```
show_regex_match("Remember the numbers <311> and <911>", "<[0-9]+>")
```

Remember the numbers <311> and <911>

تحديد المكان

في بعض الأحيان نريد أن يتطابق النمط إذا كان في بداية أو نهاية النص. الرمز الخاص ^ يجعل التعبير يتطابق النمط عندما يظهر في بداية النص فقط؛ والرمز الآخر الخاص \$ يتطابق النمط إذا ظهر في نهاية النص. مثلاً التعبير النمطي well\$ فقط يتطابق ظهور كلمة well في نهاية النص:

&lt;/&gt;

```
show_regex_match('well, well, well', r"well$")
```

well, well, well

باستخدام كلا الرمزين ^ و \$ يجعل التعبير يتطابق النمط كاملاً:

&lt;/&gt;

```
phone_regex = r"^[0-9]{3}-[0-9]{3}-[0-9]{4}$"
show_regex_match('382-384-3840', phone_regex)
```

382-384-3840

&lt;/&gt;

```
# لا يطابق
# لأنه يبدأ بчис  وليس ثلاثة أرقام
# وينتهي بقطة وليس اربع ارقام
show_regex_match('You can call me at 382-384-3840.', phone_regex)
```

You can call me at 382-384-3840.

### تجاهل الرموز الخاصة

كل الرموز الخاصة لها وظائف معينة في التعبير النمطي. ولمطابقة أحد هذه الرموز، يمكننا تجاهل وظيفتها في التعبير النمطي باستخدام \:

&lt;/&gt;

```
show_regex_match("Call me at [382-384-3840].", "\[")
```

Call me at [382-384-3840].

&lt;/&gt;

```
show_regex_match("Call me at [382-384-3840].", "\.")
```

Call me at [382-384-3840].

### مرجع التعبير النمطي

قمت بالحديث عن أهم النقاط والرموز في التعبير النمطية. ليكون لدينا مرجع كامل، أضفتنا الجدول التالي.

### مرجع الرموز الخاصة

هذا الجدول يحتوي على أهم الرموز الخاصة، والتي تساعدك على تحديد أنماط محددة تريد مطابقتها والبحث عنها في النصوص:

الرمز	الوصف	مثال التعبير النمطي	يطابق	لا يطابق
.	يتطابق أي حرف عدا سطر جديد			ab
[ ]	أي حرف داخل الأقواس	[cb.]ar	car	abcd
[ ^ ]	أي حرف غير ما داخل الأقواس	[^b]ar	car	jar
*	صفر أو أكثر تكرار لما يسبق الرمز	[pb]*ark	bbark	bar
+	واحد أو أكثر تكرار لما يسبق الرمز	[pb]+ark	bbpark	ark
?	صفر أو مرة واحدة تكرار لما يسبق الرمز	s?he	she	the
{n}	مطابقة عدد مرات التكرار n	{hello{3	hellooo	hello
	مطابقة أي نمط بين خيارات	we [ui]s	we	e
\	تجاهل الرموز الخاصة	\[hi\]	[hi]	hi
				s
				is

الرمز	نهاية السطر	بداية السطر	مثال التعبير النمطي	يتطابق	لا يتطابق
^			ark	ark two	dark
\$			ark\$	noahs ark	noahs arks

مرجع الاختصارات

بعض من الفئات المختصرة:

الوصف	الرمز المختصر التعبير النمطي الكامل للفئة
أي حرف صغير/كبير أو رقم	[a-zA-Z0-9]
غير أي حرف صغير/كبير أو رقم	[!^a-zA-Z0-9]
أرقام	[0-9]
غير الأرقام	[!^0-9]
المسافات	[{\t\n\f\r}\p{Z}]
غير المسافات	[{\t\n\f\r}\p{Z}]

### ملخص التعبير النمطية RegEx

في جميع لغات البرمجة توجد مكتبات خاصة لمطابقة الأنماط باستخدام التعبير النمطية، مما يجعلها مهمة مع اختلاف اللغات. في هذا الجزء، تحدثنا عن طريقة كتابة التعبير النمطية واهم الرموز المستخدمة.

## التعابير النمطية في بايثون وبانداز

في هذا الجزء، سنتعرف على استخدام مكتبة `re` التعامل مع التعبير النمطية في بايثون. بما أننا تحدثنا على جزء بسيط من أكثر الدول المستخدمة، يمكنك العودة دائمًا إلى [الصفحة الرئيسية لشرح مكتبة re](#).

### RE.SEARCH

الدالة `re.search(pattern, string)` تطابق جميع الأنماط داخل المتغير `pattern` في النص `string`. يكون نتيجة الدالة أما النص إذا وجد تطابق أو `None` إن لم يجد:

```
</>
phone_re = r"[0-9]{3}-[0-9]{3}-[0-9]{4}"
text = "Call me at 382-384-3840."
match = re.search(phone_re, text)
match
```

```
<_sre.SRE_Match object; span=(11, 23), match='382-384-3840'>
```

على الرغم أن الكائن الذي أنشئ نتيجة لعملية البحث يحتوي على الكثير من الخصائص المفيدة، نحن عادةً نستخدم `re.search` للاختبار والتأكد في حال ظهور النمط في النص:

```
</>
if re.search(phone_re, text):
    print("Found a match!")
```

```
Found a match!
```

```
</>
if re.search(phone_re, 'Hello world'):
    print("No match; this won't print")
```

دالة أخرى كثيرة الاستخدام هي `re.match(pattern, string)` وتعمل بنفس طريقة عمل `re.search` ولكن تقوم بالبحث عن تطابق فقط في بداية النص `string` وليس في أي جزء آخر منه.

### RE.FINDALL

نستخدم الدالة `re.findall(pattern, string)` لإيجاد جميع النتائج التي تطابق النمط. هذه الدالة تنتج لنا مصفوفة تحتوي على جميع المطابقات للنمط الذي يكتب في المتغير `pattern` في النص الذي يكتب في المتغير `string`:

```
</>
gmail_re = r'[a-zA-Z0-9]+@gmail\.com'
text = '''
From: email1@gmail.com
To: email2@yahoo.com and email3@gmail.com
'''
re.findall(gmail_re, text)
```

```
[ 'email1@gmail.com', 'email3@gmail.com' ]
```

## مجموعات RegEx

استخدام مجموعات RegEx يسمح لنا بمطابقة أنماط متعددة واستخراجها منفصلة عن طريق إضافتها داخل أقواس ( ). عندما يحتوي التعبير النمطي على مجموعات، الدالة `re.findall` تنتج لنا مصفوفة Tuple تحتوي على نتيجة النمط منفصلة.

مثلاً، التعبير النمطي التالي يستخرج أرقام الهاتف من النص:

```
</>
phone_re = r"[0-9]{3}-[0-9]{3}-[0-9]{4}"
text = "Sam's number is 382-384-3840 and Mary's is 123-456-7890."
re.findall(phone_re, text)
```

```
[ '382-384-3840', '123-456-7890' ]
```

لنقوم بفصل كل ثلاثة أو أربع أرقام لوحدها من رقم الهاتف، يمكننا جمع كل مجموعة أرقام داخل أقواس:

```
</>
# نفس التعبير السابق مع اضافة اقواس بين كل 3/4 ارقام
phone_re = r"([0-9]{3})-([0-9]{3})-([0-9]{4})"
text = "Sam's number is 382-384-3840 and Mary's is 123-456-7890."
re.findall(phone_re, text)
```

```
[('382', '384', '3840'), ('123', '456', '7890')]
```

كما توقعنا، `re.findall` تنتج لنا مجموعة تحتوي على جميع ما يطابق نمط أرقام الهاتف.

## RE.SUB

الدالة `re.sub(pattern, replacement, string)` تستبدل جميع تكرارات النمط المكتوب في المتغير `pattern` بالنص البديل في المتغير `replacement` في النص الموجود في المتغير `string`. هذه الدالة تعمل كما ت العمل دالة `str.replace` في بايثون ولكن تستخدم التعبير النمطي.

في الكود البرمجي التالي، قمنا بتغيير التواريخ لنحصل على تواريخ مطابقة بواسطة تبديل الفواصل إلى خطوط:

```
</>
messy_dates = '03/12/2018, 03.13.18, 03/14/2018, 03:15:2018'
regex = r'[:.]'
re.sub(regex, '-', messy_dates)
```

```
'03-12-2018, 03-13-18, 03-14-2018, 03-15-2018'
```

## RE.SPLIT

الدالة `re.split(pattern, string)` تقوم بفصل النص المدخل في المتغير `string` في كل مرة يظهر فيها النمط في المتغير `pattern`. تعمل هذه الدالة بنفس طريقة عمل دالة `str.split` لكن تستخدم التعبير النمطي لإتمام عملية الفصل.

في الكود البرمجي التالي، استخدمنا `re.split` لفصل أسماء الفصول من أرقام الصفحات في جدول محتوى الكتاب:

```
</>
```

```

toc = ''
PLAYING PILGRIMS=====3
A MERRY CHRISTMAS=====13
THE LAURENCE BOY=====31
BURDENS=====55
BEING NEIGHBORLY=====76
''' .strip()

# اولاً فصل كل سطر على حده
lines = re.split('\n', toc)
lines

```

```

['PLAYING PILGRIMS=====3',
'A MERRY CHRISTMAS=====13',
'THE LAURENCE BOY=====31',
'BURDENS=====55',
'BEING NEIGHBORLY=====76']

```

```

    ثم الفصل إلى اسم الفصل ورقم الصفحه
split_re = r'=+' # Matches any sequence of = characters
[re.split(split_re, line) for line in lines]

```

```

[[ 'PLAYING PILGRIMS', '3'],
['A MERRY CHRISTMAS', '13'],
['THE LAURENCE BOY', '31'],
['BURDENS', '55'],
['BEING NEIGHBORLY', '76']]

```

## التعابير النمطية و بانداز

تذكر أن مصفوفات بانداز تحتوي على دالة str والتي تدعم دوال التعامل مع النصوص في بايثون. بنفس الطريقة، الدالة str تدعم أيضا بعض الدوال من مكتبة re. سنشرح بعض الاستخدامات البسيطة للتعابير النمطية في بانداز وللمزيد من الدوال في [الصفحة الرئيسية لدوال النصوص في بانداز](#).

قمنا بحفظ نص بسيط من أول خمس جمل من رواية Little Women في DataFrame. باستخدام دوال النصوص في بانداز يمكننا استخراج نصوص الحوارات المنطقية في كل جملة:

```

text = '''
"Christmas won't be Christmas without any presents," grumbled Jo, lying on the rug.
"It's so dreadful to be poor!" sighed Meg, looking down at her old dress.
"I don't think it's fair for some girls to have plenty of pretty things, and other girls nothing at all,"
"We've got Father and Mother, and each other," said Beth contentedly from her corner.
The four young faces on which the firelight shone brightened at the cheerful words, but darkened again as
''' .strip()
little = pd.DataFrame({
    'sentences': text.split('\n')
})

```

```

little

```

sentences	
"Christmas won't be Christmas without any pres...	0
"It's so dreadful to be poor!" sighed Meg, loo...	1
"I don't think it's fair for some girls to hav...	2
"We've got Father and Mother, and each other,"...	3
The four young faces on which the firelight sh...	4

بما أن الحوارات المنطقية تكتب بين علامتي الاقتباس، سنقوم بكتابة تعابير نمطي بحث عن علامتي الاقتباس، ويوجد داخلها أي نص عدا علامتي اقتباس أخرى، ويجب أن ينتهي النص بعلامة اقتباس:

```

quote_re = r'"[^"]+"'
little['sentences'].str.findall(quote_re)

```

```

0  ["Christmas won't be Christmas without any pre...
1      ["It's so dreadful to be poor!"]
2  ["I don't think it's fair for some girls to have..."]
3  ["We've got Father and Mother, and each other,"]
4  ["We haven't got Father, and shall not have him..."]

Name: sentences, dtype: object

```

بما أن الدالة Series.str.findall تجد لنا جميع التطابقات، بانداز توفر لنا دالتي Series.str.extractall و Series.str.extract . هذه الدوال تشرط علينا أن يحتوي التعابير النمطية على الأقل على مجموعه واحدة: DataFrame

```

</>

# ايجاد النصوص بين علامتي اقتباس
quote_re = r'""([^\"]+)"'
spoken = little['sentences'].str.extract(quote_re)
spoken

```

```

0  Christmas won't be Christmas without any prese...
1      It's so dreadful to be poor!
2  I don't think it's fair for some girls to have...
3      We've got Father and Mother, and each other,
4  We haven't got Father, and shall not have him ...

Name: sentences, dtype: object

```

يمكنا إضافة ذلك كعمود في little :

```

</>

little['dialog'] = spoken
little

```

dialog	sentences	
Christmas won't be Christmas without any prese...	"Christmas won't be Christmas without any pres..."	0
It's so dreadful to be poor!	"It's so dreadful to be poor!" sighed Meg, loo...	1
I don't think it's fair for some girls to have...	"I don't think it's fair for some girls to hav...	2
We've got Father and Mother, and each other,	"We've got Father and Mother, and each other,"...	3
We haven't got Father, and shall not have him ...	The four young faces on which the firelight sh...	4

يمكنا أن نؤكّد أن تلاغينا بالنصوص باستخدام التعابير النمطية يعمل بالشكل الذي نرغب به في آخر جمله في ال DataFrame عن طريق طباعة النص الأصلي والنتيجة بعد المطابقة:

```

</>

print(little.loc[4, 'sentences'])

```

The four young faces on which the firelight shone brightened at the cheerful words, but darkened again as

```

</>

print(little.loc[4, 'dialog'])

```

We haven't got Father, and shall not have him for a long time.

### ملخص التعابير النمطية في بايثون وبانداز

مكتبة re في بايثون توفر لنا الكثير من الدوال المفيدة للتلاعب بالنصوص باستخدام التعابير النمطية. عند العمل على DataFrame، نستخدم الدالة المماثلة للتلاعب بالنصوص باستخدام التعابير النمطية فيه بانداز.

عرض كامل شرح مكتبة re، [اضغط هنا](#).

عرض كامل شرح دوال النصوص في بانداز، [اضغط هنا](#).

حتى الآن، قمنا بالتعامل مع بيانات محفوظة في ملفات نصية على الكمبيوتر. على الرغم من سهولة التعامل مع البيانات ذات الحجم الصغير في التحليل، إلا أن استخدام الملفات النصية يظهر لنا بعض التحديات في حالات كثيرة عندما نعمل على بيانات حقيقية.

الكثير من البيانات يتم جمعها من قبل أشخاص مختلفين، فريق من علماء البيانات مثلاً. إذا تم حفظ البيانات في ملفات نصية، ستحتاج الفريق لتحميل وإرسال البيانات في كل مرة يتم التعديل عليها. الملفات النصية وحدها لا توفر طريقة مناسبة لاستعادتها ومشاركتها ليتم استخدامها بين عدد مختلف من المحللين. هذه المشكلة، إضافة إلى مشاكل أخرى، تجعل التعامل مع الملفات النصية كبيرة الحجم صعباً خاصه بين فريق من المحللين.

عادةً ما ننتقل لأنظمة قواعد البيانات العلاقية (RDBMS) لحفظ البيانات، مثلاً MySQL أو PostgreSQL. للعمل على هذه الأنظمة، نستخدم لغة الاستعلام SQL بدلاً من بايثون. في هذا الفصل، سنتحدث عن قواعد البيانات العلاقية ونتعرف على SQL.

## النموذج العلائقية

قاعدة البيانات هي مجموعة مُرتبة من البيانات. في السابق، كانت البيانات محفوظة ومصممه بشكل معين لتفي بفرض ما. مثلاً، شركة طيران قد تقوم بحفظ معلومات رحلة بطريقه مختلفة عن حفظ بنك المعلومات حساب. في عام 1969، قام تيد كود Ted Codd بتعريف النموذج العلائقى كطريقه عامة لحفظ البيانات. البيانات محفوظه في جداول ثنائية الأبعاد تسمى علاقات Relations، تحتوي على ملاحظات معينة في كل صف (عادة ما تعرف بمصفوفات Tuples). كل مصفوفة تحتوي على بعض السمات Attributes والتي تصف العلاقات بين الجداول. كل سمه عن علاقة لديها اسم ونوع.

لتأخذ جدول العلاقات التالي purchases:

date purchased	retailer	product	name
Jun-16-03	Best Buy	iPod	Samantha
Jul-16-08	Amazon	Chromebook	Timothy
Oct-16-02	Target	Surface Pro	Jason

في purchases، كل صف يصف علاقة بين السمات name، product، retailer و date purchased. كل عمود يحتوي على نص.

مخطط العلاقات Relation schema تحتوي على أسماء الأعمدة، أنواع البيانات وقيودها. مثلاً، مخطط جدول purchases يحدد أن هناك الأعمدة date purchased، name، product و retailer.

جدول العلاقات التالي prices يوضح السعر الحالي لمنتجات في أسواق مختلفة:

price	product	retailer
719.00	Galaxy S9	Best Buy
200.00	iPod	Best Buy
450.00	iPad	Amazon
24.87	Battery pack	Amazon
249.99	Chromebook	Amazon
215.00	iPod	Target
799.00	Surface Pro	Target
659.00	Google Pixel 2	Target
238.79	Chromebook	Walmart

الآن يمكننا العودة لكلا الجداولين لتحديد كم دفع كل من Jason، Samantha، Timothy، و Samantha لمنتجاتهم (نفترض بقاء الأسعار كما هي في جميع الأسواق والأوقات). معاً، كل الجداولين يكونا قاعدة بيانات علاقية، والتي هي عبارة عن جداول بينها أكثر من علاقة. المخطط لكامل قاعدة البيانات هو مصفوفة تحتوي على جميع مخططات العلاقات في قاعدة البيانات.

## أنظمة قواعد البيانات العلاقية

يمكننا وصف قواعد البيانات العلاقية بأنها مجموعة من الجداول تحتوي على صفات لمدخلات. نظام قاعدة بيانات علاقية (RDBMS) يوفرواجهه للمستخدم لتلك القواعد. PostgreSQL و Oracle، MySQL هي ثلاث من أكثر قواعد البيانات العلاقية إستخداماً.

توفر هذه الأنظمة المستخدم إمكانية إضافة، تعديل، وحذف البيانات منها. إضافة لعدد من المميزات تميزها عن استخدام الملفات النصية لحفظ البيانات، وهي:

- ضمانية حفظ البيانات: تحمي هذه الأنظمة البيانات من مشاكل الأنظمة المختلفة.
- الأداء: تحفظ البيانات بشكل أكثر كفاءة من الملفات النصية ولديها خوارزميات صُممت بشكل متقن للاستعلام عن البيانات.
- إدارة البيانات: توفر أدوات للتحكم بالوصول للبيانات، للحماية من المستخدمين غير المصرح لهم بالوصول للبيانات الحساسة.
- تناسق البيانات: يمكن لهذه الأنظمة فرض قيود على المحتوى المدخل، مثلاً، العمود GPA يجب أن يحتوي فقط على رقم عشري من 0.0 حتى 0.4.

للتعامل مع البيانات المحفوظة فيه قواعد RDBMS نستخدم SQL.

ما الفرق بين RDBMS وبين داز أولًا، بانداز لا تعتبر وسيلة لحفظ البيانات. على الرغم أن الـ DataFrames في بانداز يمكنها الكتابة والقراءة من عدة أشكال للبيانات، لا يمكن لبنداز تحكم بطريقة حفظ البيانات في الكمبيوتر كما في RDBMS. ثانيةً، بانداز توفر بشكل أساسى أدوات للتعامل مع البيانات، بينما RDBMS توفر طرق حفظ والتعامل مع البيانات معاً، مما يجعلها خياراً أفضل للبيانات ذات الحجم الكبير. من القواعد العامة هي أن نستخدم RDBMS عندما تكون حجم البيانات لدينا أكثر من عدة قيقاً بايت. أخيراً، للتعامل مع بانداز تحتاج لمعرفة ببايثون، بينما في RDBMS SQL. وبما أن SQL أسهل بكثير للتعلم من ببايثون، مما يجعل RDBMS سهلاً للتعامل من قبل المستخدمين غير التقنيين.

## SQL

لغة الاستعلام الهيكلية (SQL) هي لغة برمجه لديها عمليات لتحديد، ترتيب، تعديل وإجراء العمليات الحسابية على بيانات محفوظه في أنظمة قواعد البيانات العلاقية (RDBMS).

تعتبر SQL لغة برمجه تعريفية. يعني ذلك أن المستخدم يجب أن يحدد أي نوع من البيانات يحتاج *what*, وليس كيف يحصل عليه *how*. للتوضيح:

- **Declarative** تعريفه: قم بعملية حساب للأعمدة *x* و *y* من الجدول A عندما تكون القيمة في العمود *y* أكبر من 100.00.
- **Imperative** أمرية: لكل قيمة في الجدول A،تحقق أن كانت القيمة للمتغير *y* أكبر من 100. إذا كانت كذلك، احفظ سمات الأعمدة *x* و *y* في جدول جديد. وأظهر لنا الجدول الجديد.

في هذا الفصل، سنكتب استعلامات SQL كنصوص في ببايثون، ثم نستخدم بانداز لتنفيذ هذه أوامر الاستعلام وقراءة النتائج ك DataFrame في بانداز أثناء شرحتنا للأوامر في SQL، سنظهر طريقة كتابتها في بانداز للمقارنة بينهما.

### تنفيذ أوامر الاستعلام في بانداز

لتنفيذ أوامر SQL في ببايثون، سنقوم بالتواصل مع قاعدة البيانات باستخدام مكتبة `sqlalchemy`. يمكننا لاحقاً استخدام الدالة `pd.read_sql` لتنفيذ أوامر SQL.

لتحميل قاعدة البيانات `sql_basics.db` اضغط هنا.

```
import sqlalchemy
# pd.read_sql engine يقبل متغير sqlite_uri = "sqlite:///sql_basics.db"
sqlite_engine = sqlalchemy.create_engine(sqlite_uri)
```

تحتوي قاعدة البيانات على جدول علاقات واحد: `prices`. لإظهاره نستخدم أمر استعلام في SQL باستخدام الدالة `read_sql` على قاعدة البيانات `:DataFrame`، ثم تأتينا النتيجة ك DataFrame RDBMS.

```
sql_expr = """
SELECT *
FROM prices
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

	retailer	product	price
0	Best Buy	Galaxy S9	719
1	Best Buy	iPod	200
2	Amazon	iPad	450
3	Amazon	Battery pack	24.87
4	Amazon	Chromebook	249.99
5	Target	iPod	215
6	Target	Surface Pro	799
7	Target	Google Pixel 2	659
8	Walmart	Chromebook	238.79

لاحقاً في هذا الفصل، سنقارن بين استعلامات SQL و دوال بانداز لذا قمنا بكتابه DataFrame تحتوي على نفس المحتوى السابق وحفظناها في المتغير `:prices`

```
import pandas as pd
prices = pd.DataFrame([['Best Buy', 'Galaxy S9', 719.00],
                      ['Best Buy', 'iPod', 200.00],
                      ['Amazon', 'iPad', 450.00],
                      ['Amazon', 'Battery pack', 24.87],
                      ['Amazon', 'Chromebook', 249.99],
                      ['Target', 'iPod', 215.00],
```

```

[ target , 199.00 , 215.00 ],
['Target' , 'Surface Pro' , 799.00],
['Target' , 'Google Pixel 2' , 659.00],
['Walmart' , 'Chromebook' , 238.79]],
columns=['retailer' , 'product' , 'price'])

```

	retailer	product	price
0	Best Buy	Galaxy S9	719
1	Best Buy	iPod	200
2	Amazon	iPad	450
3	Amazon	Battery pack	24.87
4	Amazon	Chromebook	249.99
5	Target	iPod	215
6	Target	Surface Pro	799
7	Target	Google Pixel 2	659
8	Walmart	Chromebook	238.79

## طريقة كتابة أوامر SQL

جميع أوامر الاستعلام في SQL تكون بهذا الشكل:

```

SELECT [DISTINCT] <column expression list>
FROM <relation>
[WHERE <predicate>]
[GROUP BY <column list>]
[HAVING <predicate>]
[ORDER BY <column list>]
[LIMIT <number>]

```

لاحظ أن:

- جميع ما في [داخل الأقواس] هي أوامر اختيارية. ليكون أمر الاستعلام صحيح يجب أن يحتوي على SELECT و FROM.
- في العادة تكتب أوامر الاستعلام في SQL بأحرف إنجليزية كبيرة، على الرغم أن تكبير الأحرف ليس مطلوب، لكن يعتبر من الطرق المتبعة الصحيحة لكتابة الأوامر، لتسهيل على المستخدمين الآخرين قراءة استعلاماتك.
- في الأمر FROM يمكننا الاستعلام عن أكثر من جدول، ولكن في هذا الفصل سنتدريب على استخدام جدول واحد لجعل الأمر سهلاً على المتعلم.

## FROM و SELECT

الأمران الإلزاميان في استعلامات SQL هي:

- SELECT وتعني الأعمدة التي نريد إظهارها.
- FROM ويقصد بها الجداول التي تأخذ منها الأعمدة.

عرض جميع محتوى جدول prices، نطبق الأمر:

```

sql_expr = """
SELECT *
FROM prices
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)

```

	retailer	product	price
0	Best Buy	Galaxy S9	719
1	Best Buy	iPod	200
2	Amazon	iPad	450
3	Amazon	Battery pack	24.87
4	Amazon	Chromebook	249.99
5	Target	iPod	215
6	Target	Surface Pro	799
7	Target	Google Pixel 2	659
8	Walmart	Chromebook	238.79

الاستعلام SELECT \* يجلب لنا جميع الأعمدة. لعرض فقط عمود retailer، نقوم بإضافتها كالتالي:

&lt;/&gt;

```
sql_expr = """
SELECT retailer
FROM prices
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

retailer	
0	Best Buy
1	Best Buy
2	Amazon
3	Amazon
4	Amazon
5	Target
6	Target
7	Target
8	Walmart

إذا أردنا عرض القيم في الجدول دون تكرار، نقوم بإضافة :DISTINCT

&lt;/&gt;

```
sql_expr = """
SELECT DISTINCT(retailer)
FROM prices
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

retailer	
0	Best Buy
1	Amazon
2	Target
3	Walmart

طريقة كتابة هذا الاستعلام في بانداز تكون كالتالي:

&lt;/&gt;

```
prices['retailer'].unique()
```

```
array(['Best Buy', 'Amazon', 'Target', 'Walmart'], dtype=object)
```

كل نظام قواعد بيانات يأتي بدولة خاصة التي يمكن تطبيقها، مثلً دوال مقارنة، العمليات الحسابية، دوال النصوص. في هذه المادة نستخدم PostgreSQL، نظام قواعد بيانات علاقي ويأتي معه بالكثير من الدوال. يمكن تصفح كامل الدوال [هنا](#). تذكر دائمًا أن كل نظام لديه دولة الخاصة.

الاستعلام التالي يحول كل أسماء الأسواق إلى حروف كبيرة، ويقوم بقسمة سعر الشراء على 2:

&lt;/&gt;

```
sql_expr = """
SELECT
    UPPER(retailer) AS retailer_caps,
    product,
    price / 2 AS half_price
FROM prices
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

	retailer_caps	product	half_price
0	BEST BUY	Galaxy S9	359.5
1	BEST BUY	iPod	100
2	AMAZON	iPad	225
3	AMAZON	Battery pack	12.435
4	AMAZON	Chromebook	124.995
5	TARGET	iPod	107.5
6	TARGET	Surface Pro	399.5

	retailer_caps	product	half_price
7	TARGET	Google Pixel 2	329.5
8	WALMART	Chromebook	119.395

لاحظ أن بإمكاننا استخدام مسميات مستعارة للجدول **Alias** باستخدام AS لكي يظهر العمود بمسماً جديداً، لكن هذا لا يغير شيء باسم العمود الأصلي

## WHERE

يمكننا من تحديد شروط معينة للبيانات. مثلاً، إذا أردنا إيجاد فقط المنتجات أقل من \$500:

```
</>
sql_expr = """
SELECT *
FROM prices
WHERE price < 500
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

	retailer	product	price
0	Best Buy	iPod	200
1	Amazon	iPad	450
2	Amazon	Battery pack	24.87
3	Amazon	Chromebook	249.99
4	Target	iPod	215
5	Walmart	Chromebook	238.79

يمكننا أيضاً استخدام AND و NOT لتحديد استعلامنا بشكل أدق. مثلاً، للبحث عن منتجات Amazon والتي لا تحتوي على Battery pack وسعرها أقل من \$300، نكتب الاستعلام التالي:

```
</>
sql_expr = """
SELECT *
FROM prices
WHERE retailer = 'Amazon'
    AND NOT product = 'Battery pack'
    AND price < 300
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

	retailer	product	price
0	Amazon	Chromebook	249.99

ولكتابة نفس الأمر في بانداز:

```
</>
prices[(prices['retailer'] == 'Amazon')
    & ~(prices['product'] == 'Battery pack')
    & (prices['price'] <= 300)]
```

	retailer	product	price
4	Amazon	Chromebook	249.99

نلاحظ هناك وجود فرق يجب التنبيه عنه، الرقم التسلسلي للمنتج Chromebook في استعلام SQL كان 0، ولكن في استعلام بانداز 4. هذا لأن استعلامات SQL تقوم دائماً بعرض البيانات في جدول جديد وبأرقام تسلسليه جديدة تبدأ من 0، ولكن في بانداز تقوم بعرض جزء من الـ DataFrame مع استخدام نفس أرقام التسلسل. يمكننا استخدام الدالة [pd.DataFrame.reset\\_index](#) لإعادة تعين الأرقام التسلسليه في بانداز DataFrame

## دوال الجمع

حتى الآن، تعاملنا مع بيانات موجودة في الجداول، يعني ذلك، كل النتائج التي ظهرت سابقاً هي أجزاء من المدخلات في الجداول. ولكن لتطبيق تحليل للبيانات، نحتاج للقيام ببعض عمليات التجميع على بياناتنا. في SQL، يطلق عليها دوال التجميع .Aggregate Functions

لنوجد قيمة متوسط أسعار جميع المنتجات في جدول `prices`:

```
</>
sql_expr = """
SELECT AVG(price) AS avg_price
FROM prices
```

```
"""  
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

avg_price	
0	395.0722222222222

وفي بانداز نكتبيها:

```
prices['price'].mean()
```

```
395.0722222222222
```

قائمة كاملة بجميع دوال التجميع في PostgreSQL [هنا](#). على الرقم من أذنا نستخدمها كأداة أساسية للتعامل مع SQL في هذه المادة، تذكر أن هناك أنواع مختلفة من SQL مثل MySQL، SQLite و غيرها التي تستخدم أسماء مختلفة للدواال وبعض الأحيان تحتوي على دوال مختلفة.

## HAVING و GROUP BY

باستخدام دوال التجميع، يمكننا القيام باستعلامات مُعقدة. لاستخدام دوال تجميع سهلة التعامل، يمكننا تجربة التالية:

- تستقبل أسماء أعمدة وتقوم بجمعها كما في دالة `pd.DataFrame.groupby` في بانداز.
- تعمل بشكل مشابه لـ `WHERE` ، ولكن تستخدم فقط على البيانات الناتجة من الدوال المجموعه. (ملاحظة: لاستخدام HAVING يجب أن تكون مسبوقة بـ `GROUP BY`)

\*ملاحظة مهمة: \* عند استخدام `GROUP BY`، يجب أن تكون جميع الأعمدة في `SELECT` موجودة في `BY` أو تكون دالة تجميع مطبقة عليها.

يمكننا استخدام الاستعلام التالي لإيجاد أعلى سعر لكل متجر:

```
sql_expr = """  
SELECT retailer, MAX(price) as max_price  
FROM prices  
GROUP BY retailer  
"""  
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

retailer	max_price
0	Amazon
1	Best Buy
2	Target
3	Walmart

لنقل أن لدينا عميل ذو ذوق عالي ويريد فقط تلك المتاجر التي تتبع منتجات بسعر أعلى من \$700. لاحظ أن يجب علينا استخدام `HAVING` لإيجاد النتيجة من عمود تم تجميعه؛ لا يمكننا استخدام `WHERE` لفلترة نتائج عمود مُجمّع. لإيجاد قائمة بالمتاجر التي تتبع المنتجات المفضلة لعميلنا نقوم وبالتالي:

```
sql_expr = """  
SELECT retailer, MAX(price) as max_price  
FROM prices  
GROUP BY retailer  
HAVING max_price > 700  
"""  
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

retailer	max_price
0	Best Buy
1	Target

وللمقارنة مع بايثون:

```
max_prices = prices.groupby('retailer').max()  
max_prices.loc[max_prices['price'] > 700, ['price']]
```

price	
retailer	

price	
Best Buy	719
Target	799

#### LIMIT و ORDER BY

نُمكنا الأوامر التالية من التحكم بكيفية عرض البيانات:

- ORDER BY تساعدنا على عرض البيانات بشكل مُرتّب بناءً على القيم داخل العمود بشكل تلقائي، ORDER BY ASC تستخدم الترتيب التصاعدي ASC ولكن يمكننا عكسها وعرض البيانات بشكل تنازلي باستخدام DESC.
- LIMIT تسمح لنا بتحديد كم من البيانات نعرض.

لنقم بعرض أقل المنتجات سعراً في جدول prices:

```
</>
sql_expr = """
SELECT *
FROM prices
ORDER BY price ASC
LIMIT 3
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

	retailer	product	price
0	Amazon	Battery pack	24.87
1	Best Buy	iPod	200
2	Target	iPod	215

لاحظ أننا لم نحتاج لإضافة ASC لأن ORDER BY تجلب لنا البيانات بترتيب تصاعدي بشكل تلقائي. للمقارنة مع بانداز:

```
</>
prices.sort_values('price').head(3)
```

	retailer	product	price
3	Amazon	Battery pack	24.87
1	Best Buy	iPod	200
5	Target	iPod	215

مرة أخرى، نلاحظ أن الأرقام التسلسليه غير مرتبه في بانداز. كما في السابق، بانداز تقوم بعرض DataFrame كما هي، عل عكس SQL التي تنشأ جدول جديد عند كل استعلام.

#### ترتيب الأوامر في SQL

تطبق الأوامر في SQL بشكل مُرتّب. للأسف، أن الترتيب مختلف عن ما يظهر في كتابة الاستعلام. ترتيب الأوامر كالتالي:

- FROM: جدول أو أكثر من جدول.
- WHERE: تطبيق شروط على الأسطر.
- GROUP BY: التجميع.
- HAVING: تطبيق الشروط على التجميع.
- SELECT: اختيار الأعمدة

ملاحظة في WHERE و HAVING: بما أن WHERE تُطبق قبل GROUP BY، فإن WHERE لا تقيينا عندما نقوم بالتجميع. لذا، للتعامل مع بيانات مجتمعه نستخدم HAVING.

#### ملخص SQL

في هذا الجزء قمنا بشرح طريقة كتابة استعلامات SQL وأهم الأوامر لإجراء تحليل للبيانات باستخدام أنظمة قواعد البيانات العائشة.

#### الربط في SQL

في بانداز يمكننا استخدام الدالة pd.merge لجمع جدولين معاً يحتويان على قيم متشابهه في أحد الأعمدة. مثلاً:

```
</>
pd.merge(table1, table2, on='common_column')
```

في هذا الجزء، سنتعلم الجمع فيه SQL والذي يفيدنا في جمع أكثر من جدول في قواعد البيانات العلاقة.

لنفرض مثلاً أننا متجر لمنتجات القطط ولدينا قاعدة بيانات بالقطط التي في متجرنا. لدينا جداولين مختلفين: names و colors. جدول names يحتوي على الأعمدة:

- رقم مميز لكل قط: cat\_id
- اسم القط: name

جدول colors يحتوي على الأعمدة:

- رقم مميز لكل قط: cat\_id
- لون كل قط: color

لاحظ وجود قيمة مفقودة في كل جدول. القيمة 3 في العمود cat\_id مفقودة من جدول names، والقيمة 4 من عمود color مفقودة في جدول colors

Colors Table		Names Table	
color	cat_id	name	cat_id
orange	0	Apricot	0
black	1	Boots	1
calico	2	Cally	2
white	3	Eugene	4

لإيجاد لون القط ذو الاسم Apricot، يجب علينا استخدام معلومه من جدولين. يمكننا ربط الجدولين باستخدام العمود cat\_id، ويكون لدينا جدول جديد يحتوي على name و color.

## الربط

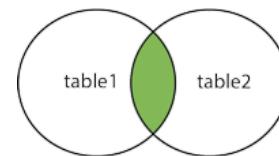
الربط بين عدة جداول باستخدام قيم في أعمدتها.

يوجد أربع أنواع من الربط: الربط الداخلي Inner Join، الربط الخارجي Outer Join أو الكامل Full Join، الربط اليميني Right Join والربط اليساري Left Join. بالرغم بأن جميعها تربط بين الجداول وتقوم بجمعها، إلا أن كل نوع يعامل القيم بطريقة مختلفة.

### Inner Join

تعريف: في الربط الداخلي، الجدول النهائي يحتوي على القيم المتشابهة في الجدولين المربيوطين معاً.

#### INNER JOIN



مثال: نريد الربط بين جدول colors و names لجمع كل قطه مع لونها. بما أن كلا الجدولين يحتويان على العمود cat\_id وهو رقم مميز لكل قط، يمكننا استخدام الربط الداخلي باستخدام العمود cat\_id عليهما:

SQL: لكتابة الربط الداخلي في SQL، نقوم بتعديل FROM بإضافة JOIN INNER على:

```
SELECT ...
FROM <TABLE_1>
INNER JOIN <TABLE_2>
ON <...>
```

</>

مثال:

```
SELECT *
FROM names AS N
INNER JOIN colors AS C
ON N.cat_id = C.cat_id;
```

</>

	cat_id	name	cat_id	color
0	0	Apricot	0	orange
1	1	Boots	1	black
2	2	Cally	2	calico

يمكنك التتحقق من أن كل اسم قطه حصل على لونها الصحيح. لاحظ، القطة صاحبة cat\_id رقم 3 و 4 لم يتم جمعها في الجدول النهائي لأن جدول colors لا يحتوي على سطر بقيمة cat\_id تساوي 4 و جدول names لا يحتوي على سطر cat\_id بقيمة 3. في الدمج الداخلي، إذا لم يكون هناك قيم متشابهة في كلا الجدولين، لن يتم ضم القيمة في النتيجة النهائية.

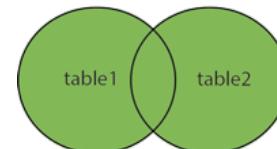
لنفترض أن لدينا DataFrame يُسمى names وأخرى يُسمى colors، يمكننا كتابة الدمج الداخلي في باندراز بالطريقة التالية:

```
</>
pd.merge(names, colors, how='inner', on='cat_id')
```

## Full/Outer Join

تعريف: في الرابط الكامل/الخارجي، كل القيم في كلا الجدولين يتم إضافتها في الجدول النهائي. إذا كانت القيمة موجودة في جدول دون الآخر، فيتم تعويضها ب NULL.

### FULL OUTER JOIN



مثال: كما في السابق، نريد الرابط بين الجدول names و colors لإعطاء كل قطه لونها. هذه المرة، نريد إظهار جميع القيم في الجداول حتى لو لا يوجد لها قيم مُطابقة.

لكتابة الرابط الكامل/الخارجي في SQL، نقوم بتعديل FROM بإضافة FULL JOIN عليها:

```
</>
SELECT ...
FROM <TABLE_1>
  FULL JOIN <TABLE_2>
    ON <...>
```

مثال:

```
</>
SELECT name, color
FROM names N
  FULL JOIN colors C
    ON N.cat_id = C.cat_id;
```

cat_id	name	color
0	Apricot	orange
1	Boots	black
2	Cally	calico
3	NULL	white
4	Eugene	NULL

لاحظ في النتيجة النهائية ظهور القيم 3 و 4 في عمود cat\_id. إذا كانت أحد القيم تظهر في جدول دون الآخر، فيتم إضافتها للجدول النهائي مع القيمة NULL بدلاً من القيمة المفقودة.

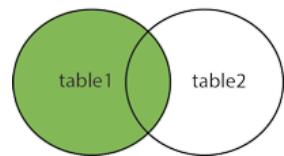
في باندراز نكتبه كال التالي:

```
</>
pd.merge(names, colors, how='outer', on='cat_id')
```

## Left Join

تعريف: جميع القيم في الجدول على اليسار يتم ربطها في الجدول النهائي. إذا كانت قيمة في الجدول اليساري لا توجد لها مطابق على الجدول الآخر، يتم تعويض قيمتها المفقودة ب NULL.

## LEFT JOIN



مثال: نربط الجدولان names و colors لإظهار ألوان القطط. هنا، نريد إظهار جميع أسماء القطط حتى لو لم يكن لها لون في الجدول colors.

**SQL:** لكتابة الربط اليساري في SQL، نقوم بتعديل FROM بإضافة LEFT JOIN عليها:

```
</>
SELECT ...
FROM <TABLE_1>
LEFT JOIN <TABLE_2>
ON <...>
```

مثال:

```
</>
SELECT name, color
FROM names N
LEFT JOIN colors C
ON N.cat_id = C.cat_id;
```

cat_id	name	color
0	Apricot	orange
1	Boots	black
2	Cally	calico
4	Eugene	NULL

لاحظ أن الجدول النهائي يحتوي على جميع أسماء القطط. ثلاثة من القيم cat\_id في جدول names تحتوي على قيم بنفس الـ cat\_id في جدول colors وواحدة لا تحتوي على قيمة مطابقة (Eugene). القط الذي لا يوجد له لون تم تعويض قيمته بـ NULL.

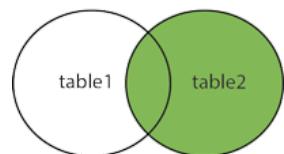
في بانداز نكتب الاستعلام كالتالي:

```
</>
pd.merge(names, colors, how='left', on='cat_id')
```

## Right Join

**تعريف:** جميع القيم في الجدول على اليمين يتم ربطها في الجدول النهائي. إذا كانت قيمه في الجدول اليميني لا توجد لها مطابق على الجدول الآخر، يتم تعويض قيمتها المفقودة بـ NULL.

## RIGHT JOIN



مثال: الجدولان names و colors، نريد ربطها كل قط بلونه. لكن، نريد إظهار جميع ألوان القطط حتى لو لم يكن لها أسماء.

**SQL:** لكتابة الربط اليميني في SQL، نقوم بتعديل FROM بإضافة RIGHT JOIN عليها:

```
</>
SELECT ...
FROM <TABLE_1>
RIGHT JOIN <TABLE_2>
ON <...>
```

مثال:

```
</>
ELECT name, color
FROM names N
```

```
RIGHT JOIN colors C  
ON N.cat_id = C.cat_id;
```

cat_id	name	color
0	Apricot	orange
1	Boots	black
2	Cally	calico
3	NULL	white

هذه المرة، الجدول النهائي يظهر جميع الألوان. ثلاثة من القيم في العمود colors cat\_id بجدول names لديها مطابق في عمود cat\_id بجدول colors. اللون الذي لم يجد له اسم مطابق سيعرض بالقيمة NULL.

في بانداز:

```
</>  
pd.merge(names, colors, how='right', on='cat_id')
```

### Implicit Inner Join

عادةً توجد أكثر من طريقة لإيجاد نتيجة معينة في SQL تماماً كما في بايثون يوجد أكثر من طريقة لحل مشاكل. سنوضح طريقة أخرى لكتابة استعلامات *Inner Join* تسمى *Implicit Join*:

كتبنا سابقاً الرابط الداخلي التالي:

```
</>  
SELECT *  
FROM names AS N  
INNER JOIN colors AS C  
ON N.cat_id = C.cat_id;
```

الطريقة الأخرى *Implicit Join* لكتابة هذا الأمر يكون شكلها مختلف ودون JOIN INNER. لاحظ أن FORM يستخدم فيها الفواصل بين جدولين والشرط يحدد شروط الرابط:

```
</>  
SELECT *  
FROM names AS N, colors AS C  
WHERE N.cat_id = C.cat_id;
```

عند استخدام أكثر من جدول في FORM، تقوم SQL بإنشاء جدول يحتوي على كل سطر بكل الجدولين، مثلاً:

```
</>  
sql_expr = """  
SELECT *  
FROM names N, colors C  
"""  
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

cat_id	name	cat_id	color
0	Apricot	0	orange
1	Apricot	1	black
2	Apricot	2	calico
3	Apricot	3	white
4	Boots	0	orange
5	Boots	1	black
6	Boots	2	calico
7	Boots	3	white
8	Cally	0	orange
9	Cally	1	black
10	Cally	2	calico
11	Cally	3	white
12	Eugene	0	orange
13	Eugene	1	black
14	Eugene	2	calico

cat_id	name	cat_id	color
15	4	Eugene	3

يطلق على هذه العملية **بالضرب الديكارتي**، *Cartesian product*، كل سطر في الجدول الأول يربط بكل سطر في الجدول الثاني. لاحظ أن الكثير من الأسطر تحتوي على ألوان قطط لا تتطابق مع أسمائها. الشرط الإضافي في WHERE يطبق الرابط ويفلتر القيم التي لا تتطابق في عمود `:cat_id`:

```
</>
SELECT *
FROM names AS N, colors AS C
WHERE N.cat_id = C.cat_id;
```

cat_id	name	cat_id	color
0	Apricot	0	orange
1	Boots	1	black
2	Cally	2	calico

## ربط أكثر من جدول

لربط أكثر من جدول، نضيف على المتغير `FROM` أوامر الرابط `JOIN`. مثلاً، جدول الأعمار للقطط:

age	cat_id
4	0
3	1
9	2
20	4

لإجراء عملية الرابط الداخلي على الجداول `colors` و `ages` و `names` نكتب التالي:

```
</>
sql_expr = """
SELECT name, color, age
FROM names n
INNER JOIN colors c ON n.cat_id = c.cat_id
INNER JOIN ages a ON n.cat_id = a.cat_id;
"""
pd.read_sql(sql_expr, sqlite_engine)
```

	name	color	age
0	Apricot	orange	4
1	Boots	black	3
2	Cally	calico	9

## ملخص الرابط

قمنا بعرض الأربع أنواع الأساسية للرابط في SQL: الرابط الداخلي، الكامل، اليميني واليساري. نستخدم جميع الأنواع في الرابط للقيام بعمليات الرابط بين الجداول المنفصلة التي تربطها علاقات، كل عملية ربط لديها طرق مختلفة للربط بين القيم.

## النماذج والتوقعات

### مقدمة

بشكل عام، جميع النماذج خاطئة، ولكن بعضها مفيدة.

— جورج بوكس، إحصائي

تحدثنا عن تكوين السؤال، تنظيف البيانات والتحليل الاستكشافي للبيانات، الخطوات الثلاث الأولى في دورة حياة علم البيانات. ورأينا أن التحليل الاستكشافي يظهر علاقات بين القيم في البيانات. كيف يمكننا التحقق إذا كانت هذه العلاقة حقيقة أو لا؟ كيف يمكننا استخدام هذه العلاقات للحصول على توقعات عن المستقبلي؟ للإجابة على هذه الأسئلة سنحتاج لأداة رياضية لبناء النماذج والتوقعات.

النموذج **Model** هو عبارة عن أفضل تمثيل لنظامنا. مثلاً، إذا قمنا برمي كرة من الفولاذ من فوق برج ييز المائل، نموذج بسيط للجاذبية سيتوقع أن الكره سترتطم بالأرض بسرعة 8.9 م/ث.<sup>2</sup>. هنا النموذج سمح لنا بتوقع كم ستأخذ الكرة من وقت للوصول إلى الأرض باستخدام قوانين الحركة.

هذا النموذج للجاذبية يوضح سلوك وأداء نظامنا ولكن فقط في التوقع، لا يقوم بحساب تأثير حركة الهواء، والطفو في الهواء والتأثيرات الأخرى على جاذبية الأجسام أثناء السقوط. بسبب هذه العوامل غير المدروسة، نموذجنا سينتج دائماً توقعات خاطئة! ولكن، النموذج البسيط للجاذبية يعبر دقيق بشكل كافي في كثير من الأحيان مما يجعله يستخدم وُعْلَم اليوم.

وبنفس الطريقة، كل نموذج نقوم بتعريفه باستخدام بيانات يعتبر تقدير لما هو بالواقع. عندما لا يكون التقدير دقيق جداً، نموذجنا يكون استخدامة مفید وعملي. وبطبيعة الحال، ستظهر لنا أسئلة أساسية مثل، كيف نختار النموذج؟ كيف نعرف ما إذا كانحتاج نموذج أكثر تعقيداً؟

في الفصول القادمة من هذا الكتاب، سنقوم بتطوير أدوات حسابية لتصميم وتدريب النموذج على البيانات. سنقوم أيضاً بالتعرف على أدوات استنتاجية تُمكّنا من معرفة إذا كان بإمكاننا تعليم نماذجنا.

## النماذج

في الولايات المتحدة، الكثير من زوار المطاعم يتذكون بعض من المال للنادل أثناء دفعهم لشمن وجباتهم. رغم أنه من المعروف في الولايات المتحدة أن 15% من مجموع الفاتورة يكون إكرامياً، إلا أن بعض المطاعم لديها زيائن مخلصين أكثر من غيرها يقدمون المزيد من المال إكرامية.

أحد النوادر المهمتين أراد معرفة ما قد يحصل عليه من إكرامية فقام بجمع معلومات عن كافة الطاولات التي خدمها في غضون شهر:

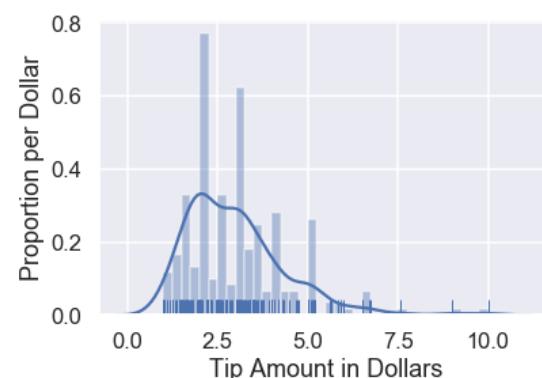
```
</>
import seaborn as sns
tips = sns.load_dataset('tips')
tips
```

	total_bill	tip	sex	smoker	day	time	size
0	16.99	1.01	Female	No	Sun	Dinner	2
1	10.34	1.66	Male	No	Sun	Dinner	3
2	21.01	3.5	Male	No	Sun	Dinner	3
...	...	...	...	...	...	...	...
241	22.67	2	Male	Yes	Sat	Dinner	2
242	17.82	1.75	Male	No	Sat	Dinner	2
243	18.78	3	Female	No	Thur	Dinner	2

244 rows × 7 columns

```
</>
sns.distplot(tips['tip'], bins=np.arange(0, 10.1, 0.25), rug=True)
plt.xlabel('Tip Amount in Dollars')
plt.ylabel('Proportion per Dollar');
```

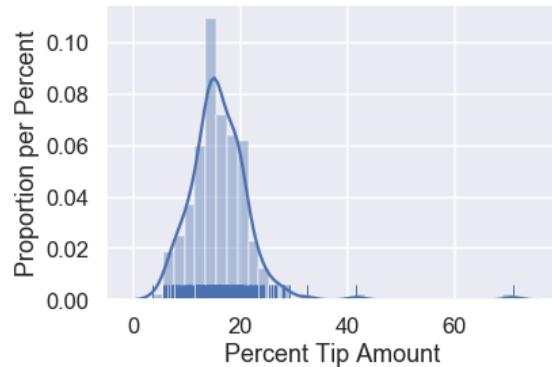
يمكننا رسم مدرج تكراري لمجموع الإكراميات:



بإمكاننا ملاحظة بعض الأنماط في البيانات. مثلاً، هناك تكرار كبير للقيمة \$2 وغالب الإكراميات من مضاعفات \$.50.

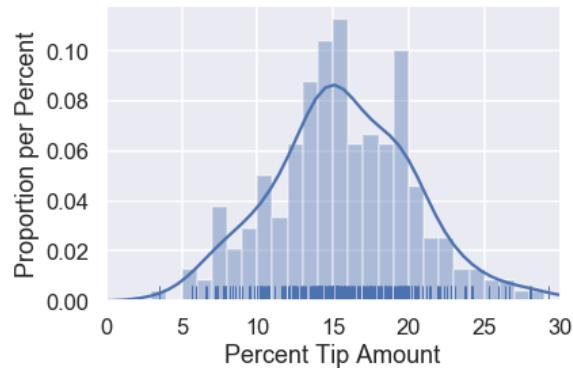
حالياً، نحن مهتمين بنسبة الإكرامية: قيمة الإكرامية قسمة مجموع الفاتورة. يمكننا إنشاء عمود جديد في ال DataFrame لحفظ هذه القيمة ونعرض توزيع النتائج:

```
</>
tips['pcttip'] = tips['tip'] / tips['total_bill'] * 100
sns.distplot(tips['pcttip'], rug=True)
plt.xlabel('Percent Tip Amount')
plt.ylabel('Proportion per Percent');
```



يبدو أن أحد البيانات ترك للنادل إكرامية قيمتها 70%! ولكن أغلب الإكراميات كان أقل من 30%. لنقرب الرسم البياني إلى ذلك الجزء:

```
</>
sns.distplot(tips['pcttip'], bins=np.arange(30), rug=True)
plt.xlim(0, 30)
plt.xlabel('Percent Tip Amount')
plt.ylabel('Proportion per Percent');
```



نلاحظ أن توزيع البيانات في الغالب حول 15% مع مجموع تكرار أعلى حول 20%. لنفترض أن نادلنا يريد معرفة كم النسبة التي سيحصل عليها من الزبائن. للإجابة على السؤال، يمكننا بناء نموذج يتوقع كم مبلغ الإكرامية الذي سيحصل عليها النادل.

### النموذج البسيط

أحد أمثلة على النموذج البسيط هي تجاهل كل البيانات وذكر أنه من المعروف في الولايات المتحدة إعطاء إكرامية بمقدار 15% من مبلغ الفاتورة، بذلك يحصل النادل دائمًا على 15% من كل زبائن. على الرغم من بساطته، سنسخدم هذه النموذج للتعرّف بعض المتغيرات لاحقًا.

هذا النموذج يفترض أن هناك نسبة وحيدة صحيحة لكل الإكراميات التي سيحصل عليها النادل من كل زبائنه. هذه هي معالم المجتمع *Population Parameter*



$\theta$ .

بعد فرضيتنا السابقة، نموذجنا سيقول إن توقعه لقيمة  $\theta^*$  هي 15%. سنستخدم الرمز  $\theta$  لوصف التوقع (التنبؤ).

برموز رياضية، فإن نموذجنا يفرض التالي:

$$\theta = 15$$

من الواضح أن هذا النموذج يحتوي على مشاكل، إذا كان النموذج صحيح، فإن جميع الزبائن في بياناتنا قد أعطوا إكرامية بقيمة 15%. ولكن، هنا النموذج سيعطي تخميناً معقولاً في كثير من الأحيان. بالأصل، هذا النموذج يعتبر الأكثر فائدة بالنسبة لنا إذا لم يكن لدينا أي معلومات عن النادل والزبائن سوى أنهم في الولايات المتحدة.

بما أن النادل لدينا قام بجمع بيانات، يمكننا استخدام المعلومات التاريخية للإكراميات التي حصل عليها لبناء نموذج تنبؤ بدليل عن 15% المعروفة بين مطاعم الولايات المتحدة.

### فائدة دالة الخسارة

عرضينا سابقاً توزيع نسبة الإكراميات في البيانات:

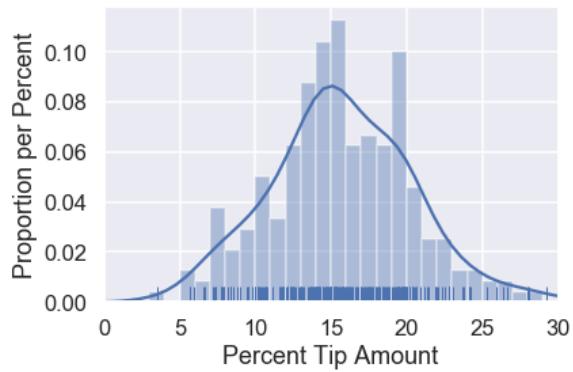
```
</>
sns.distplot(tips['pcttip'], bins=np.arange(30), rug=True)
```



```

plt.xlim(0, 30)
plt.xlabel('Percent Tip Amount')
plt.ylabel('Proportion per Percent');

```



لنفترض أننا نريد مقارنة خيارات  $\theta = 10$  و  $\theta = 15$ . يمكننا إظهار هذين الخيارين في رسمنا البياني:

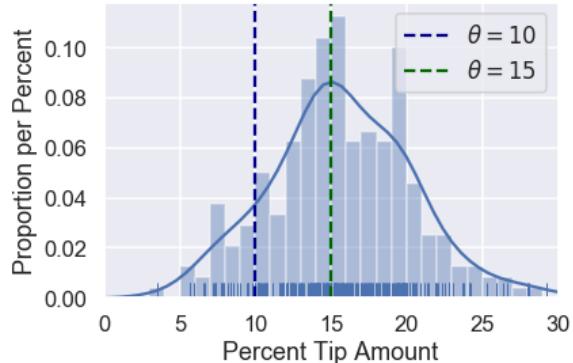
```

sns.distplot(tips['pcttip'], bins=np.arange(30), rug=True)

plt.axvline(x=10, c='darkblue', linestyle='--', label=r'$\theta = 10$')
plt.axvline(x=15, c='darkgreen', linestyle='--', label=r'$\theta = 15$')
plt.legend()

plt.xlim(0, 30)
plt.xlabel('Percent Tip Amount')
plt.ylabel('Proportion per Percent');

```



بشكل واضح، يظهر أن اختيار  $\theta = 15$  يبدو أفضل من  $\theta = 10$  بناءً على البيانات. لماذا؟ عندما نلاحظ نقاط البيانات، نرى أن أكثر البيانات كانت أقرب لـ 15 من 10.

على الرغم أن  $\theta = 15$  تبدو خيارًا أفضل، لا نعرف ما إذا كانت هي أفضل من  $\theta = 16$ . لنقوم باختيار دقيق بين مختلف احتمالات  $\theta$ ، نريد أن نعيّن لكل  $\theta$  رقم متغير يقيس ما إذا كان مناسب لبياناتنا. يعني ذلك، نحتاج لدالة تأخذ قيمة  $\theta$  وقيم من بياناتنا، وتنتج لنا رقمًا يمكننا استخدامه لاختيار أفضل القيم لـ  $\theta$ .

تسمى هذه الدالة **دالة الخسارة**.

## دالة الخسارة

لنذكر فرضيتنا السابقة: افترضنا أن هناك نسبة واحدة للإكرامية بين جميع المجتمع  $\theta$ . نموذجنا يتوقع هذا الرقم؛ سنستخدم  $\theta$  لتتميز توقعنا. نريد استخدام البيانات التي جمعناها عن الإكراميات لحساب قيمة  $\theta$ .

لتحديد أي قيمة من  $\theta$  هي الصحيحة، عرفنا **دالة الخسارة**. دالة الخسارة هي دالة رياضية تأخذ توقع لـ  $\theta$  ونقطة في بياناتنا  $y_1, y_2, \dots, y_n$ ، وتأتي بنتيجة عبارة عن رقم، **الخسارة**، يقيس مدى دقة  $\theta$  لبياناتنا. برموز رياضية، نريد كتابة الدالة:

$$L(\theta, y_1, y_2, \dots, y_n) = \dots$$

بشكل عام، النتيجة من دالة الخسارة عندما تكون رقمًا صغيرًا فإن قيمة  $\theta$  مناسبة وإلا كانت النتيجة من الدالة رقم كبير فإن قيمة  $\theta$  ليست مناسبة. لندرس النموذج، نختار قيم لـ  $\theta$  التي تنتج لنا أرقام صغيرة في دالة الخسارة، القيم  $\theta$  التي تقلل من الخسارة. نستخدم الرمز  $\hat{\theta}$  للإشارة لقيم  $\theta$  التي تقلل من دالة الخسارة.

لنفترض مرة أخرى القيم التالية لـ  $\theta$ :  $\theta = 10$  و  $\theta = 15$ .

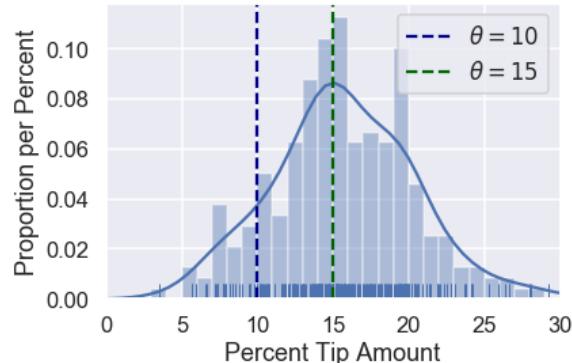
&lt;/&gt;

```

sns.distplot(tips['pcttip'], bins=np.arange(30), rug=True)
plt.axvline(x=10, c='darkblue', linestyle='--', label=r'$\theta = 10$')
plt.axvline(x=15, c='darkgreen', linestyle='--', label=r'$\theta = 15$')
plt.legend()

plt.xlim(0, 30)
plt.xlabel('Percent Tip Amount')
plt.ylabel('Proportion per Percent');

```



بما أن  $\theta = 15$  أقرب للكثير من النقاط، فإن دالة الخسارة من المفترض أن تأتي رقم أقل ل  $\theta = 15$  ورقم أعلى ل  $\theta = 10$ .

لنستخدم هذه المعلومة لإنشاء دالة الخسارة.

### دالة الخسارة الأولى لنا: الخطأ التربيعي المتوسط

نريد أن تكون قيمة  $\theta$  قريبة من الكثير من النقاط في بيانتنا. لذا، نقوم بتعريف دالة خسارة نطبقها على بيانتنا وتأتي بنتائج عالية ل  $\theta$  إذا كانت بعيدة عن الكثير من البيانات. نبدأ بدالة خسارة بسيطة يطلع عليها الخطأ التربيعي المتوسط *Mean Squared Error*، هنا فكرتها:

- نختار قيمه ل  $\theta$ .
- لكل قيمة في بيانتنا، نأخذ الفرق التربيعي بين تلك القيمة و  $\theta$ :  $(y_i - \theta)^2$ . طريقة التربيع هي وسيلة سهلة لتحويل القيم السلبية إلى قيم إيجابية. نريد القيام بذلك لأن إذا كانت  $y_i = 14$  فإن كل القيم  $\theta = 10$  و  $\theta = 18$  يبعدان بعيداً عن باقي النقاط ويعتبرون قيم غير مناسبة.
- للقيام بعملية الحساب لدالة الخسارة، نأخذ متوسط كل قيمة للفرق التربيعي.

$$\begin{aligned}
 L(\theta, y_1, y_2, \dots, y_n) &= \text{average} \{(y_1 - \theta)^2, (y_2 - \theta)^2, \dots, (y_n - \theta)^2\} \\
 &= \frac{1}{n} ((y_1 - \theta)^2 + (y_2 - \theta)^2 + \dots + (y_n - \theta)^2) \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2
 \end{aligned}$$

كتابة دالة في بايثون للقيام بعملية حساب دالة الخسارة هذه سهل جداً:

&lt;/&gt;

```

def mse_loss(theta, y_vals):
    return np.mean((y_vals - theta) ** 2)

```

لدينا كافية أدلة هذه الدالة. لنفرض أن لدينا بيانات تحتوي على قيمة واحد فقط،  $y_1 = 14$ . يمكننا تجربة أكثر من قيمة ل  $\theta$  لنرى نتيجة دالة الخسارة لكل قيمة:

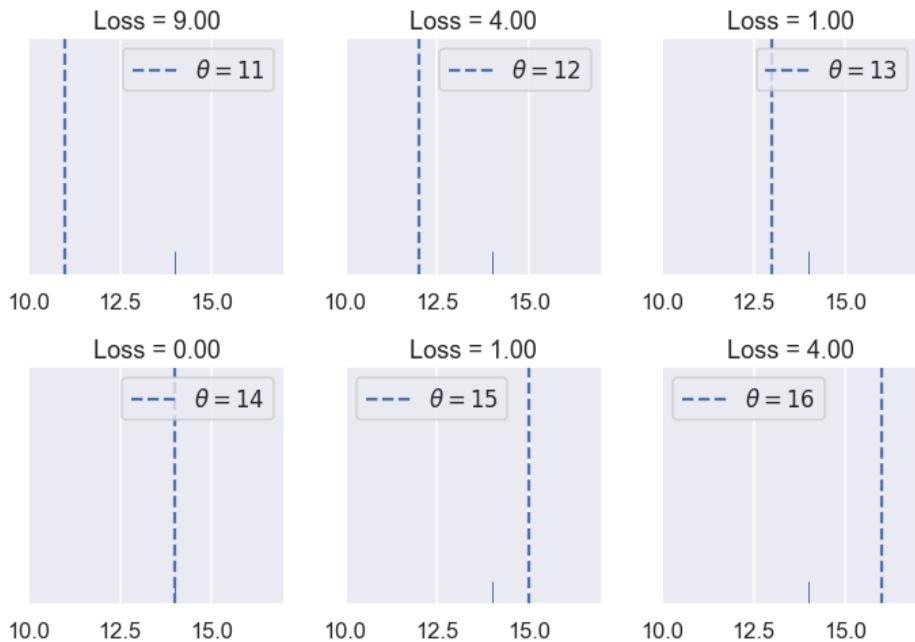
&lt;/&gt;

```

# لا يهم معرفة ما يجري في الكود البرمجي التالي، نتيجة الكود هي الصورة في الأسفل
def try_thetas(thetas, y_vals, xlims, loss_fn=mse_loss, figsize=(10, 7), cols=3):
    if not isinstance(y_vals, np.ndarray):
        y_vals = np.array(y_vals)
    rows = int(np.ceil(len(thetas) / cols))
    plt.figure(figsize=figsize)
    for i, theta in enumerate(thetas):
        ax = plt.subplot(rows, cols, i + 1)
        sns.rugplot(y_vals, height=0.1, ax=ax)
        plt.axvline(theta, linestyle='--',
                    label=rf'$\theta = {theta}$')
        plt.title(f'Loss = {loss_fn(theta, y_vals):.2f}')
        plt.xlim(*xlims)
        plt.yticks([])
        plt.legend()
    plt.tight_layout()

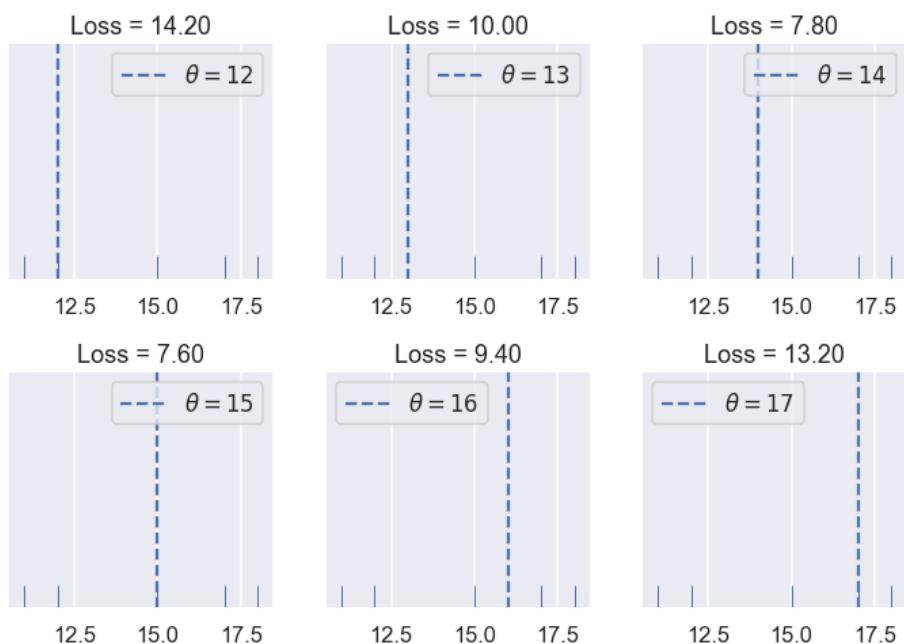
```

```
try_thetas(thetas=[11, 12, 13, 14, 15, 16],
           y_vals=[14], xlims=(10, 17))
```



كما توقعنا، قيمة دالة الخسارة أعلى كلما كانت  $\theta$  أبعد من مجموع البيانات وأقل كلما كانت أقرب أو في نفس النقطة. لنرى كيف يتصرف الخطأ التربيعي المتوسط إذا كانت لدينا أكثر من قيمة. لتكون بياناتنا هي القيم التالية: [11, 12, 15, 17, 18]

```
try_thetas(thetas=[12, 13, 14, 15, 16, 17],
           y_vals=[11, 12, 15, 17, 18],
           xlims=(10.5, 18.5))
```



من قيم  $\theta$  السابقة نرى أن  $\theta = 15$  لديه أقل نتائج دالة الخسارة. لكن، يوجد رقم بين 14 و 15 قد يحصل على نتيجة أقل لدالة الخسارة. لنجاول البحث عن تلك القيمة الأفضل ل  $\theta$

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import seaborn as sns
%matplotlib inline
import ipywidgets as widgets
from ipywidgets import interact, interactive, fixed, interact_manual
```

```

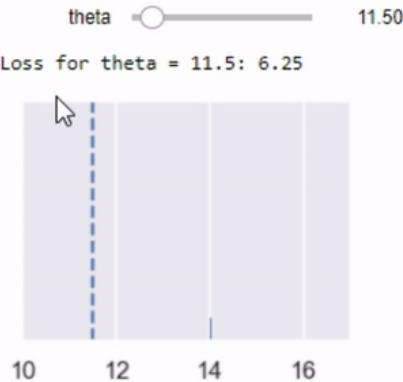
def try_thetas_interact(theta, y_vals, xlims, loss_fn=mse_loss):
    if not isinstance(y_vals, np.ndarray):
        y_vals = np.array(y_vals)
    plt.figure(figsize=(4, 3))
    sns.rugplot(y_vals, height=0.1)
    plt.axvline(theta, linestyle='--')
    plt.xlim(*xlims)
    plt.yticks([])
    print(f'Loss for theta = {theta}: {loss_fn(theta, y_vals):.2f}')

def mse_interact(theta, y_vals, xlims):
    plot = interactive(try_thetas_interact, theta=theta,
                       y_vals=fixed(y_vals), xlims=fixed(xlims),
                       loss_fn=fixed(mse_loss))
    plot.children[-1].layout.height = '240px'
    return plot

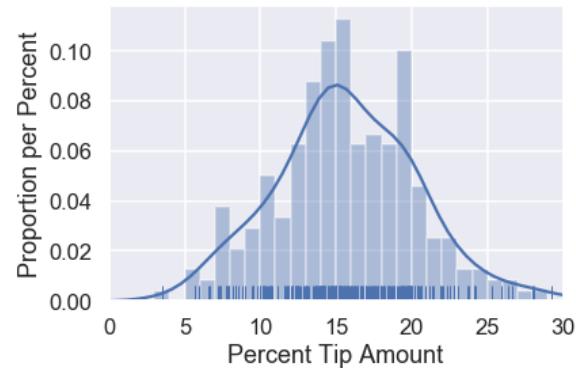
mse_interact(theta=(12, 17, 0.2),
             y_vals=[11, 12, 15, 17, 18],
             xlims=(10.5, 18.5))

```

ال코드 السابق ينتج رسم بياني تفاعلي، يمكننا منه التحكم بقيمة  $\theta$  إلى أن نحصل على نتيجة مناسبة لدالة الخسارة. هنا الطريقة التفاعلية تعمل فقط في Jupyter Notebook لنا إذا أرد تجربتها قم بتشغيل كامل الكود البرمجي مع إضافة المكتبات التي يحتاجها كاملاً في .Notebook



نلاحظ ان دالة الخطأ التربيعي المتوسط تؤدي عملها بشكل متقن وذلك بقيامها بمعاقبة قيم  $\theta$  التي تكون بعيدة عن مجموعة البيانات. لنرى الان قيمة دالة الخسارة لبيانات النسبة المئوية للإكرامية، نرسم التوزيع أولاً:

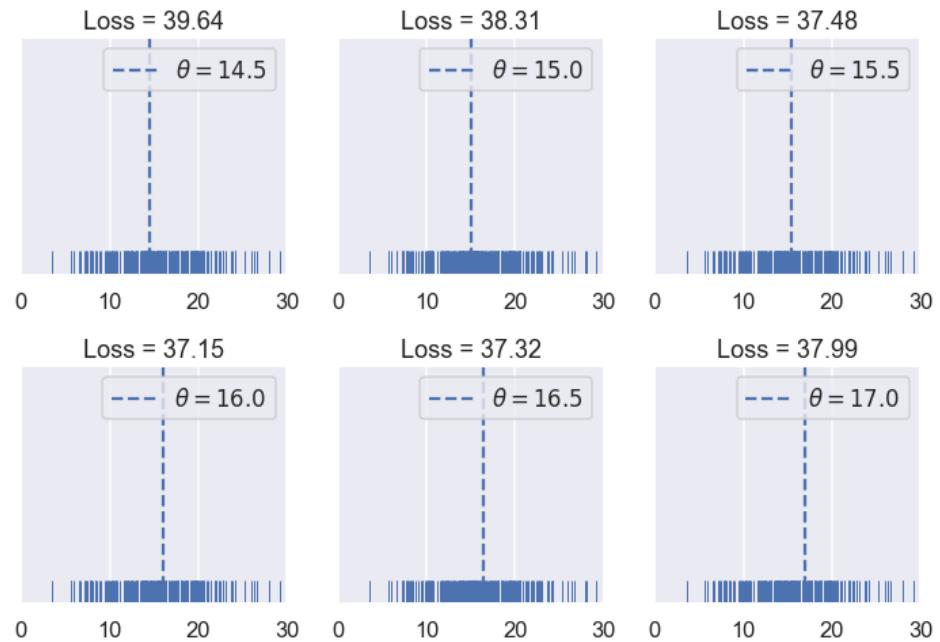


لنجرب الان قيم مختلفة ل $\theta$ :

```

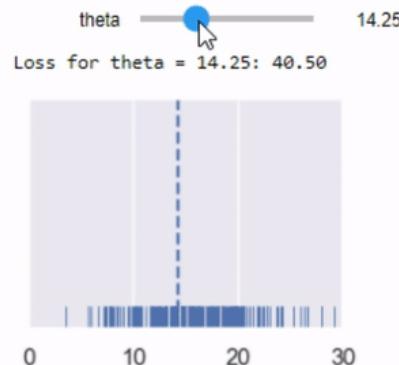
try_thetas(thetas=np.arange(14.5, 17.1, 0.5),
           y_vals=tips['pcttip'],
           xlims=(0, 30))

```



بنفس الطريقة السابقة، يمكن القيام برسم بياني تفاعلي لملاحظة التغير مع تغيير قيمة  $\theta$ :

```
mse_interact(theta=(13, 17, 0.25),
y_vals=tips['pcttip'],
xlims=(0, 30))
```



نلاحظ ان افضل قيمة ل  $\theta$  هي 16.00، اعلى بقليل من توقعنا الأول 15% لكل إكرامية.

### تبسيط الدالة

قمنا بتعريف أول دالة خسارة لنا، الخطأ التربيعي المتوسط (MSE). ينتج لنا رقم عالي لقيم  $\theta$  بعيدة عن مجموع البيانات. رياضياً، يمكننا تعريف الدالة كالتالي:

$$L(\theta, y_1, y_2, \dots, y_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2$$

ستقوم الدالة بإنتاج أرقام مختلفة للخسارة عندما نقوم بأي تغيير سواء ل  $\theta$  أو  $y_1, y_2, \dots, y_n$ . لاحظنا ذلك عند تجربتنا قيم مختلفة ل  $\theta$  وعند إضافتنا قيم اضافية للبيانات.

كاختصار، يمكننا تعريف المصفوفة:  $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ . ثم نكتب دالة الخطأ التربيعي المتوسط كالتالي:

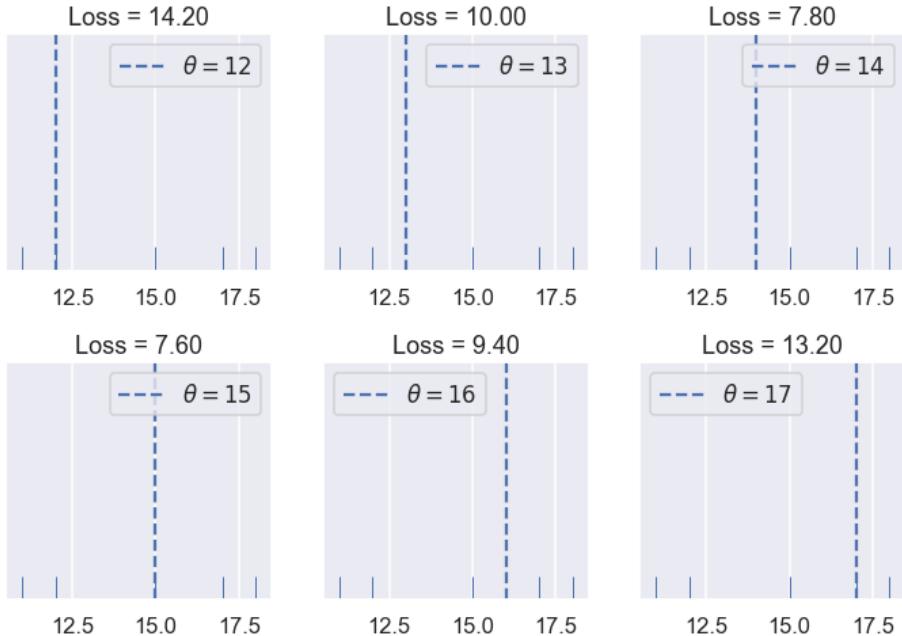
$$L(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2$$

### تقليل الخسارة

حتى الآن، وجدنا أفضل قيمة ل  $\theta$  بتجربة أكثر من قيمه واختيار أقل قيمة بعد تطبيق دالة الخسارة. على الرغم من فاعلية هذه الطريقة، يمكننا إيجاد طرق أفضل باستخدام خصائص دالة الخسارة.

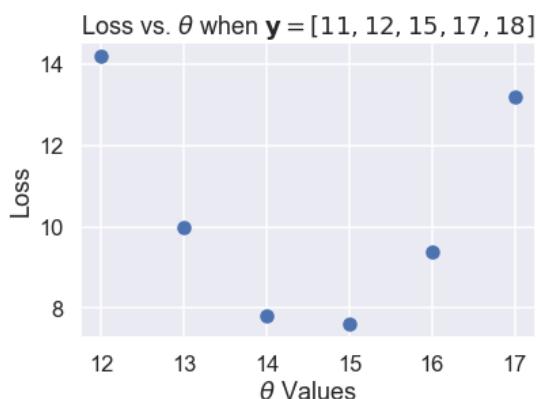
للمثال التالي، استخدمنا بيانات تحتوي على القيم التالية:  $\mathbf{y} = [11, 12, 15, 16, 17]$

```
try_thetas(thetas=[12, 13, 14, 15, 16, 17],  
          y_vals=[11, 12, 15, 17, 18],  
          xlims=(10.5, 18.5))
```



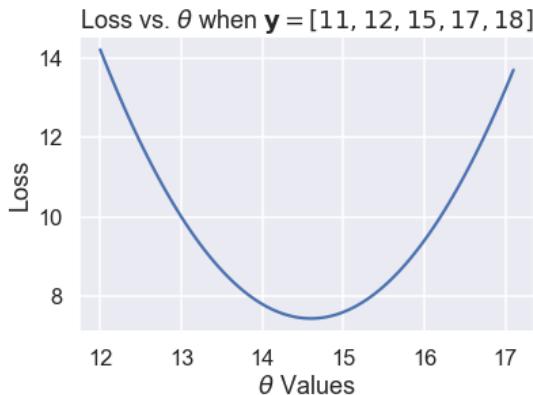
في المثال استخدمنا قيمة  $\theta$  بين 12 و 17، عند تغيير قيمة  $\theta$ ، تبدأ نتيجة الدالة مرتفعة (10.92) وتقل حتى نصل إلى 15 =  $\theta$ ، ثم تزيد بعدها. يمكننا ملاحظة تغير نتيجة دالة الخسارة كلما غيرنا قيمة  $\theta$ ، لنقارن التغير في كل مرة نقوم فيها بتغيير قيمة  $\theta$ :

```
thetas = np.array([12, 13, 14, 15, 16, 17])  
y_vals = np.array([11, 12, 15, 17, 18])  
losses = [mse_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]  
  
plt.scatter(thetas, losses)  
plt.title(r'Loss vs. $\theta$ when $y$ = [11, 12, 15, 17, 18] $')  
plt.xlabel(r'$\theta$ Values')  
plt.ylabel('Loss');
```



مخطط أثَّشتُ السابق يظهر توجه للأسفل، ثم للأعلى كما لاحظنا مسبقاً. يمكننا استخدام المزيد من قيم  $\theta$  لمشاهدة كامل المنحنى عندما تتغير الخسارة كلما غيرنا قيمة  $\theta$ .

```
thetas = np.arange(12, 17.1, 0.05)  
y_vals = np.array([11, 12, 15, 17, 18])  
losses = [mse_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]  
  
plt.plot(thetas, losses)  
plt.title(r'Loss vs. $\theta$ when $y$ = [11, 12, 15, 17, 18] $')  
plt.xlabel(r'$\theta$ Values')  
plt.ylabel('Loss');
```



الرسم البياني السابق يؤكد لنا أن  $\theta = 15$  لم تكن الخيار الأفضل؛ رقم لـ  $\theta$  بين 14 و 15 كان قيمة الخسارة فيه أقل. يمكننا استخدام التفاضل والتكامل وحساب قيمة ذلك الرقم بالضبط. بقيمة خسارة أقل، مشتقة دالة الخسارة للقيمة  $\theta$  تكون 0.

نبدأ أولاً بدالة الخسارة التي عرفناها:

$$L(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2$$

ثم نقوم بإدخال نقاطنا  $\mathbf{y} = [11, 12, 15, 17, 18]$  للمعادلة:

$$L(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{5} ((11 - \theta)^2 + (12 - \theta)^2 + (15 - \theta)^2 + (17 - \theta)^2 + (18 - \theta)^2)$$

لحساب قيمة  $\theta$  التي تقلل من دالة الخسارة، نقوم بحساب المشتقة لـ  $\theta$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \theta} L(\theta, \mathbf{y}) &= \frac{1}{5} (-2(11 - \theta) - 2(12 - \theta) - 2(15 - \theta) - 2(17 - \theta) - 2(18 - \theta)) \\ &= \frac{1}{5} (10 \cdot \theta - 146) \end{aligned}$$

ثم نقوم بالبحث عن قيمة  $\theta$  التي مشتقها تساوي صفر:

$$\begin{aligned} \frac{1}{5} (10 \cdot \theta - 146) &= 0 \\ 10 \cdot \theta - 146 &= 0 \\ \theta &= 14.6 \end{aligned}$$

وجدنا قيمة  $\theta$  الأقل، وكما هو متوقع، كانت بين 14 و 15. نرمز لقيمة  $\theta$  ذات الأقل خسارة بالرمز  $\hat{\theta}$ . الآن، للبيانات التالية  $\text{MSE} = [11, 12, 15, 17, 18]$ :

$$\hat{\theta} = 14.6$$

إذا حسبنا متوسط البيانات لدينا، نلاحظ التالي:

$$\text{mean}(\mathbf{y}) = \hat{\theta} = 14.6$$

### تقليل الخطأ التربيعي المتوسط

كما هو واضح، النتيجة السابقة (تساوي قيمة المتوسط مع  $\hat{\theta}$ ) ليست مجرد صدفة؛ المتوسط لقيم البيانات دائمًا ما يساوي  $\hat{\theta}$ ، وقيمة  $\theta$  التي تقلل من الخسارة بدلالة  $\text{MSE}$ .

لعرض ذلك، نأخذ مشتقة دالة الخسارة مرة أخرى. ولكن بدلاً من إضافة البيانات إليها، نبني الرمز  $y$  لنعمتها على جميع البيانات.

$$\begin{aligned} L(\theta, \mathbf{y}) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2 \\ \frac{\partial}{\partial \theta} L(\theta, \mathbf{y}) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n -2(y_i - \theta) \\ &= -\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta) \end{aligned}$$

بما أننا لم نعرض أي قيمة للمتغير  $y$ ، يمكن أن نستخدم المعادلة على أي بيانات بأي حجم.

الآن، نعرض قيمة المشتقة بصفر ونحاول إيجاد  $\theta$  لإيجاد أقل قيمة لدالة الخسارة كما فعلنا سابقاً:

$$\begin{aligned}
-\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta) &= 0 \\
\sum_{i=1}^n (y_i - \theta) &= 0 \\
\sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n \theta &= 0 \\
\sum_{i=1}^n \theta &= \sum_{i=1}^n y_i \\
n \cdot \theta &= y_1 + \dots + y_n \\
\theta &= \frac{y_1 + \dots + y_n}{n} \\
\hat{\theta} &= \theta = \text{mean}(\mathbf{y})
\end{aligned}$$

نلاحظ كما هو واضح، أن هناك قيمة واحدة ل  $\theta$  التي تعطي أقل قيمة ل MSE أي كانت القيمة داخل البيانات. للخطأ التربيعي المتوسط، نعلم أن  $\hat{\theta}$  هي دائمًا تساوي المتوسط للبيانات.

## العودة للبيانات الأصلية

ليس علينا اختبار أي قيم أعلى ل  $\theta$  كما فعلنا مسبقاً. يمكننا إيجاد متوسط الإكراميات وبكفي:

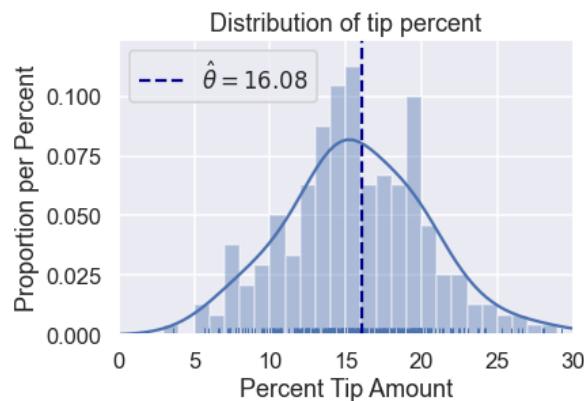
```
</>
np.mean(tips['pcttip'])
```

```
16.08025817225047
```

لرسمه:

```
</>
sns.distplot(tips['pcttip'], bins=np.arange(30), rug=True)
plt.axvline(x=16.08, c='darkblue', linestyle='--', label=r'$\hat{\theta} = 16.08$')
plt.legend()

plt.xlim(0, 30)
plt.title('Distribution of tip percent')
plt.xlabel('Percent Tip Amount')
plt.ylabel('Proportion per Percent');
```



## ملخص دالة الخسارة

قمنا بالتعرف على نموذج ثابت، نموذج دائئماً ما ينتج لنا نفس الرقم لكل بياناتنا.

وتعرفنا على دالة الخسارة  $L(\theta, \mathbf{y})$  التي تقيس مدى كفاءة قيمة معينة ل  $\theta$  للبيانات. في هذا الجزء تعرفنا أيضاً على دالة خسارة الخطأ التربيعي المتوسط وأظهرنا أن  $\hat{\theta} = \text{mean}(\mathbf{y})$ .

الطريقة التي استخدمناها في هذا الجزء والتي تطبق على أي نوع من النماذج:

- اختيار النموذج.
- اختيار دالة الخسارة.

- تدريب النموذج عن طريق تقليل قيمة الخسارة.
- في هذا الكتاب، جميع طرق إنشاء النماذج تبدأ وتوسيع من أي من هذه النقاط.

## دالتي الخسارة و Huber

لتدريب نموذج، نختار دالة خسارة ومتغيرات النموذج التي تقلل من الخسارة. في الجزء السابق، تعرفنا على دالة الخسارة MSE:

$$L(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2$$

استخدمنا نموذج ثابت يتوقع نفس الرقم  $\theta$  لجميع البيانات. عندما درينا النموذج باستخدام دالة الخسارة MSE، وجدنا أن  $(\hat{\theta} = \text{mean}(\mathbf{y}))$  في بيانات الإكراهيات، وجدنا أن النموذج يتوقع 16.8% كونها هي متوسط نسب الإكراهيات.

في هذا الجزء، سنتعرف على دالتين خسارة هما متوسط الخطأ الاحتمي (Mean Absolute Error) (MAE) و هوبر (Huber).

### متوسط الخطأ الاحتمي

الآن، سنبني النموذج كما هو لكن سنغير دالة الخسارة. بدلاً منأخذ الفرق التربيعي بين كل نقطة وتوقعنا، هذه الدالة تأخذ الفرق الاحتمي:

$$L(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \theta|$$

### مقارنة بين MAE و MSE

يعرف الكاتب أولًا دوال سيستخدمها للمقارنة بين MSE و MAE. معرفة معنى الكود البرمجي هنا لا يهم.

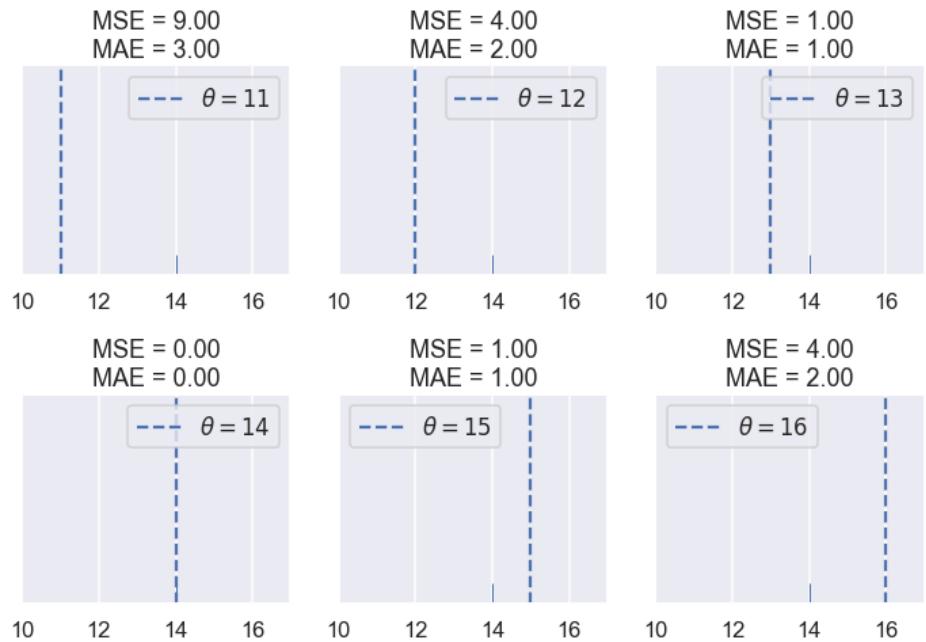
```
</>
tips = sns.load_dataset('tips')
tips['pcttip'] = tips['tip'] / tips['total_bill'] * 100

def mse_loss(theta, y_vals):
    return np.mean((y_vals - theta) ** 2)

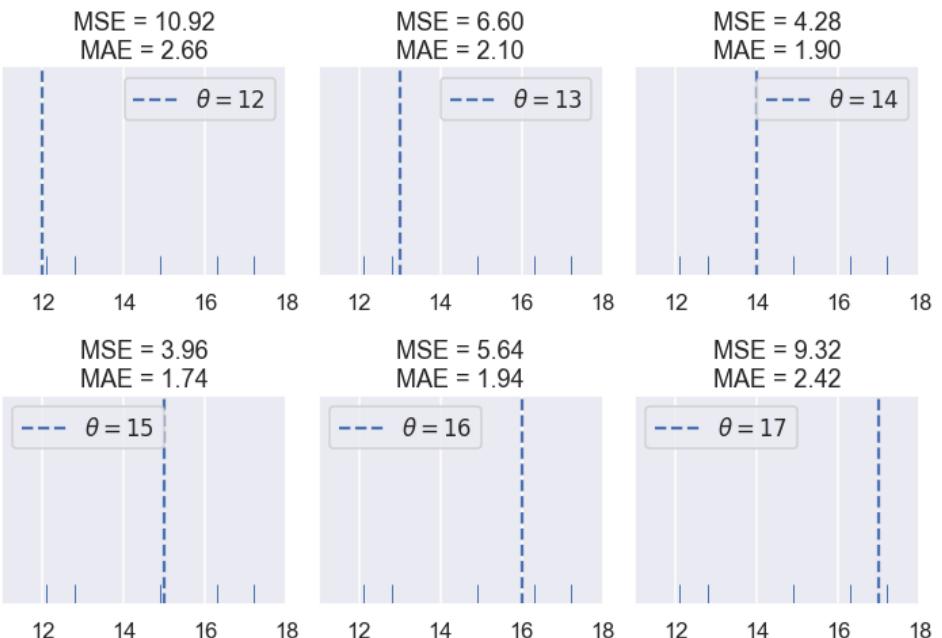
def abs_loss(theta, y_vals):
    return np.mean(np.abs(y_vals - theta))

def compare_mse_abs(thetas, y_vals, xlims, figsize=(10, 7), cols=3):
    if not isinstance(y_vals, np.ndarray):
        y_vals = np.array(y_vals)
    rows = int(np.ceil(len(thetas) / cols))
    plt.figure(figsize=figsize)
    for i, theta in enumerate(thetas):
        ax = plt.subplot(rows, cols, i + 1)
        sns.rugplot(y_vals, height=0.1, ax=ax)
        plt.axvline(theta, linestyle='--',
                    label=rf'$ \theta = {theta} $')
        plt.title(f'MSE = {mse_loss(theta, y_vals):.2f}\n'
                  f'MAE = {abs_loss(theta, y_vals):.2f}')
        plt.xlim(*xlims)
        plt.yticks([])
        plt.legend()
    plt.tight_layout()
```

```
</>
compare_mse_abs(thetas=[11, 12, 13, 14, 15, 16],
                 y_vals=[14], xlims=(10, 17))
```



نلاحظ أن MSE عادةً ما تكون أعلى من MAE كون دالة الخسارة فيها تربيعية. لذا ما يحدث عندما يكون لدينا الخمس نقاط التالية:



تذكرة أن نتائج دالة الخسارة لا تهمنا كثيراً؛ فهي تهمنا فقط بمقارنة القيمة المختلفة لـ  $\theta$ . عندما نختار دالة خسارة، سنبحث عن  $\hat{\theta}$ ، قيمة  $\theta$  التي لديها أقل قيمة للخسارة. لذا، نحن نهتم ما إذا كانت دالة الخسارة تنتج نتائج مختلفة لـ  $\hat{\theta}$ .

حتى الآن، كل دالة الخسارة متفقان على  $\hat{\theta}$ . لاحظنا، سترى بعض الاختلافات. لرسم نتائج الخسارة مع  $\theta$  لكل قيمة لدينا:

```

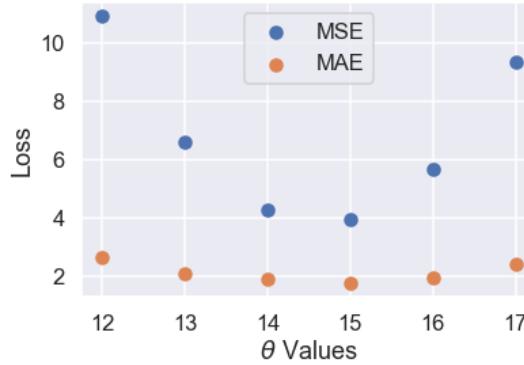
</>

thetas = np.array([12, 13, 14, 15, 16, 17])
y_vals = np.array([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2])
mse_losses = [mse_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]
abs_losses = [abs_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]

plt.scatter(thetas, mse_losses, label='MSE')
plt.scatter(thetas, abs_losses, label='MAE')
plt.title(r'Loss vs. $\theta$ when $y=[12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2]$')
plt.xlabel(r'$\theta$ Values')
plt.ylabel('Loss')
plt.legend();

```

Loss vs.  $\theta$  when  $y = [12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2]$



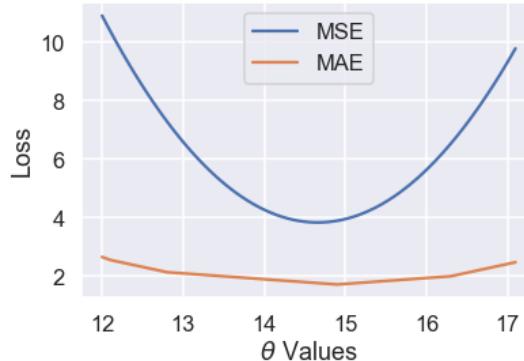
ثم، نستخدم قيم أكثر ل  $\theta$  ليكون المنحنى أكثر سلاسة:

```
</>

thetas = np.arange(12, 17.1, 0.05)
y_vals = np.array([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2])
mse_losses = [mse_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]
abs_losses = [abs_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]

plt.plot(thetas, mse_losses, label='MSE')
plt.plot(thetas, abs_losses, label='MAE')
plt.title(r'Loss vs. $\theta$ when $y = [12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2]$')
plt.xlabel(r'$\theta$ Values')
plt.ylabel('Loss')
plt.legend();
```

Loss vs.  $\theta$  when  $y = [12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2]$



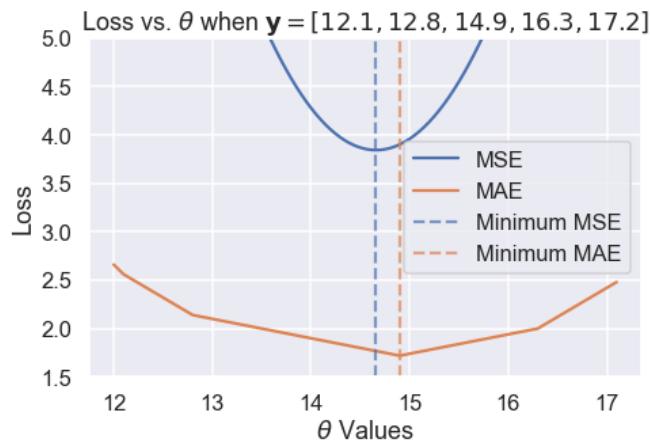
ثم، نقرب الرسم البياني إلى القيم بين 1.5 و 5 على المحور  $y$  لنرى الفرق على القيم الدنيا بشكل أوضح. حدثنا القيم الدنيا بخطوط مُنقطة:

```
</>

thetas = np.arange(12, 17.1, 0.05)
y_vals = np.array([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2])
mse_losses = [mse_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]
abs_losses = [abs_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]

plt.figure(figsize=(7, 5))
plt.plot(thetas, mse_losses, label='MSE')
plt.plot(thetas, abs_losses, label='MAE')
plt.axvline(np.mean(y_vals), c=sns.color_palette()[0], linestyle='--',
           alpha=0.7, label='Minimum MSE')
plt.axvline(np.median(y_vals), c=sns.color_palette()[1], linestyle='--',
           alpha=0.7, label='Minimum MAE')

plt.title(r'Loss vs. $\theta$ when $y = [12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2]$')
plt.xlabel(r'$\theta$ Values')
plt.ylabel('Loss')
plt.ylim(1.5, 5)
plt.legend()
plt.tight_layout();
```



وجدنا بعد تجربتنا أن MSE و MAE قد ينبع عنهما قيم مختلفة ل  $\hat{\theta}$  لنفس البيانات. تحليل أكثر دقة أوضح لنا متى يكون الاختلاف، وسببه.

### القيم الشاذة

أحد الاختلافات التي نلاحظها في الرسم البياني السابق لقيمة الخسارة و  $\theta$  هو شكل منحنى الخسارة. رسم MSE أنتج لنا منحنى قطعي مُكافئ.

بينما رسم MAE أنتج لنا لما يبدو وكأنها خطوط متصلة ببعضها. هنا يبدو مفهوماً إذا ما أخذنا بالاعتبار أن دالة القيمة الحتمية هي خطية، لذا أخذ المتوسط للكثير من الدوال الحتمية سيظهر لنا نواتج شبه خطية.

بما أن MSE تعتمد على الخطأ التربيعي، ستتأثر أكثر بالقيم الشاذة. إذا كانت  $\theta = 10$  واحد النقاط كانت 110، قيمة الخطأ في MSE لهذه القيمة ستكون  $(10 - 110)^2 = 10000$  بينما في MAE، ستكون  $|10 - 110| = 100$ . يمكننا رسم ذلك عن طريق أخذ مصفوفة من ثلاثة نقاط  $y = [12, 13, 14]$  والمقارنة بين منحنيا الخسارة و  $\theta$  ل  $MSE$  و  $MAE$ .

```
# دالة تم كتابتها لتساعد على ايجاد النتائج ورسم المقارنة
# لا تحتاج للشرح
def compare_mse_abs_curves(y3=14):
    thetas = np.arange(11.5, 26.5, 0.1)
    y_vals = np.array([12, 13, y3])

    mse_losses = [mse_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]
    abs_losses = [abs_loss(theta, y_vals) for theta in thetas]
    mse_abs_diff = min(mse_losses) - min(abs_losses)
    mse_losses = [loss - mse_abs_diff for loss in mse_losses]

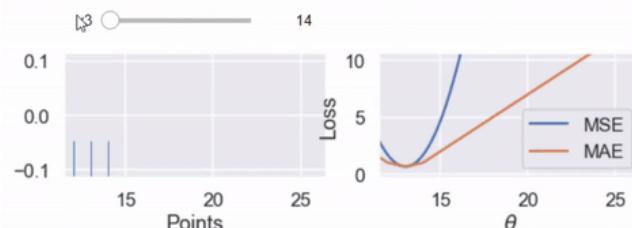
    plt.figure(figsize=(9, 2))

    ax = plt.subplot(121)
    sns.rugplot(y_vals, height=0.3, ax=ax)
    plt.xlim(11.5, 26.5)
    plt.xlabel('Points')

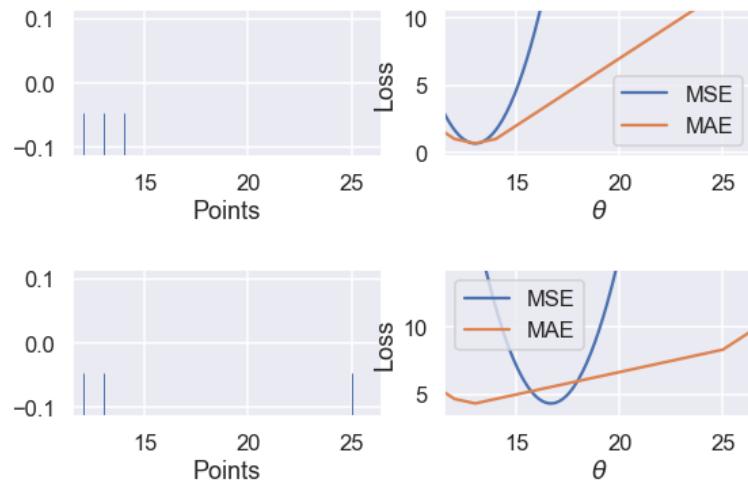
    ax = plt.subplot(122)
    plt.plot(thetas, mse_losses, label='MSE')
    plt.plot(thetas, abs_losses, label='MAE')
    plt.xlim(11.5, 26.5)
    plt.ylim(min(abs_losses) - 1, min(abs_losses) + 10)
    plt.xlabel(r'$\theta$')
    plt.ylabel('Loss')
    plt.legend()

    interact(compare_mse_abs_curves, y3=(14, 25));
```

كما شرحت سابقاً على الدوال التفاعلية التي قام بتعريفها الكاتب، هذه مثال آخر لها حيث يتحكم الرسم التفاعلي بقيمة المتغير الأخير  $y_3$ .  
نلاحظ تغير الرسم كلما كبرت قيمة المتغير من 14 إلى 25.



نلاحظ التغيير في المنحنى عندما تكون  $y_3 = 14$  و  $y_3 = 25$



كلما أبعدنا النقطة  $y_3$  عن بقية البيانات، يتحرك منحنى MSE معه. عندما تكون  $\hat{\theta} = 13$  فإن  $y_3 = 14$  و  $MSE = 16.7$  دون تغيير كما كانت مُسبقاً. بينما عندما تكون  $\hat{\theta} = 13$  فإن خسارة MSE تكون  $25$ .

### تقليل متوسط الخطأ الحتمي

الآن بعد أن تعرفنا على القليل من الفروقات بين MSE و MAE، يمكننا تقليل خسارة MAE لنجعل الفرق بينهما أكثروضوحاً. كما فعلنا مسبقاً، سنأخذ مشتقة دالة الخسارة ل  $\theta$  ونجعلها تساوي صفر.

ولكن، المرة، يجب أن نتعامل مع احتمالية أن الدالة الحتممية ليست دائماً قابلة للاشتقاق. عندما تكون  $x > 0$  فإن  $\frac{\partial}{\partial x}|x| = 1$ . عندما تكون  $x < 0$  فإن  $\frac{\partial}{\partial x}|x| = -1$ . على الرغم أن  $|x|$  ليس قابلاً للاشتقاق عندما تكون  $x = 0$ ، سنجعل  $\frac{\partial}{\partial x}|x| = 0$  لتكون المعادلة سهلة للتعامل.

لنتذكر أن معادلة MAE هي:

$$\begin{aligned} L(\theta, \mathbf{y}) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \theta| \\ &= \frac{1}{n} \left( \sum_{y_i < \theta} |y_i - \theta| + \sum_{y_i = \theta} |y_i - \theta| + \sum_{y_i > \theta} |y_i - \theta| \right) \end{aligned}$$

في الجزء الأخير فصلنا الجمع إلى ثلاثة أشكال: واحد عندما تكون  $\theta < y_i$  وأخره عندما يكون لدينا  $\theta > y_i$ . لماذا نجعل عملية الجمع معقدة بهذا الشكل؟ إذا علمنا أن  $\theta < y_i$  فإننا نعلم أن  $|y_i - \theta| = -1$  وذلك لأن  $-1 < \theta < y_i$  كما في السابق. وينطبق نفس المنطق على جميع المصطلحات السابق ذكرها ليكون أخذ المشتقات أكثر سهولة.

الآن، نأخذ المشتقة بالنسبة ل  $\theta$  ونجعلها تساوي صفر:

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \left( \sum_{y_i < \theta} (-1) + \sum_{y_i = \theta} (0) + \sum_{y_i > \theta} (1) \right) &= 0 \\ \sum_{y_i < \theta} (-1) + \sum_{y_i > \theta} (1) &= 0 \\ - \sum_{y_i < \theta} (1) + \sum_{y_i > \theta} (1) &= 0 \\ \sum_{y_i < \theta} (1) &= \sum_{y_i > \theta} (1) \end{aligned}$$

ماذا تعني النتيجة في الأعلى؟ على اليسار، لدينا قيمة واحدة لكل نقطة أقل من  $\theta$ . وعلى اليمين، لدينا قيمة واحدة أيضاً لكل نقطة أعلى من  $\theta$ . الآن، لتكون المعادلة صحيحة، نحتاج أن نختار قيمة  $\theta$  لدينا نفس الرقم لنقطة أقل وأعلى. هذا هو تعريف الوسيط *Median* لمجموعه من الأرقام. لذا، القيمة الأقل ل  $\theta$  في MAE هي  $\hat{\theta} = median(\mathbf{y})$ .

عندما يكون لدينا عدد فردي من النقاط، الوسيط هو ببساطة النقطة في الوسط بعد ترتيب النقاط. يمكن أن نرى مثال على ذلك في خمس نقاط، يتم تقليل الخسارة عندما تكون  $\theta$  في الوسيط:

```
</>
# مره اخرى، الكاتب عرف دالة تساعد على الحساب والرسم
# لا تحتاج لمعرفه معنى الكود البرمجي
def points_and_loss(y_vals, xlim, loss_fn=abs_loss):
    thetas = np.arange(xlim[0], xlim[1] + 0.01, 0.05)
    abs_losses = [loss_fn(theta, y_vals) for theta in thetas]
    plt.figure(figsize=(9, 2))
```

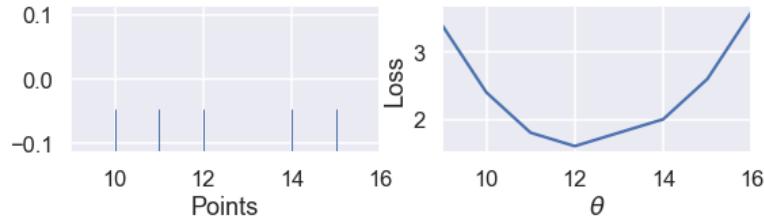
```

ax = plt.subplot(121)
sns.rugplot(y_vals, height=0.3, ax=ax)
plt.xlim(*xlim)
plt.xlabel('Points')

ax = plt.subplot(122)
plt.plot(thetas, abs_losses)
plt.xlim(*xlim)
plt.xlabel(r'$\theta$')
plt.ylabel('Loss')

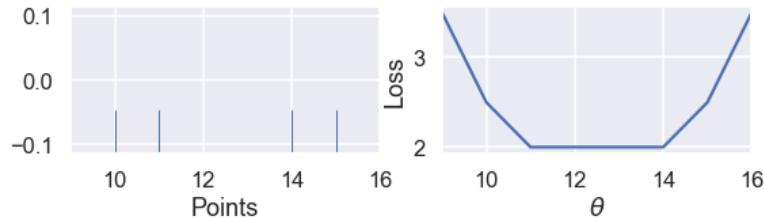
points_and_loss(np.array([10, 11, 12, 14, 15]), (9, 16))

```



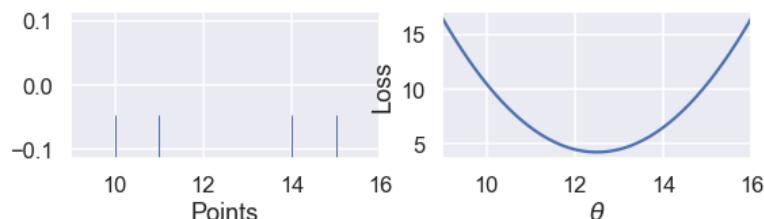
ولكن، عندما يكون لدينا عدد زوجي من الأرقام، تُقلل الخسارة عندما تكون  $\theta$  هي القيمة التي بين النقطتين في الوسط. مثال:

```
points_and_loss(np.array([10, 11, 14, 15]), (9, 16))
```



ولا يطبق ذلك عندما نستخدم :MSE

```
points_and_loss(np.array([10, 11, 14, 15]), (9, 16), mse_loss)
```



## مقارنة و MSE و MAE

تحليلنا والمشتقات في الأعلى تُظهر لنا MSE أسهل للاستخدام وإيجاد الاشتراك ولكنها تتأثر بشكل كبير من البيانات الشاذة على عكس MAE. بالنسبة لـ MSE، فإن  $\hat{\theta} = \text{mean}(y)$ ، ولـ MAE فإن  $\hat{\theta} = \text{median}(y)$ . لاحظ أن الوسيط أقل تأثيراً بالقيم الشاذة عن المتوسط. ظهر لنا ذلك أثناء تعريف وبناء دالتي الخسارة MAE و MSE.

رأينا أيضاً أن MSE لديها  $\hat{\theta}$  مختلفة، فيها المتوسط الحتمي يمكن أن يكون أكثر احتمال من  $\hat{\theta}$  عندما يكون عدد النقاط في البيانات زوجي.

## دالة الخسارة Huber

دالة الخسارة الثالثة يطلق عليها دالة Huber والتي تجمع بين MSE و MAE لتكون لنا دالة خسارة قابلة للاشتقاق ولا تتأثر بالقيم الشاذة. تفعل ذلك دالة Huber عن طريق العمل وكأنها دالة MSE لقيم  $\theta$  عندما تكون قريبة من القيم الدنيا والتغيير إلى MAE عندما تكون قيم  $\theta$  بعيدة عن القيم الدنيا.

كما في الغالب، ننشأ دالة خسارة عن طريقأخذ المتوسط لكل خسارة Huber لكل نقطة في بياناتنا.

لرئى نتيجة دالة الخسارة Huber عندما تكون بياناتنا عبارة عن  $y = [14] = 14$  مع قيم مختلفة لـ  $\theta$ :

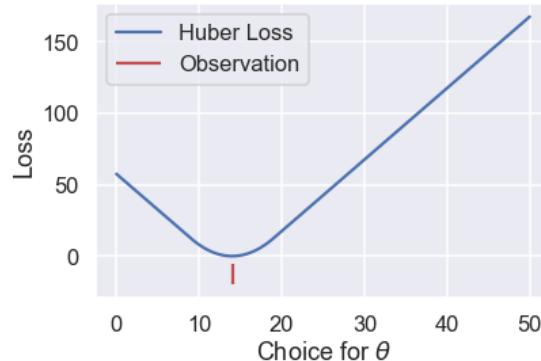
```
</>
```

```

def huber_loss(est, y_obs, alpha = 1):
    d = np.abs(est - y_obs)
    return np.where(d < alpha,
                    (est - y_obs)**2 / 2.0,
                    alpha * (d - alpha / 2.0))

thetas = np.linspace(0, 50, 200)
loss = huber_loss(thetas, np.array([14]), alpha=5)
plt.plot(thetas, loss, label="Huber Loss")
plt.vlines(np.array([14]), -20, -5, colors="r", label="Observation")
plt.xlabel(r"Choice for $\theta$")
plt.ylabel(r"Loss")
plt.legend()
# حفظ النتيجة في ملف PDF
plt.savefig('huber_loss.pdf')

```



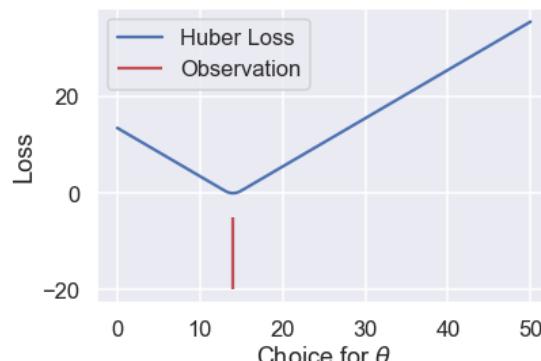
نلاحظ أن خط دالة الخسارة Huber سلس، على عكس MAE. أيضاً تزداد خسارة Huber بمعدل خطى، على عكس المعدل التربيعي لمتوسط الخسارة التربيعية.

ولكن لدى دالة خسارة Huber عيب. لاحظ أنها تغيرت من MSE إلى MAE عندما كانت  $\theta$  أبعد عن النقاط. يمكننا التحكم بمدى البعد للحصول على منحنيات خسارة أخرى. مثلاً، يمكننا أن نجعلها تبدأ بالتغيير عندما تكون  $\theta$  أقرب بنقطة عن القيمة الدنيا:

```

loss = huber_loss(thetas, np.array([14]), alpha=1)
plt.plot(thetas, loss, label="Huber Loss")
plt.vlines(np.array([14]), -20, -5, colors="r", label="Observation")
plt.xlabel(r"Choice for $\theta$")
plt.ylabel(r"Loss")
plt.legend()
# حفظ النتيجة في ملف PDF
plt.savefig('huber_loss.pdf')

```

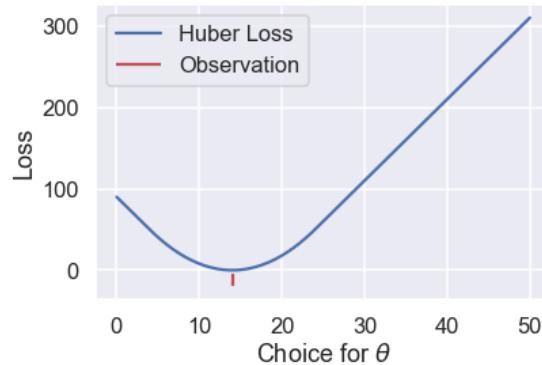


أو يمكننا تغيير ذلك وجعلها تتغير عندما تكون  $\theta$  على بعد عشر نقاط من القيمة الدنيا:

```

loss = huber_loss(thetas, np.array([14]), alpha=10)
plt.plot(thetas, loss, label="Huber Loss")
plt.vlines(np.array([14]), -20, -5, colors="r", label="Observation")
plt.xlabel(r"Choice for $\theta$")
plt.ylabel(r"Loss")
plt.legend()
# حفظ النتيجة في ملف PDF
plt.savefig('huber_loss.pdf')

```



الخيار هنا يكون لنا منحنى مختلف لخط الخسارة مما ينتج لنا أيضاً قيم مختلفة لـ  $\hat{\theta}$ . إذا أردنا استخدام دالة الخسارة Huber، لدينا مهمة أخرى وهي تحديد نقطة التغيير وجعلها قيمه مناسبة.

يمكننا تعريف دالة Huber رياضياً كالتالي:

$$L_\alpha(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} \frac{1}{2}(y_i - \theta)^2 & |y_i - \theta| \leq \alpha \\ \alpha(|y_i - \theta| - \frac{1}{2}\alpha) & \text{otherwise} \end{cases}$$

هي أكثر تعقيداً من دوال الخسارة السابقة لأنها تجمع بين MSE و MAE. المتغير الإضافي  $\alpha$  يحدد مكان نقطة التغيير في دالة Huber من MSE إلى MAE.

محاولة إيجاد مشتقة دالة Huber عملية مملة ولا تنتج نتائج واضحة ومفهومه كما في MSE و MAE. بدلاً من ذلك، يمكننا استخدام العملية الحسابية المسماة النزول الاشتقاقى لإيجاد القيمة الأقل لـ  $\theta$ .

### ملخص دالى الخسارة Huber و Absolute

في هذا الجزء، تعرفنا على دالى خسارة: متوسط الخطأ الحتمي و دالة Huber. وجدنا أن النموذج ثابت باستخدام MAE فإن  $\hat{\theta} = \text{median}(\mathbf{y})$

## النزول الاشتقاقى وتحسين النتائج الكمية

### مقدمة

لاستخدام قاعدة بيانات للتنبؤ والتوقع، يجب علينا تكوين نموذجنا بشكل دقيق واختيار دالة خسارة. مثلاً، بيانات الإكراميات، نموذجنا توقع أن نسبة الإكرامية ثابتة لا تتغير. ثم قررنا استخدام دالة الخطأ التربيعي المتوسط MSE ووجدنا النموذج الأقل خسارة.

وجدنا أيضاً أن هناك وصفاً أبسط لدالى الخسارة الخطأ التربيعي المتوسط و متوسط الخطأ الحتمي وهى: المتوسط والوسط. ولكن، كلما كان نموذجنا ودالة الخسارة أكثر تعقيداً لن نستطيع إيجاد وصفاً رياضياً مناسب. مثلاً، دالة Huber لديها خصائص مفيدة ولكن صعب تمييزها.

يمكننا استخدام الكمبيوتر لحل هذه المشكل بواسطة النزول الاشتقاقى، طريقه حسابية لتقليل دوال الخسارة.

### تقليل الخسارة باستخدام برنامج

لنعود للنموذج من الفصل السابق:

$$\theta = C$$

سنستخدم دالة الخسارة MSE:

$$L(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2$$

للتبسيط، سنسخدم البيانات التالية: [12, 13, 15, 16, 17]  $\mathbf{y}$ . نعلم من خلال تحليلنا للبيانات في الفصل السابق أن قيمة  $\theta$  لدالة الخسارة  $MSE = \text{mean}(\mathbf{y}) = 14.6$

إذا قمنا بكتابه برنامج بشكل متقن، فبإمكاننا استخدام نفس البرنامج على أي دالة خسارة لإيجاد أقل قيمة لـ  $\theta$ ، يشمل ذلك دالة Huber المعقدة رياضياً:

$$L_\alpha(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} \frac{1}{2}(y_i - \theta)^2 & |y_i - \theta| \leq \alpha \\ \alpha(|y_i - \theta| - \frac{1}{2}\alpha) & \text{otherwise} \end{cases}$$

أولاً، نقوم برسم تخطيطي للبيانات. بالجانب الأيمن من الرسم نقوم برسم دالة الخسارة MSE لقيم مختلفة لـ  $\theta$ :

```
</>
pts = np.array([12, 13, 15, 16, 17])
points_and_loss(pts, (11, 18), mse)
```

في الكود البرمجي السابق استخدم الكاتب دالة عرفها مسبقاً باسم `points_and_loss`، تقبل الدالة ثلاثة متغيرات، الأولى هي البيانات. المتغير الثاني هي مقاسات أبعاد `x-axis` ، والقيمة الأخيرة هي نوع دالة الخسارة، والتي هي عبارة عن دالة أخرى عرفها أيضاً باسم `mse`. تعريف كلا الدالتين هو كالتالي:

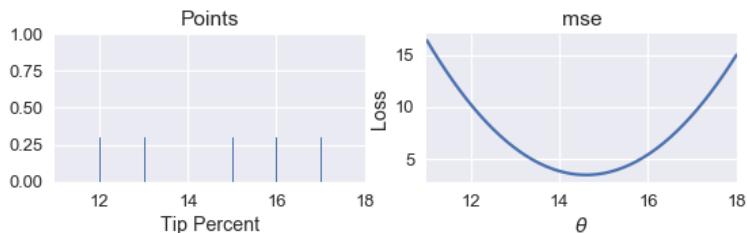
```
</>
def mse(theta, y_vals):
    return np.mean((y_vals - theta) ** 2)

def points_and_loss(y_vals, xlim, loss_fn):
    thetas = np.arange(xlim[0], xlim[1] + 0.01, 0.05)
    losses = [loss_fn(theta, y_vals) for theta in thetas]

    plt.figure(figsize=(9, 2))

    ax = plt.subplot(121)
    sns.rugplot(y_vals, height=0.3, ax=ax)
    plt.xlim(*xlim)
    plt.title('Points')
    plt.xlabel('Tip Percent')

    ax = plt.subplot(122)
    plt.plot(thetas, losses)
    plt.xlim(*xlim)
    plt.title(loss_fn.__name__)
    plt.xlabel(r'$\theta$')
    plt.ylabel('Loss')
    plt.legend()
```



كيف بإمكاننا برمجة برنامج يقوم بإيجاد أقل قيمة ل  $\theta$  أوتوماتيكياً؟ الطريقة الأسهل هي بحساب قيمة الخسارة لأكثر من قيمة ل  $\theta$ ، ثم نوجد قيمة  $\theta$  ذا الأقل خسارة.

عرفنا دالة بأسم `simple_minimize` والتي تقبل متغيرات هي دالة الخسارة، مصفوفة البيانات، ومصفوفة بقيم  $\theta$ :

```
</>
def simple_minimize(loss_fn, dataset, thetas):
    """
    ذات الأقل خسارة θ من بين عدة قيم من θ القيمة النهائية لهذه الدالة هي قيمة
    """
    losses = [loss_fn(theta, dataset) for theta in thetas]
    return thetas[np.argmin(losses)]
```

ثم نعرف دالة لإيجاد قيمة MSE واستخدامها في دالة `simple_minimize`:

```
</>
def mse(theta, dataset):
    return np.mean((dataset - theta) ** 2)

dataset = np.array([12, 13, 15, 16, 17])
thetas = np.arange(12, 18, 0.1)

simple_minimize(mse, dataset, thetas)
```

14.599999999999991

النتيجة هذه قريبة للقيمة المتوقعة:

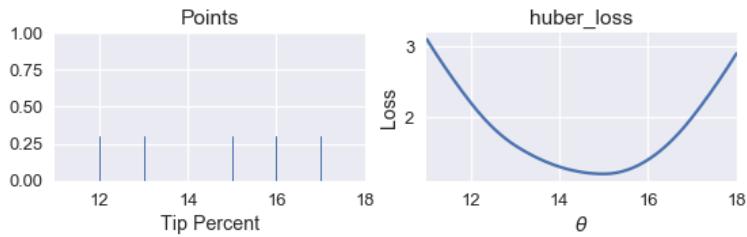
```
</>
```

```
# إيجاد القيمة باستخدام المتوسط  
np.mean(dataset)
```

14.6

الآن يمكننا كتابة دالة لحساب خسارة Huber ورسمها:

```
</>  
  
def huber_loss(theta, dataset, alpha = 1):  
    d = np.abs(theta - dataset)  
    return np.mean(  
        np.where(d < alpha,  
                 (theta - dataset)**2 / 2.0,  
                 alpha * (d - alpha / 2.0))  
    )  
  
points_and_loss(pts, (11, 18), huber_loss)
```



على الرغم أن القيم الدنيا ل  $\theta$  يجب أن تكون أقرب إلى 15، ليس لدينا طريقة لتحليل وإيجاد قيمة  $\theta$  لدالة الخسارة Huber. بدلاً من ذلك، سنستخدم الدالة `:simple_minimize`

```
</>  
  
simple_minimize(huber_loss, dataset, thetas)
```

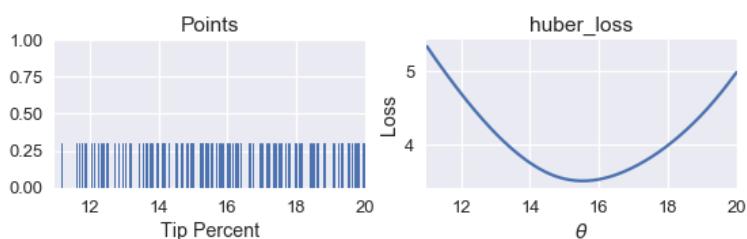
14.99999999999989

الآن، لنعود لبيانات نسبة الإكراميات ونجد أفضل قيمة ل  $\theta$  باستخدام Huber

```
</>  
  
tips = sns.load_dataset('tips')  
tips['pcttip'] = tips['tip'] / tips['total_bill'] * 100  
tips.head()
```

	total_bill	tip	sex	smoker	day	time	size	pcttip
0	16.99	1.01	Female	No	Sun	Dinner	2	5.944673
1	10.34	1.66	Male	No	Sun	Dinner	3	16.054159
2	21.01	3.5	Male	No	Sun	Dinner	3	16.658734
3	23.68	3.31	Male	No	Sun	Dinner	2	13.978041
4	24.59	3.61	Female	No	Sun	Dinner	4	14.680765

```
</>  
  
points_and_loss(tips['pcttip'], (11, 20), huber_loss)
```



&lt;/&gt;

```
simple_minimize(huber_loss, tips['pcttip'], thetas)
```

```
15.49999999999988
```

نلاحظ أن عند استخدام دالة خسارة Huber كانت النتيجة  $\hat{\theta} = 15.5$ . يمكننا الآن مقارنة هذه النتيجة مع MSE و MAE:

&lt;/&gt;

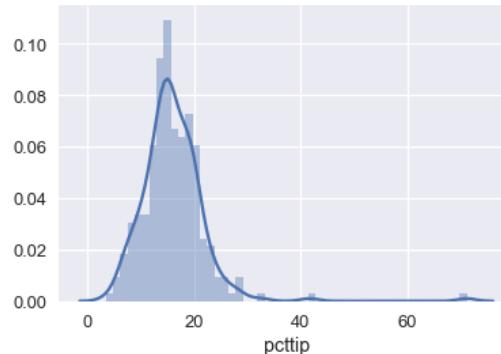
```
print(f"          MSE: theta_hat = {tips['pcttip'].mean():.2f}")
print(f"          MAE: theta_hat = {tips['pcttip'].median():.2f}")
print(f"Huber loss: theta_hat = 15.50")
```

```
MSE: theta_hat = 16.08
MAE: theta_hat = 15.48
Huber loss: theta_hat = 15.50
```

نلاحظ أن دالة Huber أقرب إلى MAE كونها لا تتأثر بشكل كبير بسبب القيم الشاذة على الجانب الأيمن في الرسم البياني التالي لتوزيع بيانات الإكراميات:

&lt;/&gt;

```
sns.distplot(tips['pcttip'], bins=50);
```



## مشاكل simple\_minimize

على الرغم من أن دالة simple\_minimize تساعدننا على تقليل دالة الخسارة، إلا أن لديها بعض المشاكل التي تجعلها غير مفيدة للاستخدام بشكل عام، مشكلتها الأهم هي أنها تعمل فقط مع قيم  $\theta$ . مثلاً، في الكود البرمجي التالي، الذي سبق أن استخدمناه في الأعلى، احتجنا لتعريف قيم  $\theta$  يدوياً من 12 إلى 18:

&lt;/&gt;

```
dataset = np.array([12, 13, 15, 16, 17])
thetas = np.arange(12, 18, 0.1)

simple_minimize(mse, dataset, thetas)
```

كيف وجدنا أنه علينا التحقق من القيم بين 12 و 18؟ احتجنا لمراجعة الرسم البياني لدالة الخسارة ووجدنا أن القيم الدنيا بين تلك القيمتين. هذه الطريقة غير عملية لأننا قمنا بإضافة خطوه معقدة جديدة لنموذجنا. بالإضافة لذلك، قمنا بتعريف قيم الزيادة 0.1 بشكل يدوي. ولكن، إذا كانت القيمة المثلثي ل  $\theta$  هي 12.043، ستقوم الدالة simple\_minimize بتقريب النتيجة إلى 12.00 كونها الأقرب لمضاعفات 0.1.

يمكننا حل تلك المشاكل بطريقه واحدة باستخدام ما يسمى بالنزول الاستقافي Gradient Descent.

## النزول الاستقافي

نحن مهتمون ببناء دالة تستطيع التقليل من دالة الخسارة دون تقييد المستخدم لتحديد قيم مسبقة ل  $\theta$  للتجربة عليها، بمعنى أصح، بما أن دالة simple\_minimize شكلها كالتالي:

&lt;/&gt;

```
simple_minimize(loss_fn, dataset, thetas)
```

```
</>
minimize(loss_fn, dataset)
```

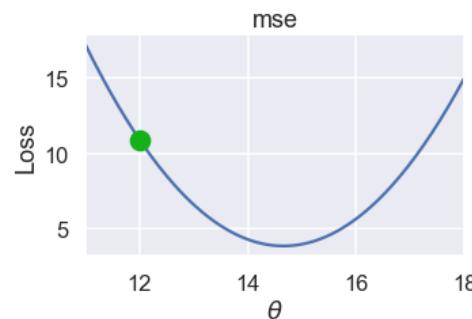
لاحظ في الشكل الذي نبحث عنه، لا يحتاج المستخدم لإضافة لقيم مسبقة ل $\theta$  في المتغيرات المطلوبة للدالة تقليل الخسارة `.minimize`.

تحتاج هذه الدالة لإيجاد قيم  $\theta$  الأقل خسارة أوتوماتيكياً أيًّا كان حجمها. سنستخدم طريقة تسمى بالنزول الاشتتاقي لبناء الدالة الجديدة المسماة `.minimize`.

## الفكرة

كما في دوال الخسارة، سنتحدث عن فكرة النزول الاشتتاقي أولًا، ثم نتعرف ونفهم العملية الرياضية فيها.  
بما أن الدالة `minimize` لا يقدم لها قيم ل $\theta$  للتجربة عليها، نقوم باختيار قيمة ل $\theta$  بأي مكان. ثم، نقوم بشكل تكراري بتحسين نتائج  $\theta$ . ولتحسين من النتائج، نقوم بملحوظة الميلان Slope لتلك القيمة من  $\theta$  التي اختبرناها في الرسم البياني.  
مثلاً، سنستخدم MSE على البيانات التالية  $y = [12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2]$  وقيمة  $\theta$  التي اختبرناها هي 12:

```
</>
pts = np.array([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2])
plot_loss(pts, (11, 18), mse)
plot_theta_on_loss(pts, 12, mse)
```



استخدم الكاتب 3 دوال كما فعل مسبقاً لتساعده على القيام بالعملية الحسابية والرسم البياني وهي `loss` و `plot_loss`، `plot_theta_on_loss` . والكود البرمجي في الأسفل هو تعريف لكل الدوال:

```
</>
def plot_loss(y_vals, xlim, loss_fn):
    thetas = np.arange(xlim[0], xlim[1] + 0.01, 0.05)
    losses = [loss_fn(theta, y_vals) for theta in thetas]

    plt.figure(figsize=(5, 3))
    plt.plot(thetas, losses, zorder=1)
    plt.xlim(*xlim)
    plt.title(loss_fn.__name__)
    plt.xlabel(r'$\theta$')
    plt.ylabel('Loss')

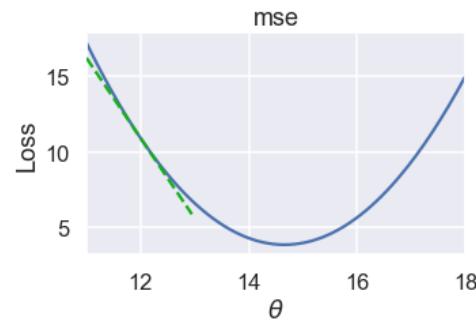
def plot_theta_on_loss(y_vals, theta, loss_fn, **kwargs):
    loss = loss_fn(theta, y_vals)
    default_args = dict(label=r'$\theta$', zorder=2,
                        s=200, c=sns.xkcd_rgb['green'])
    plt.scatter([theta], [loss], **{**default_args, **kwargs})

def plot_tangent_on_loss(y_vals, theta, loss_fn, eps=1e-6):
    slope = ((loss_fn(theta + eps, y_vals) - loss_fn(theta - eps, y_vals)) /
              (2 * eps))
    xs = np.arange(theta - 1, theta + 1, 0.05)
    ys = loss_fn(theta, y_vals) + slope * (xs - theta)
    plt.plot(xs, ys, zorder=3, c=sns.xkcd_rgb['green'], linestyle='--')
```

نريد اختيار قيمة جديدة ل $\theta$  لتقليل الخسارة. ولعمل ذلك، كما ذكرنا سابقاً، نلاحظ الميلان لقيمة  $\theta = 12$ :

&lt;/&gt;

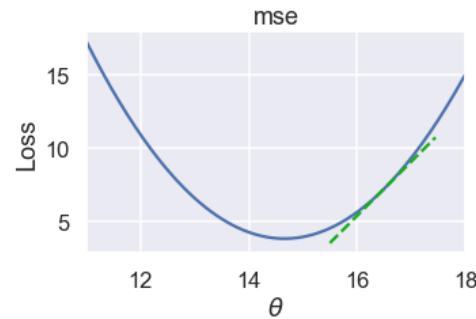
```
pts = np.array([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2])
plot_loss(pts, (11, 18), mse)
plot_tangent_on_loss(pts, 12, mse)
```



قيمة الميلان سلبية، يعني ذلك أن زيادة قيمة  $\theta$  سيقلل من الخسارة. إذا كانت  $\theta = 16.5$  فإن قيمة الميلان ستكون موجبة:

&lt;/&gt;

```
pts = np.array([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2])
plot_loss(pts, (11, 18), mse)
plot_tangent_on_loss(pts, 16.5, mse)
```



عندما تكون نتيجة الميلان إيجابية، فإن تقليل قيمة  $\theta$  سيقلل الخسارة.

الميلان في الخط يخبرنا بأي اتجاه نختار  $\theta$  لتقليل الخسارة. إذا كان الميلان نتيجته سلبية، فنحتاج لتحرك  $\theta$  إلى الجانب الإيجابي. وإذا كان إيجابياً، فعليينا تحريك  $\theta$  إلى الجانب السلبي. رياضياً، نقول التالي:

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \frac{\partial}{\partial \theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{y})$$

وفيها  $\theta^{(t)}$  هي القيمة الحالية، و  $\theta^{(t+1)}$  هي القيمة التالية.

بالنسبة ل MSE، فستكون كالتالي:

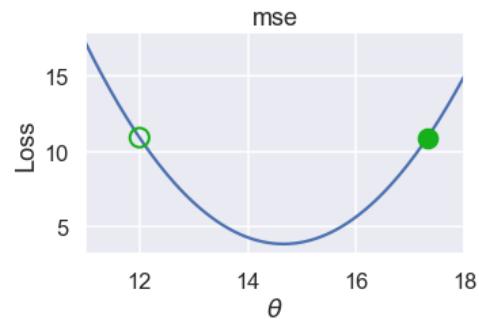
$$\begin{aligned} L(\theta, \mathbf{y}) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2 \\ \frac{\partial}{\partial \theta} L(\theta, \mathbf{y}) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n -2(y_i - \theta) \\ &= -\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta) \end{aligned}$$

عندما تكون  $\theta^{(t)} = 12$ ، فالنتيجة هي  $-\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta) = -5.32$ ، ثم نستخدمها بالمعادلة السابقة:  
 $\theta^{(t+1)} = 12 - (-5.32) = 17.32$

رسمنا في الأسفل القيمة السابقة ل  $\theta$  بدائرة مفرغة بحدود خضراء والقيمة الجديدة لها بدائرة باللون الأخضر:

&lt;/&gt;

```
pts = np.array([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2])
plot_loss(pts, (11, 18), mse)
plot_theta_on_loss(pts, 12, mse, c='none',
                   edgecolor=sns.xkcd_rgb['green'], linewidth=2)
plot_theta_on_loss(pts, 17.32, mse)
```



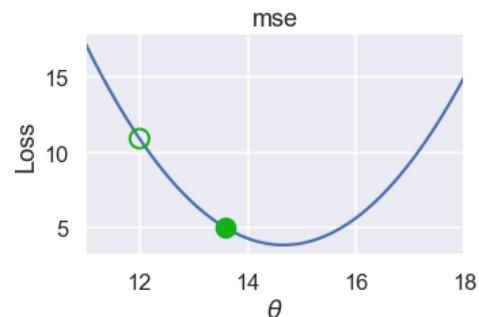
على الرغم أن  $\theta$  انتقلت إلى الجانب الأيمن، لكنها لا زالت بعيدة جداً عن القيمة الدنيا. يمكننا حل ذلك عن طريق ضرب الميلان بقيمه صغيرة قبل طرحة من  $\theta$ . والعملية الحسابية النهائية ستبدو كالتالي:

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} L(\theta^{(t)}, y)$$

وفيها  $\alpha$  هي قيمه ثابتة صغيرة. مثلاً، إذا حددنا قيمة  $\alpha = 0.3$ ، فإن القيمة الجديدة لـ  $\theta^{(t+1)}$  ستكون:

```
plot_one_gd_iter(pts, 12, mse, grad_mse)
```

```
old theta: 12
new theta: 13.596
```



عرف الكاتب دالة جديدة بأسم `plot_one_gd_iter` تقوم بكتابه ورسم بياني لقيم  $\theta$  السابقة والجديدة بعد القيام بالعملية الحسابية المنشورة مسبقاً، استخدم الكاتب أيضاً دالة بأسم `grad_mse` وهي تعريف دالة `grad_mse` باستخدام التزول الاشتتقاقي، الكود البرمجي لكلا الدالتين:

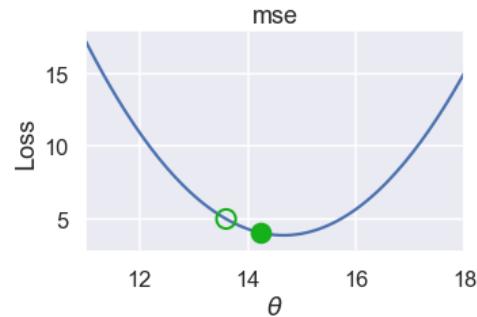
```
def plot_one_gd_iter(y_vals, theta, loss_fn, grad_loss, alpha=0.3):
    new_theta = theta - alpha * grad_loss(theta, y_vals)
    plot_loss(pts, (11, 18), loss_fn)
    plot_theta_on_loss(pts, theta, loss_fn, c='none',
                       edgecolor=sns.xkcd_rgb['green'], linewidth=2)
    plot_theta_on_loss(pts, new_theta, loss_fn)
    print(f'old theta: {theta}')
    print(f'new theta: {new_theta}')

def grad_mse(theta, y_vals):
    return -2 * np.mean(y_vals - theta)
```

في الرسم التالي، قيم  $\theta$  بعد عدة تكرارات بنفس الطريقة السابقة. لاحظ أن  $\theta$  تتغير بشكل بسيط كلما أقتربنا من القيمة الدنيا لأن الميلان أيضاً أصبحت قيمته أقلً:

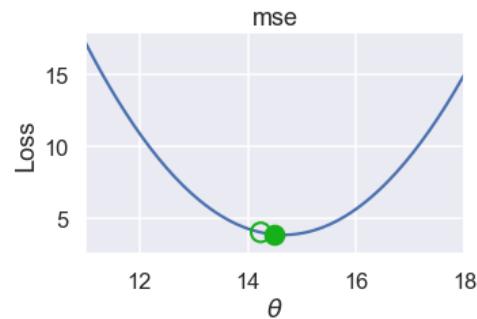
```
plot_one_gd_iter(pts, 13.6, mse, grad_mse)
```

```
old theta: 13.6
new theta: 14.236
```



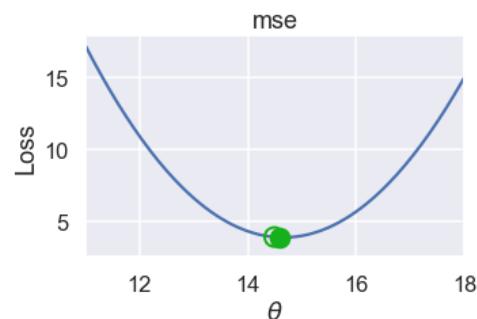
```
plot_one_gd_iter(pts, 14.24, mse, grad_mse)
```

```
old theta: 14.24
new theta: 14.492
```



```
plot_one_gd_iter(pts, 14.49, mse, grad_mse)
```

```
old theta: 14.49
new theta: 14.592
```



## تحليل النزول الاشتيفي

لدينا الآن فكرة عن طريقة عمل خوارزمية النزول الاشتيفي:

- اختيار قيمة أولية ل  $\theta$  (في العادة تكون 0).
- إجراء العملية الحسابية  $\alpha \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} L(\theta, \mathbf{y}) - \theta$  عليها وحفظ النتيجة كقيمة جديدة ل  $\theta$ .
- تكرار العملية حتى تتوقف  $\theta$  عن التغير.

غالباً ستلاحظ استخدام رمز النزول (الانحدار)  $\nabla_{\theta}$  بدلاً من الاشتيفي الجزيئي  $\frac{\partial}{\partial \theta}$ . كلا الرموز متشابهان، ولكن بما أننا استخدام رمز النزول أكثر بشكل عام، فسنقوم باستخدامه في المعادلة:

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \cdot \nabla_{\theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{y})$$

- $\theta^{(t)}$  هي التوقع الحالي لـ  $\theta^*$  في التكرار  $t$ .
- $\theta^{(t+1)}$  القيمة التالية لـ  $\theta$ .
- $\alpha$  يطلق عليها معدل التعلم Learning Rate، وعادة ما تكون رقم صغير ثابت. في بعض المرات من المفيد أن تبدأ برقم عالي لـ  $\alpha$  والتقليل منه، إذا تغيرت قيمة  $\alpha$  بين عمليات التكرار، نستخدم الرمز  $\alpha^t$  لتوضيح تغير  $\alpha$  في  $t$ .
- $\nabla_{\theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{y})$  هي اشتقاق جزئي لدالة الخسارة فيها قيمة متوقعة لـ  $\theta$  في التكرار  $t$ .

يمكننا ملاحظة أهمية استخدام دالة خسارة قابلة للتضليل:  $(\mathbf{y}, \theta) \nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{y})$  هي جزء مهم من خوارزمية النزول الاشتتقاقي. (على الرغم أن بالإمكان توخي قيمة النزول (الإنحدار) بحساب الفرق في الخسارة بين قيمتين  $\theta$  وقسمتها على المسافة بينهما، لكن ذلك يزيد من مدة إيجاد النتيجة للنزول الاشتتقاقي بشكل كبير مما يجعلها غير مفيدة للاستخدام).

خوارزمية النزول الاشتتقاقي بسيطة ومفيدة بشكل كبير وذلك لأن بإمكاننا استخدامها في كثير من أنواع النماذج والكثير من دوال الخسارة. هي الطريقة الحسابية الأهم لضبط النماذج، بما فيها الإنحدار الخطى على بيانات بحجم كبير والشبكات العصبية.

## تعريف دالة minimize

الآن نعود لمهمتنا الأساسية: تعريف دالة `minimize`. سنحتاج للتعديل قليلاً من تعريف الدالة كوننا نريد إيجاد النزول الاشتتقاقي لدالة الخسارة:

```
</>
def minimize(loss_fn, grad_loss_fn, dataset, alpha=0.2, progress=True):
    ...
    loss_fn تستخدم النزول الاشتتقاقي للتقليل من دالة الخسارة
    عندما يكون (θ^*) نتائج لنا الدالة القيمة الصغرى لـ
    التغيير أقل من 0.001 بين التكرارات
    ...
    theta = 0
    while True:
        if progress:
            print(f'theta: {theta:.2f} | loss: {loss_fn(theta, dataset):.2f}')
        gradient = grad_loss_fn(theta, dataset)
        new_theta = theta - alpha * gradient
        if abs(new_theta - theta) < 0.001:
            return new_theta
    theta = new_theta
```

ثم يمكننا تعريف دوال تقوم بحساب MSE و نزولها (انحدارها):

```
</>
def mse(theta, y_vals):
    return np.mean((y_vals - theta) ** 2)

def grad_mse(theta, y_vals):
    return -2 * np.mean(y_vals - theta)
```

أخيراً، يمكننا استخدام الدالة `minimize` لحساب قيمة  $\theta$  الأدنى للبيانات التالية [12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2]:

```
</>
%%time
theta = minimize(mse, grad_mse, np.array([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2]))
print(f'Minimizing theta: {theta}')
print()
```

```
theta: 0.00 | loss: 218.76
theta: 5.86 | loss: 81.21
theta: 9.38 | loss: 31.70
theta: 11.49 | loss: 13.87
theta: 12.76 | loss: 7.45
theta: 13.52 | loss: 5.14
theta: 13.98 | loss: 4.31
theta: 14.25 | loss: 4.01
theta: 14.41 | loss: 3.90
theta: 14.51 | loss: 3.86
theta: 14.57 | loss: 3.85
theta: 14.61 | loss: 3.85
theta: 14.63 | loss: 3.84
theta: 14.64 | loss: 3.84
theta: 14.65 | loss: 3.84
theta: 14.65 | loss: 3.84
theta: 14.66 | loss: 3.84
theta: 14.66 | loss: 3.84
Minimizing theta: 14.658511131035242
```

```
CPU times: user 7.88 ms, sys: 3.58 ms, total: 11.5 ms
Wall time: 8.54 ms
```

نلاحظ أن النزول الاشتتاقي قام بإيجاد نفس النتيجة بشكل سريع لـ:

```
</>  
np.mean([12.1, 12.8, 14.9, 16.3, 17.2])
```

14.66

## تقليل خسارة Huber

الآن، يمكننا تطبيق النزول الاشتتاقي للتقليل من دالة الخسارة Huber على بيانات الإكراميات.

```
</>  
tips = sns.load_dataset('tips')  
tips['pcttip'] = tips['tip'] / tips['total_bill'] * 100
```

دالة الخسارة Huber تعرف كالتالي:

$$L_\delta(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} \frac{1}{2}(y_i - \theta)^2 & |y_i - \theta| \leq \delta \\ \delta(|y_i - \theta| - \frac{1}{2}\delta) & \text{otherwise} \end{cases}$$

والنزول الاشتتاقي لدالة Huber :

$$\nabla_\theta L_\delta(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} -(y_i - \theta) & |y_i - \theta| \leq \delta \\ -\delta \cdot \text{sign}(y_i - \theta) & \text{otherwise} \end{cases}$$

(لاحظ أثنا في التعريف السابقة لدالة خسارة Huber استخدمنا المتغير  $\alpha$  للإشارة لنقطة الانتقال. ولإبعاد الشك بينها وبين  $\alpha$  المستخدمة في النزول الاشتتاقي، قمنا بتغيير رمز نقطة الانتقال في دالة الخسارة Huber إلى الرمز  $\delta$ ).

```
</>  
def huber_loss(theta, dataset, delta = 1):  
    d = np.abs(theta - dataset)  
    return np.mean(  
        np.where(d <= delta,  
                 (theta - dataset)**2 / 2.0,  
                 delta * (d - delta / 2.0))  
    )  
  
def grad_huber_loss(theta, dataset, delta = 1):  
    d = np.abs(theta - dataset)  
    return np.mean(  
        np.where(d <= delta,  
                 -(dataset - theta),  
                 -delta * np.sign(dataset - theta))  
    )
```

لنقوم بالتقليل من دالة الخسارة Huber في بيانات الإكرامية:

```
</>  
%%time  
theta = minimize(huber_loss, grad_huber_loss, tips['pcttip'], progress=False)  
print(f'Minimizing theta: {theta}')  
print()
```

Minimizing theta: 15.506849531471964

CPU times: user 194 ms, sys: 4.13 ms, total: 198 ms  
Wall time: 208 ms

## ملخص النزول الاشتتاقي

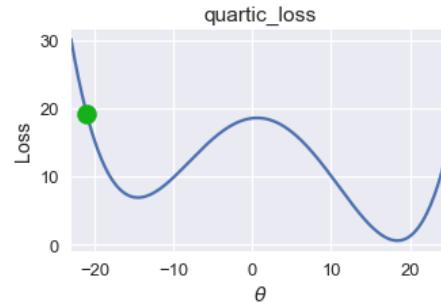
يوفر لنا النزول الاشتتاقي طريقة عامله للتقليل من دالة الخسارة عندما لا نستطيع إيجاد القيمة الدنيا لـ  $\theta$ . عندما يكون نموذجنا ودالة الخسارة أكثر تعقيداً، نستخدم النزول الاشتتاقي كوسيلة لضبط النماذج.

يساهم النزول الاشتيفي بشكل عام بالتقليل من دالة الخسارة. كما اظهرنا ذلك في دالة Huber للخسارة، تكمن فائدة النزول الاشتيفي عندما يكون صعب علينا إيجاد القيمة الدنيا.

## اكتشاف الحدود الدنيا بالنزول الاشتيفي

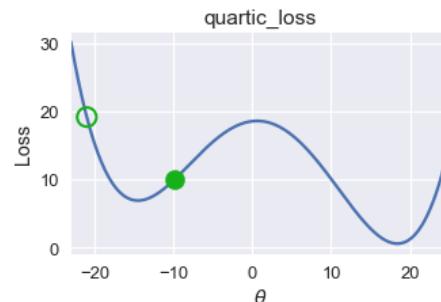
للأسف، في بعض الأحيان لا يمكن للنزول الاشتيفي إيجاد قيمة  $\theta$ . لنفترض التالي  $-\theta = 21$ :

```
</>
pts = np.array([0])
plot_loss(pts, (-23, 25), quartic_loss)
plot_theta_on_loss(pts, -21, quartic_loss)
```



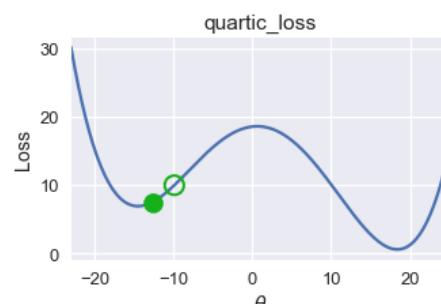
```
</>
plot_one_gd_iter(pts, -21, quartic_loss, grad_quartic_loss)
```

```
old theta: -21
new theta: -9.944999999999999
```



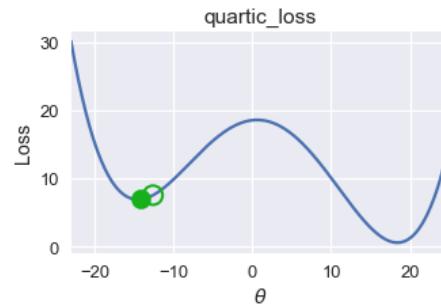
```
</>
plot_one_gd_iter(pts, -9.9, quartic_loss, grad_quartic_loss)
```

```
old theta: -9.9
new theta: -12.641412
```



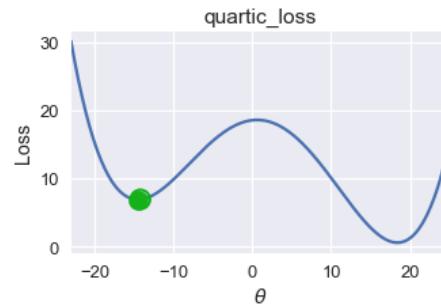
```
</>
plot_one_gd_iter(pts, -12.6, quartic_loss, grad_quartic_loss)
```

```
old theta: -12.6
new theta: -14.162808
```



```
plot_one_gd_iter(pts, -14.2, quartic_loss, grad_quartic_loss)
```

```
old theta: -14.2
new theta: -14.497463999999999
```



في الأمثلة السابقة استخدم الكاتب الدوال التالية (دالة الخسارة الرباعية ونرولها الاشتتقافي) التي لم يعرفها مسبقاً:

```
</>

def quartic_loss(theta, y_vals):
    return np.mean(1/5000 * (y_vals - theta + 12) * (y_vals - theta + 23)
                  * (y_vals - theta - 14) * (y_vals - theta - 15) + 7)

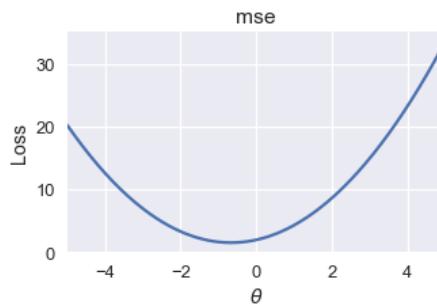
def grad_quartic_loss(theta, y_vals):
    return -1/2500 * (2*(y_vals - theta)**3 + 9*(y_vals - theta)**2
                      - 529*(y_vals - theta) - 327)
```

في المثال السابق، دالة الخسارة الرباعية، كانت نتيجة النزول الاشتتقافي قريبه إلى  $\theta = -14.5$ ، ولكن القيمة الدنيا العامة لدالة الخسارة هي  $\theta = 18$ ، في هذا المثال نرى أن النزول الاشتتقافي يبحث عن القيمة الدنيا المحلية *Local Minimum* والتي ليست دائماً تساوي قيمة الخسارة للقيمة الدنيا *Global Minimum* العامة.

لحسن الحظ، بعض دوال الخسارة لديها نفس الرقم للقيمة الدنيا المحلية وال العامة. لتأخذ مثلاً دالة الخطأ التربيعي المتوسط :MSE

```
</>

pts = np.array([-2, -1, 1])
plot_loss(pts, (-5, 5), mse)
```



تطبيق النزول الاشتقaci على هذه الدالة سيوجد لنا دائمًا قيمة مثاليه عame ل  $\theta$  كون القيمة الدنيا المحلية الوحيدة هي نفسها العامة. متوسط الخطأ الحتمي قد يحتوي على أكثر من قيمة دنيا محلية. ولكن، كل القيم الدنيا هي نفسها القيمة الدنيا العامة.

```
</>
pts = np.array([-1, 1])
plot_loss(pts, (-5, 5), abs_loss)
```



تعريف دالة متوسط الخطأ الحتمي

```
</>
def abs_loss(theta, y_vals):
    return np.mean(np.abs(y_vals - theta))
```

في هذا المثال، ستكون قيمة النزول الاشتقaci إحدى القيم المحلية الدنيا بين [−1, 1] كون أن كل القيم في هذا النطاق قيم دنيا لدالة الخسارة هذه، سيقترح النزول الاشتقaci قيمة دنيا مثاليه بين هذه النقاط ل  $\theta$ .

## تعريف التحدب

في بعض الدوال، أي قيمة دنيا محلية هي نفسها العامة. هذه الدوال يطلق عليها دوال محدبة Convex function لأنها منحنية للأعلى. كذلك دالة Huber للخسارة، التموج الثابت، MAE و MSE جميعها محدبة.

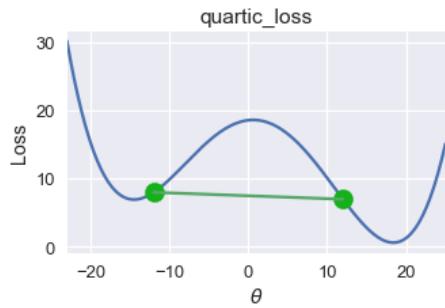
مع معدل تعلم Learning Rate مناسب، النزول الاشتقaci يوجد  $\theta$  العامة المثالية لدالة الخسارة المحدبة. وبسبب ذلك، نفضل ضبط نماذجنا باستخدام الدوال المحدبة إلا إذا كان لدينا سبب مناسب غير ذلك.

بشكل عام، الدالة  $f$  يطلق عليها دالة محدبة فقط إذا كانت توفر شروط المتباينة لجميع مدخلاتها  $a$  و  $b$  ، لكل  $t \in [0, 1]$ :

$$tf(a) + (1-t)f(b) \geq f(ta + (1-t)b)$$

المتباينة تقول إن جميع الخطوط التي تربط نقطتين في الدالة يجب أن تقع على أو فوق الدالة. لدالة الخسارة التي عرضناها في بداية هذا الجزء، يمكننا إيجاد هذه الخط:

```
</>
pts = np.array([0])
plot_loss(pts, (-23, 25), quartic_loss)
plot_connected_thetas(pts, -12, 12, quartic_loss)
```



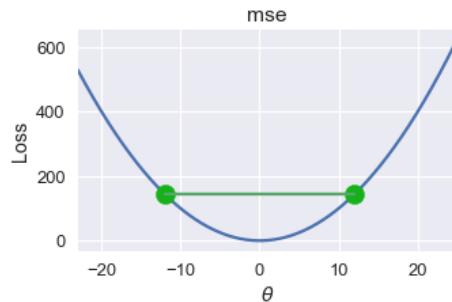
استخدم الكاتب الدالة `plot_connected_thetas` لتساعده على رسم الخط بين النقطتين، وعرفها الكاتب كالتالي:

```
</>
def plot_connected_thetas(y_vals, theta_1, theta_2, loss_fn, **kwargs):
    plot_theta_on_loss(y_vals, theta_1, loss_fn)
    plot_theta_on_loss(y_vals, theta_2, loss_fn)
    loss_1 = loss_fn(theta_1, y_vals)
    loss_2 = loss_fn(theta_2, y_vals)
    plt.plot([theta_1, theta_2], [loss_1, loss_2])
```

وبناءً على التعريف السابق، فهذه الدالة غير محدبة.

للخطأ التربيعي المتوسط، جميع الخطوط التي نقطتين تظهر فوق الرسم البياني. يمكننا رسم إحداها كالتالي:

```
</>
pts = np.array([0])
plot_loss(pts, (-23, 25), mse)
plot_connected_thetas(pts, -12, 12, mse)
```



التعريف الرياضي للتحدب يعطينا وصف دقيق لتحديد ما إذا كانت الدالة محدبة أو لا. في هذا الكتاب، سنتجاهل الجزء الرياضي لإثبات التحدب ونكتفي بالقول ما إذا كانت دالة محدبة أو لا.

## ملخص التحدب

للدالة المحدبة، أي قيمة دنيا محلية هي نفسها عامة. ذلك يسهل للتزول الاشتقaci إيجاد أفضل المتغيرات للنماذج لأي دالة خسارة. على الرغم من أنه بإمكاننا استخدام التزول الاشتقaci لدوال الخسارة غير المحدبة لإيجاد قيم دنيا محلية غير مضمون أنها دائمًا هي القيم العامة المثلثية.

## النزول الاشتقaci العشوائي

### مقدمة

في هذا الجزء، سنتحدث عن تعديل على النزول الاشتقaci يجعله أكثر فائدة للبيانات ذات الحجم الكبير. هذا التعديل يطلق عليه خوارزمية التزول الاشتقaci العشوائي **Stochastic Gradient Descent**.

بعد أن تعلمنا طريقة عمل النزول الاشتقaci وتحديه لقيمة  $\theta$  باستخدام الاشتقاق لدالة الخسارة. بالذات استخدمنا المعادلة التالية:

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \cdot \nabla_{\theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{y})$$

في هذه المعادلة:

- $\theta^{(t)}$  هي التوقع الحالي لـ  $\theta^*$  في التكرار  $t$ .
- $\alpha$  هي معدل التعلم Learning Rate.
- $\nabla_{\theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{y})$  هي اشتاق دالة الخسارة.
- ونحسب التوقع التالي  $\theta^{(t+1)}$  عن طريق طرح  $\alpha$  و  $\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{y})$  والمحسوبة في  $\theta^{(t)}$ .

حدود النزول الاشتاق

في المعادلة السابقة، قمنا بحساب  $\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{y})$  باستخدام متوسط الاشتاق دالة الخسارة  $(\ell_i(\theta, y_i))$  لجميع البيانات. بمعنى آخر، في كل مرة نحدث قيمة  $\theta$  نتحقق من جميع النقاط الأخرى في بياناتنا. لهذا السبب، القانون للاشتقاق في المعادلة السابقة يطلق عليه النزول الاشتاق المُجَمَع Batch Gradient Descent

ولأننا لسوء الحظ عادة ما نعمل مع بيانات كبيرة الحجم، فإن النزول الاشتاق المُجَمَع سيجعل لإيجاد القيمة المناسبة ل  $\theta$  بعد بعض تكرارات، ولكن كل تكرار قد يأخذ وقتاً طويلاً لحساب النتيجة فيه إذا كانت النقاط في بياناتنا كثيرة.

### النزول الاشتاق العشوائي

لحل مشكلة الوقت في حساب الاشتاق لجميع بيانات التدريب، يقوم النزول الاشتاق العشوائي بتوقع القيمة باستخدام قيمة عشوائية واحدة من البيانات. وأن القيمة تم اختيارها بشكل عشوائي، نتوقع أن الاشتاق لكل نقطة سيؤدي بالنتيجة إلى نفس النتيجة للنزول الاشتاق المُجَمَع.

لنعود مرة أخرى لمعادلة النزول الاشتاق المُجَمَع:

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \cdot \nabla_{\theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{y})$$

في هذه المعادلة، لدينا المصطلح  $\nabla_{\theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{y})$ ، متوسط الاشتاق دالة الخسارة بين كل النقاط في بيانات التدريب، ومعادلتها:

$$\nabla_{\theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nabla_{\theta} \ell(\theta^{(t)}, y_i)$$

وفيها  $(\ell_i(\theta, y_i))$  هي الخسارة في نقطة معينة في بيانات التدريب. لتطبيق النزول الاشتاق العشوائي، ببساطة نقوم بتغيير متوسط الاشتاق ب الاشتاق في نقطة معينة. المعادلة بعد التعديل للنزول الاشتاق العشوائي هي:

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \cdot \nabla_{\theta} \ell(\theta^{(t)}, y_i)$$

في هذه المعادلة،  $y_i$  يتم اختيارها بشكل عشوائي من  $\mathbf{y}$ . لاحظ أن اختيار النقاط بشكل عشوائي مهم جداً لنجاح النزول الاشتاق العشوائي! إذا لم يتم اختيار النقاط بشكل عشوائي، قد ينتج لنا نتائج أسوأ من نتائج النزول الاشتاق المُجَمَع.

نقوم عادةً باستخدام النزول الاشتاق العشوائي عن طريق خلط البيانات واستخدام كل نقطة بعد الخلط حتى تتجاوز أحد النقاط ببيانات التدريب. إذا لم يتم ذلك، نعيد خلط النقاط والقيام بنفس الخطوات حتى تتجاوز **Iteration** النزول الاشتاق العشوائي يتحقق من نقطة واحدة؛ وكل عملية تجاوز يتم بنجاح يطلق عليها **Epoch**.

### استخدام دالة الخسارة MSE

كمثال، لتطبيق النزول الاشتاق العشوائي على دالة الخسارة  $L$ . لنتذكر تعريفها:

$$L(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2$$

أخذ الاشتاق  $\theta$  يصبح لدينا:

$$\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n -2(y_i - \theta)$$

بما أن المعادلة السابقة تعطيانا متوسط خسارة الاشتاق لكل النقاط في البيانات، فإن خسارة الاشتاق ل نقطة معينة هي ببساطه جزء المعادلة التي تم أخذ متوسطها:

$$\nabla_{\theta} \ell(\theta, y_i) = -2(y_i - \theta)$$

لتحديثها للاشتقاق المُجَمَع لدالة الخسارة  $MSE$ :

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \cdot \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n -2(y_i - \theta) \right)$$

والنزول الاشتاق العشوائي لها سيكون كالتالي:

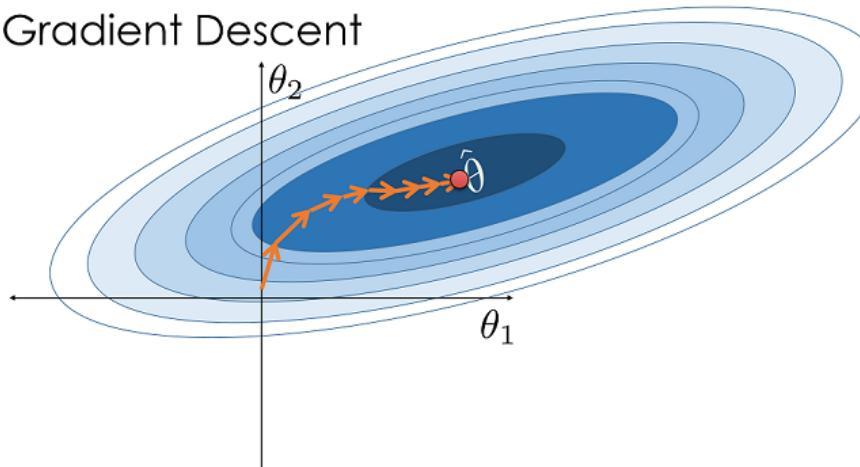
$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \cdot (-2(y_i - \theta))$$

### سلوك النزول الاشتاق العشوائي

بما أن الاشتاق العشوائي فقط يتحقق من نقطة واحدة كل مرة، فإن تحديثه لقيمة  $\theta$  سيكون أقل دقة من التحديث إذا تم من النزول العشوائي المُجَمَع. ولكن، بما أنه أسرع في حساب النتائج، فإن النزول الاشتاق العشوائي يُمكّنه التقدم بشكل كبير للوصول للقيمة المناسبة ل  $\theta$  في حين النزول

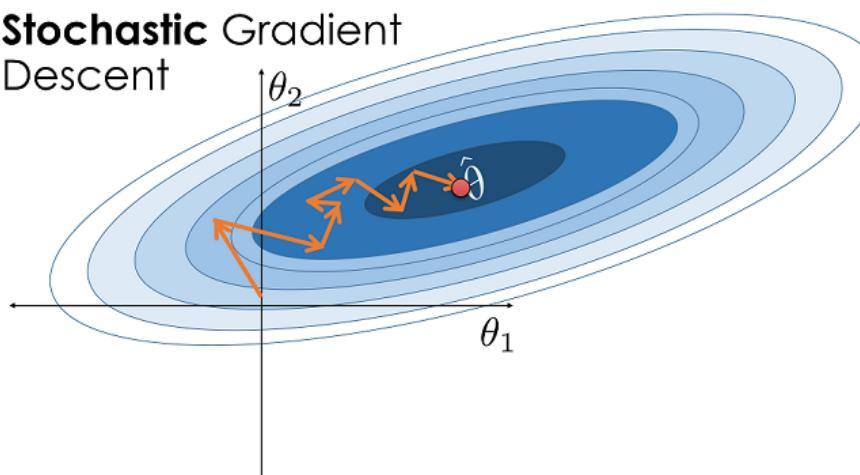
العشوائي المُجَمَع لم ينتهي وقتها من التحديث ولا مرة واحدة. الصورة في الأسفل توضح تحدّيات تمّ بنجاح لقيمة  $\theta$  باستخدام النزول الاشتقافي المُجَمَع. المساحة غامقة اللون في الصورة تعني القيمة المثالية ل  $\theta$  على بيانات التدريب، وهي  $\hat{\theta}$ . (الصورة تظهر نموذج لديه متغيران، ولكن من المهم ملاحظة طريقة النزول الاشتقافي المُجَمَع التي يصل فيها إلى  $\hat{\theta}$ ).

## Gradient Descent



في الجانب الآخر، النزول الاشتقافي العشوائي، عادة ما يأخذ خطوه بعيداً عن  $\hat{\theta}$ ، ولكن كونه يقوم بالتحديث بشكل متكرر، يصل غالباً للنقطة المثالية بشكل أسرع من المُجَمَع.

## Stochastic Gradient Descent



### تعريف دالة للنزول الاشتقافي العشوائي

كما فعلنا سابقاً، نقوم بتعريف دالة تحسب لنا النزول الاشتقافي العشوائي لدالة خسارة. ستكون مشابهة لدالة `minimize` التي سبق تعريفها، ولكن تحتاج لإضافة الاختيار العشوائي للقيم في كل تكرار:

```
</>
def minimize_sgd(loss_fn, grad_loss_fn, dataset, alpha=0.2):
    """
    تستخدم النزول الاشتقافي العشوائي للتقليل من دالة الخسارة
    عندما يكون θ تكون النتيجة القيمة الصغرى ل
    الفرق بين التكرارات أقل من 0.001
    """
    NUM_OBS = len(dataset)
    theta = 0
    np.random.shuffle(dataset)
    while True:
        for i in range(0, NUM_OBS, 1):
            rand_obs = dataset[i]
            gradient = grad_loss_fn(theta, rand_obs)
            new_theta = theta - alpha * gradient

            if abs(new_theta - theta) < 0.001:
                return new_theta

        theta = new_theta
        np.random.shuffle(dataset)
```

## نرول الاشتقاق بدفعات صغيرة

النرول الاشتقاق بدفعات صغيرة **Mini-batch Gradient Descent** يحاول أن يوازن بين النرول الاشتقاق العشوائي والمجمع عن طريقه زيادة عدد الأرقام التي يتطلع عليها في كل عملية تكرار. في النرول الاشتقاق بدفعات صغيرة، نستخدم عدد من النقاط في كل تحديث بدلاً من نقطة واحدة. يستخدم متوسط الاشتقاق لدوال الخسارة للقيام بتوقع لقيمة الاشتقاق الصحيحة لخسارة الانتروبيا التقطاعية **Cross Entropy Loss**. إذا كانت  $\mathcal{B}$  هي الدفعة الصغيرة من النقاط التي نختارها بشكل عشوائي من  $n$ ، فالمعادلة الحالية كالتالي:

$$\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{y}) \approx \frac{1}{|\mathcal{B}|} \sum_{i \in \mathcal{B}} \nabla_{\theta} \ell(\theta, y_i)$$

كما في النرول الاشتقاق العشوائي، نقوم بالنرول الاشتقاق بدفعات صغيرة عن طريق خلط بيانات التدريب واختيار دفعات عن طريق التكرار داخل البيانات المخلوطة. بعد كل Epoch، نعيد خلط البيانات واختيار دفعه صغيرة جديدة.

على الرغم من أننا فرقنا بين النرول الاشتقاق العشوائي ودفعات صغيرة في هذه الكتاب، يستخدم مصطلح النرول الاشتقاق العشوائي بشكل عام للاشتقاقات بدفعات صغيرة بأي حجم.

### اختيار حجم الدفعات الصغيرة

يكون النرول الاشتقاق بدفعات صغيرة مثاليًا عندما يعمل على وحدة المعالجة الرسومية GPU (كرت الشاشة للحاسوب). كون العمليات من هذا النوع تأخذ وقتاً طويلاً، استخدام الدفعات الصغيرة يزيد من دقة الاشتقاق دون الزيادة من سرعة عملية الحاسوب. بناءً على ذاكرة وحدة المعالجة الرسومية في الجهاز، يتم تحديد حجم الدفعات بين 10 و 100.

### تعريف دالة للنرول الاشتقاق بدفعات صغيرة

دالة النرول الاشتقاق بدفعات صغيرة تحتاج لخيار لتحديد حجم الدفعات. الدالة التالية توفر هذه الخاصية:

```
</>
def minimize_mini_batch(loss_fn, grad_loss_fn, dataset, minibatch_size, alpha=0.2):
    """
    تستخدم النرول الاشتقاق العشوائي بدفعات صغيرة للتقليل من دالة الخسارة
    عندما يكون θ تكون النتيجة القيمة الصغرى ل
    الفرق بين التكرارات أقل من 0.001
    """
    NUM_OBS = len(dataset)
    assert minibatch_size < NUM_OBS

    theta = 0
    np.random.shuffle(dataset)
    while True:
        for i in range(0, NUM_OBS, minibatch_size):
            mini_batch = dataset[i:i+minibatch_size]
            gradient = grad_loss_fn(theta, mini_batch)
            new_theta = theta - alpha * gradient

            if abs(new_theta - theta) < 0.001:
                return new_theta

        theta = new_theta
        np.random.shuffle(dataset)
```

### ملخص النرول الاشتقاق العشوائي

نستخدم النرول الاشتقاق بدفعات لتحسين النموذج بشكل متكرر حتى نصل إلى القيمة الدنيا للخسارة. بما أن النرول الاشتقاق بدفعات يكون صعباً للحساب في البيانات الكبيرة، عادةً ما نستخدم النرول الاشتقاق العشوائي لضبط تلك النماذج. عند استخدام GPU، النرول الاشتقاق بدفعات بسيطه يمكنه الحساب بشكل أسرع من العشوائي بنفس تكلفة التشغيل. للبيانات الكبيرة، النرول الاشتقاق العشوائي ودفعات صغيرة هي أفضل للاستخدام كونها أسرع للحساب.

## الاحتماليات والتعتميم

### مقدمة

تعرفنا على خطوات إنشاء نماذج باستخدام البيانات:

- اختيار النموذج.
- اختيار دالة الخسارة.
- ضبط النموذج عن طريق تقليل الخسارة.

حتى الآن، تعرفنا على النموذج الثابت، عدد مختلف من دوال الخسارة، والنرول الاشتقاق كوسيلة عامه للتقليل من الخسارة. إتباع هذه الخطوات عادةً ما يكون لنا نموذج يقوم بتوقعات صحيحه على البيانات التي تدرب عليها.

للأسف، فإن النموذج الذي يأتي بشكل جيد على بيانات التدريب عند تطبيقه على بيانات مختلفة محدود وقليل. نهتم بإمكانية النموذج على التعميم. نحتاج أن يكون نموذجنا قادر على التوقع بشكل عام، ليس فقط على بيانات التدريب. هذه المشكلة قد تبدو صعبة، قد تتساءل كيف يمكننا الإجابة وتقع نتائج بيانات لم نرها بعد؟

هنا نستعين بالاستنتاجات في الإحصاء. سترى أولاً على بعض الأدوات الرياضية: العينات العشوائية، التوقع والتباين. باستخدام هذه الأدوات، سنتتمكن من إيجاد توقعات مستقبلية لأداء النموذج على بياناتنا، وحتى تلك التي لم يتدرّب النموذج عليها!

## المتغيرات العشوائية

تحتوي جميع الظواهر في العالم الحقيقي على القليل من العشوائية، مما يجعل تكوين وجمع البيانات عشوائياً بشكل طبيعي. لأننا نضبط نماذجنا على هذه البيانات، فإن النماذج أيضاً تحتوي على بعض العشوائية. للتعبير عن هذه العشوائية بشكل رياضي، نستخدم المتغيرات العشوائية.

**المتغير العشوائي Random Variable** هو متغير جيري يمثل قيمة رقمية / عددي تم تحديدها بواسطة الاحتمالات. في هذا الكتاب، سنستخدم دائماً الحروف الكبيرة مثل  $X$  و  $Y$  لتمثيل متغير عشوائي. على الرغم أن المتغيرات العشوائية يمكن تمثيلها بعدة أشكال كقيم منفصلة (مثلاً عدد الذكور في عينة من 10 أشخاص) أو كقيم متسلسلة (مثلاً متوسط درجة الحرارة في لوس أنجلوس)، في هذا الكتاب، سنستخدم المتغيرات العشوائية المنفصلة.

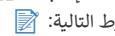


يجب علينا دائماً تحديد ما يمثله المتغير العشوائي. مثلاً، قد نكتب أن المتغير العشوائي  $X$  يمثل عدد مرات ظهور صورة في 10 مرات من ربي العملة المعدنية. تعريف المتغير العشوائي يحدد القيم التي يدخله. في المثال السابق،  $X$  ستأخذ فقط القيم من 0 إلى 10.

يجب علينا أيضاً تحديد احتمالية ظهور أي من القيم المحتملة في المتغير العشوائي. مثلاً، احتمالية أن  $X = 0$  يتم كتابتها كالتالي  $P(X = 0) = (0.5)^{10}$ .

### دالة كتلة الاحتمال

دالة كتلة الاحتمال **PMF** (Probability Mass Function) أو **توزيع Distribution** المتغير العشوائي  $X$  تقدم لنا احتمالية أن  $X$  هي أحد القيم الممكنة. إذا جعلنا  $\mathbb{X}$  ترمز لمصفوفة القيم التي يمكن أن تمثلها  $X$  و  $x$  قيمة معينة من القيم في  $\mathbb{X}$ ، فإن دالة كتلة الاحتمال  $P(X = x)$  يجب أن توفي الشروط التالية:



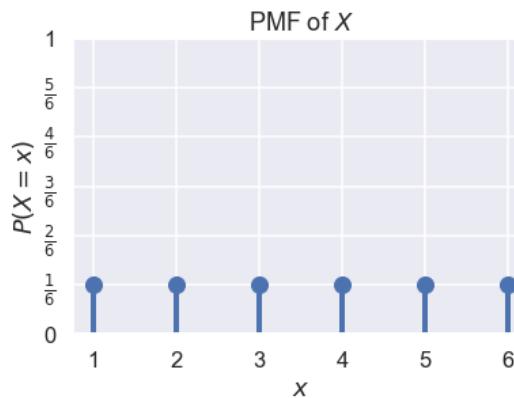
$$1) \sum_{x \in \mathbb{X}} P(X = x) = 1$$

$$2) \text{For all } x \in \mathbb{X}, 0 \leq P(X = x) \leq 1$$

الشرط الأول يقول إن مجموع الاحتماليات للقيم فيه  $X$  يساوي 1.

الشرط الثاني يقول إن احتمالية كل قيمة من القيم في  $X$  يجب أن تكون بين 0 و 1.

لنفترض أن  $X$  تمثل نتيجة رمي حجر النرد. نعلم أن  $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$  وأن  $P(X = 1) = P(X = 2) = \dots = P(X = 6) = \frac{1}{6}$ . يمكننا رسم نتيجة PMF لـ  $X$  كالتالي:



### التوزيعات المشتركة

بشكل تلقائي، تمتد فكرة التوزيع PMF للمتغير العشوائي إلى التوزيع المشترك للعديد من المتغيرات العشوائية. بشكل أوضح، التوزيع المشترك **Joint Distribution** لمتغيران عشوائيان أو أكثر ينبع عنه احتمالية أن هذه المتغيرات العشوائية تأخذ نفس مصفوفة القيم.

مثلاً، المتغير العشوائي  $X$  يمثل عدد مرات ظهور صورة عند ربي العملة المعدنية 10 مرات، و  $Y$  تمثل عدد مرات ظهور كتابه عند ربي العملة المعدنية 10 مرات. يمكننا ملاحظة أن:

$$P(X = 0, Y = 10) = P(X = 10, Y = 0) = (0.5)^{10}$$

بينما  $P(X = 6, Y = 6) = 0$  لأنه من المستحيل أن نحصل على 6 صور و 6 كتابات في 10 رميات.

أحياناً، نبدأ بتوزيع مشترك لمتغيران عشوائيان  $X$  و  $Y$  ولكن نريد البحث عن توزيع  $X$  فقط. يطلق على ذلك **التوزيع الهاشمي Marginal Distribution**. لإيجاد احتمالية  $X$  لقيمة معينة، يجب علينا الأخذ بالاعتبار جميع القيم المحتملة لـ  $Y$  والتي قد تأتي مع  $X$  وجمع كل هذه الاحتماليات المشتركة:

$$\sum_{y \in \mathbb{Y}} P(X = x, Y = y) = P(X = x)$$

يمكننا إثبات ذلك على النحو التالي:

$$\begin{aligned} \sum_{y \in \mathbb{Y}} P(X = x, Y = y) &= \sum_{y \in \mathbb{Y}} P(X = x) \times P(Y = y | X = x) \\ &= P(X = x) \times \sum_{y \in \mathbb{Y}} P(Y = y | X = x) \\ &= P(X = x) \times 1 \\ &= P(X = x) \end{aligned}$$

في السطر الأخير من الإثبات، تعاملنا مع  $P(Y = y | X = x)$  كقيمة عشوائية مع  $PMF$  غير معروفة. ذلك يهمنا لأننا استخدمنا الخاصية الأولى التي تقول إن مجموع الاحتماليات لـ  $PMF$  يجب أن يساوي 1، يعني ذلك أن  $\sum_{y \in \mathbb{Y}} P(Y = y | X = x) = 1$ .

### المتغيرات العشوائية المستقلة

كما في الأحداث، المتغيران العشوائيان قد يكونا مستقلان أو غير مستقلان. أي متغيرين عشوائيين يكونان مستقلان فقط إذا كانت معرفة نتيجة إحداهما لا تأثر على احتمالية أي نتيجة للمتغير الآخر.

مثلاً، عند رمي العملة المعدنية عشر مرات لنحصل  $X$  تكون عدد مرات ظهور الصورة و  $Y$  عدد مرات ظهور الكتابة. بشكل واضح،  $X$  و  $Y$  غير مستقلان كون معرفتنا أن  $X = 0$  تعني أن  $Y = 10$ .

يمكننا بدلاً من ذلك إجراء جولتين لرمي العملة المعدنية عشر مرات. إذا كانت  $X$  هي عدد مرات ظهور صوره في الجولة الأولى و  $Y$  هي عدد مرات ظهور صوره في الجولة الثانية، فإن  $X$  و  $Y$  مستقلان لأن النتائج للجولة الأولى من رمي العملة المعدنية لا تأثر على النتائج من رمي العملة المعدنية في الجولة الثانية.

### مثال على الأعمار

لنفترض أن لدينا البيانات البسيطة التالية لأربع أشخاص:

	Name	Age
0	Carol	50
1	Bob	52
2	John	51
3	Dave	50

لنفترض أننا أخذنا شخصين كعينة من هذه البيانات ووضعنا اشخاص بدلاً منهم. اذا كان المتغير العشوائي  $Z$  يمثل الفرق في الأعمار بين الشخص الأول والثاني في العينة، فما هو توزيع المتغير العشوائي  $Z$  لـ  $PMF$ ؟

لحل هذه المشكلة، نقوم من جديد بتعریف متغيران عشوائيان. نقوم بتعريف  $X$  كعمر الشخص الأول و  $Y$  كعمر الشخص الثاني. فأن  $Z = X - Y$ . ثم نوجد توزيع الاحتمالات المشتركة لـ  $X$  و  $Y$ ، والتي تعني الاحتمالية لكل متغير أن يحصل عليها بنفس الوقت. في هذه الحاله، نلاحظ أن  $X$  و  $Y$  مستقلان وموزعين بالتساوي؛ كلا المتغيران العشوائيان يمثلان احتمالات عشوائية مستقلة للإختيار من بين البيانات، وعملية الإختيار الأولى لا تأثر على الثانية. مثلاً، إحتمالية أن  $X = 51$  و  $Y = 50$  هي  $P(X = 51, Y = 50) = \frac{1}{4} \cdot \frac{2}{4} = \frac{2}{16}$ . بنفس الطريقة، نحصل على التالي:

	$Y = 50$	$Y = 51$	$Y = 52$
$X = 50$	$\frac{4}{16}$	$\frac{2}{16}$	$\frac{2}{16}$
$X = 51$	$\frac{2}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$X = 52$	$\frac{2}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$

دعنا الآنأخذ بعين الاعتبار لوأخذنا شخصان من هذه البيانات دون توفير بدلائل لهم. كما في السابق، نعرف  $X$  كالعمر للشخص الأول و  $Y$  العمر للشخص الثاني، و  $Z = X - Y$ . ولكن، الآن  $X$  و  $Y$  ليست مستقلة؛ مثلاً، إذا عرفنا أن  $X = 51$ ، فإن  $Y \neq 51$ . ونجد التوزيع المشترك لـ  $X$  و  $Y$  كالتالي:

	$Y = 50$	$Y = 51$	$Y = 52$
$X = 50$	$\frac{2}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{2}{12}$
$X = 51$	$\frac{2}{12}$	0	$\frac{1}{12}$
$X = 52$	$\frac{2}{12}$	$\frac{1}{12}$	0

يمكننا إيجاد التوزيع الهاشمي لـ  $Y$  من الجدول:

$$\begin{aligned}
P(Y = 50) &= P(Y = 50, X = 50) + P(Y = 50, X = 51) + P(Y = 50, X = 52) \\
&= \frac{2}{12} + \frac{2}{12} + \frac{2}{12} \\
&= \frac{1}{2} \\
P(Y = 51) &= \frac{2}{12} + 0 + \frac{1}{12} = \frac{1}{4} \\
P(Y = 52) &= \frac{2}{12} + \frac{1}{12} + 0 = \frac{1}{4}
\end{aligned}$$

لاحظ أننا قمنا بجمع كل عمود من التوزيع المشترك في الجدول العلوي. يمكن للشخص حساب نتائج الجمع لكل عمود وكتابتها على الهاشم أسفل الجدول؛ هذه كانت بداية فكرة المصطلح التوزيع الهاشمي.

يجب أن تلاحظ أيضاً أن  $X$  و  $Y$  ليست مستقلة عندما تأخذ عينات دون توفير بدائل. مثلاً، إذا كانت  $52 = X$  فإن  $52 \neq Y$ . مع ذلك، لا يزال التوزيع الهاشمي بين  $X$  و  $Y$  نفسه.

### ملخص المتغيرات العشوائية

في هذا الجزء، تعرفنا على المتغيرات العشوائية، متغيرات رياضية تأخذ قيم بناءً على عملية عشوائية. هذه النتائج يجب أن تعرف بشكل كامل ودقيق، كل نتيجة يجب أن تحتوي على احتمالية معرفة بشكل واضح للحالات. المتغير العشوائي مفيد جداً في كثير من الحالات، بما فيها عملية جمع البيانات.

## التوقع والتباين

على الرغم أن المتغير العشوائي يتم وصفه بشكل كامل بواسطة دالة PMF الخاصة به، عادةً ما نستخدم التوقع و التبيان لوصف متوسط وتوزيع المتغير على المدى الطويل. هذان المتغيران لديهما خصائص رياضية مميزة والتي لديها أهمية خاصة لعلم البيانات. مثلاً، يمكننا إظهار أن التوقع صحيح على المدى البعيد عن طريق إظهار نتيجة التوقع متساوية لقيمه مقدمة المجتمع الإحصائي. سنبدأ بتعريف التوقع والتباين، والتعرف على أهم خصائصهم الرياضية، والانتهاء بتطبيق بسيط على التوقع.



### التوقع

بالعادة، يهمنا متوسط القيمة العشوائية على المدى البعيد لأنها تعطينا نظرة عن توزيع البيانات. نطلق على المتوسط على المدى البعيد القيمة المتوقعة، أو التوقع **Expected Value** للقيمة العشوائية. التوقع القيمة العشوائية  $X$  هو:

$$\mathbb{E}[X] = \sum_{x \in \mathbb{X}} x \cdot P(X = x)$$

مثلاً، إذا كانت  $X$  تمثل رمي حجر النرد مرة واحدة:

$$\begin{aligned}
\mathbb{E}[X] &= 1 \cdot P(X = 1) + 2 \cdot P(X = 2) + \dots + 6 \cdot P(X = 6) \\
&= 1 \cdot \frac{1}{6} + 2 \cdot \frac{1}{6} + \dots + 6 \cdot \frac{1}{6} \\
&= 3.5
\end{aligned}$$

لاحظ أن القيمة المتوقعة ل  $X$  لا يجب أن تكون القيمة المحتملة لها. على الرغم أن  $\mathbb{E}[X] = 3.5$ ، ولكن  $X$  لا يمكنها أن تكون القيمة 3.5.

القيمة 3.5 ليست موجودة في حجر النرد، القيمة المتوقعة هي من 1 حتى 6.

مثال: لنعود للبيانات في الجزء السابق.

	Name	Age
0	Carol	50
1	Bob	52
2	John	51
3	Dave	50

نختار شخصاً واحداً من هذه البيانات بشكل محايد وعشوائي. لتكون  $Y$  هي القيمة العشوائية التي تمثل عمر هذا الشخص. إذاً:

$$\begin{aligned}
\mathbb{E}[Y] &= 50 \cdot P(Y = 50) + 51 \cdot P(Y = 51) + 52 \cdot P(Y = 52) \\
&= 50 \cdot \frac{2}{4} + 51 \cdot \frac{1}{4} + 52 \cdot \frac{1}{4} \\
&= 50.75
\end{aligned}$$

مثال: لنفرض أننا سنأخذ عينتين من البيانات مع استبدالهم. إذا كانت القيمة العشوائية  $Z$  تمثل الفرق في العمر بين الشخص الأول والثاني في هذه العينة، فما هي  $\mathbb{E}[Z]$ ؟

كما في الجزء السابق، عرفنا  $X$  على أن عمر الشخص الأول، و  $Y$  هي عمر الشخص الثاني، ف  $Z = X - Y$ . من التوزيع المشترك ل  $X$  و  $Y$  الذي أعطي في الجزء السابق، يمكننا إيجاد دالة كثافة الاحتمال ل  $Z$ ، مثلاً:

$$P(Z = 1) = P(X = 51, Y = 50) + P(X = 52, Y = 51) = \frac{3}{16}$$

فإن:

$$\begin{aligned}\mathbb{E}[Z] &= (-2) \cdot P(Z = -2) + (-1) \cdot P(Z = -1) + \dots + (2) \cdot P(Z = 2) \\ &= (-2) \cdot \frac{2}{16} + (-1) \cdot \frac{3}{16} + \dots + (2) \cdot \frac{2}{16} \\ &= 0\end{aligned}$$

بما أن  $\mathbb{E}[Z] = 0$ ، فأنتا متوقع على المدى البعيد أن الفرق في الأعمار في عينه ذات الحجم 2 يساوي 0.

### خطية التوقع

عند التعامل مع مجموعات خطية للمتغيرات العشوائية كما رأينا في الأمثلة السابقة، يمكننا عادةً استخدام خطية التوقع  **Expectations**

خطية التوقع يمكن وصفها كالتالي:

$$\mathbb{E}[X + Y] = \mathbb{E}[X] + \mathbb{E}[Y]$$

ومن ذلك الوصف يمكننا قول التالي:

$$\mathbb{E}[cX] = c\mathbb{E}[X]$$

وفيها  $X$  و  $Y$  هي متغيرات عشوائية، و  $c$  رقم ثابت.

يمكننا القول، التوقع لمجموع متغيرين عشوائيين هو مجموع التوقع للمتغيرات.

في المثال السابق، رأينا أن  $Z = X - Y$ . فإن:

$$\mathbb{E}[Z] = \mathbb{E}[X - Y] = \mathbb{E}[X] - \mathbb{E}[Y]$$

الآن يمكننا حساب  $\mathbb{E}[X]$  و  $\mathbb{E}[Y]$  بشكل منفصل عن بعضهما. لأن  $\mathbb{E}[X] = \mathbb{E}[Y] = 50.75$  فإن  $\mathbb{E}[Z] = 50.75 - 50.75 = 0$ .

يمكن حساب خطية التوقع حتى لو كانت  $X$  و  $Y$  غير مستقلان! كمثال، لنأخذ شخصين من نفس البيانات في الجزء السابق دون توفير بديل لهم. كما في السابق، عرفنا  $X$  أنها عمر الشخص الأول و  $Y$  هي عمر الشخص الثاني، و  $Z = X - Y$  غير مستقلان، معرفة أن  $X = 52$ ، يعني أن  $Y \neq 52$ .

من خلال التوزيع المشترك ل  $X$  و  $Y$  الذي سبق أن أعطي في الجزء السابق، يمكننا إيجاد  $\mathbb{E}[Z]$ :

$$\begin{aligned}\mathbb{E}[Z] &= (-2) \cdot P(Z = -2) + (-1) \cdot P(Z = -1) + \dots + (2) \cdot P(Z = 2) \\ &= (-2) \cdot \frac{2}{12} + (-1) \cdot \frac{3}{12} + \dots + (2) \cdot \frac{2}{12} \\ &= 0\end{aligned}$$

طريقة أسهل لإيجاد التوقع هي استخدام خطية التوقع. حتى ولو كانت  $X$  و  $Y$  مستقلان، فإن  $\mathbb{E}[Z] = \mathbb{E}[X - Y] = \mathbb{E}[X] - \mathbb{E}[Y]$ . لنتذكر من الجزء السابق أن  $X$  و  $Y$  لديهما نفس PMF حتى عندما قمنا بأخذ عينات دون توفير بديل، والذي يعني أن  $\mathbb{E}[X] = \mathbb{E}[Y] = 50.75$ . وبالتالي، فكما في المثال الأول،  $\mathbb{E}[Z] = 0$ .

لاحظ أن خطية التوقع فقط تتطابق على القيم الخطية من المتغيرات العشوائية. مثلاً،  $\mathbb{E}[XY] = \mathbb{E}[X]\mathbb{E}[Y]$  ليس خطياً لـ  $X$  و  $Y$ . في هذه الحالة،  $\mathbb{E}[XY]$  هي صحيحة بشكل عام فقط للمتغيرات العشوائية المستقلة.

### التبابين

التبابين لمتغير عشوائي هي تعبر رقمي لتوزيع المتغير. مثلاً، للمتغير العشوائي  $X$ :

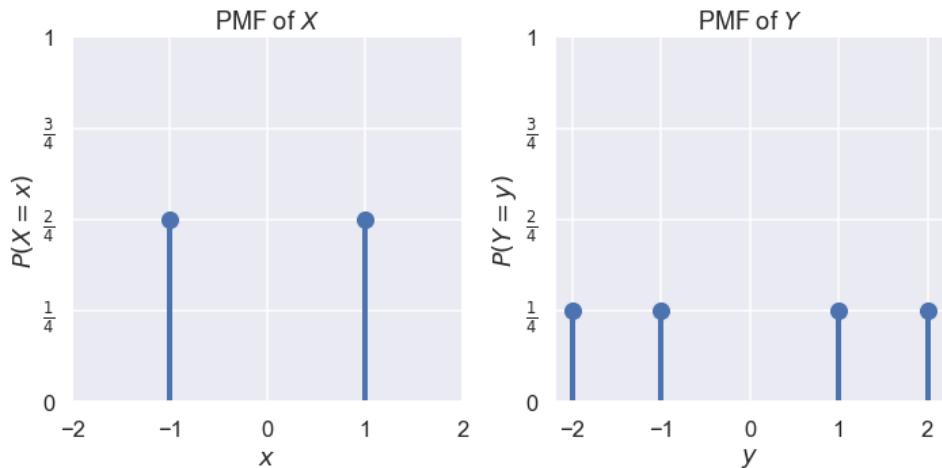
$$Var(X) = \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])^2]$$

المعادلة السابقة تقول إن التبabin ل  $X$  هو تربع متوسط المسافة للقيمة المتوقعة ل  $X$ .

مع بعض العمليات الرياضية التي لم نكتبه لل اختصار، يمكننا أن نكتب المعادلة بالشكل التالي:

$$Var(X) = \mathbb{E}[X^2] - \mathbb{E}[X]^2$$

لنأخذ المتغيرين العشوائيين  $X$  و  $Y$  ولديهما التوزيعات الاحتمالية التالية:



تأخذ  $X$  القيم  $-1$  و  $1$  مع احتمالية  $\frac{1}{2}$  لهما. بينما تأخذ  $Y$  القيم  $-2, -1, 1$  و  $2$  مع احتمالية  $\frac{1}{4}$  لكل قيمة. وجدنا أن  $\mathbb{E}[X] = \mathbb{E}[Y] = 0$ . لأن  $Var(X) > Var(Y)$ .

$$\begin{aligned} Var(X) &= \mathbb{E}[X^2] - \mathbb{E}[X]^2 \\ &= \mathbb{E}[X^2] - 0^2 \\ &= \mathbb{E}[X^2] \\ &= (-1)^2 P(X = -1) + (1)^2 P(X = 1) \\ &= 1 \cdot 0.5 + 1 \cdot 0.5 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Var(Y) &= \mathbb{E}[Y^2] - \mathbb{E}[Y]^2 \\ &= \mathbb{E}[Y^2] - 0^2 \\ &= \mathbb{E}[Y^2] \\ &= (-2)^2 P(Y = -2) + (-1)^2 P(Y = -1) + (1)^2 P(Y = 1) + (2)^2 P(Y = 2) \\ &= 4 \cdot 0.25 + 1 \cdot 0.25 + 1 \cdot 0.25 + 4 \cdot 0.25 \\ &= 2.5 \end{aligned}$$

كما توقعنا، التباين في  $Y$  أكبر من التباين في  $X$ .

لدى التباين خاصية مفيدة تسهل من بعض العمليات الرياضية. إذا كانت  $X$  متغير عشوائي:

$$Var(aX + b) = a^2 Var(X)$$

إذا كان لدينا متغيرين عشوائيين  $X$  و  $Y$  مستقلان:

$$Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y)$$

لاحظ أن خطبة التوقع يمكن تطبيقها على  $X$  و  $Y$  حتى لو كانوا غير مستقلان. ولكن،  $Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y)$  لا يمكن أن تطبق إلا إذا كانوا مستقلان.

## التغيير

التغيير لمتغيرين عشوائيين  $X$  و  $Y$  نعرفها كالتالي:

$$Cov(X, Y) = \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])(Y - \mathbb{E}[Y])]$$

مرة أخرى، يمكننا القيام ببعض العمليات الرياضية ونحصل على التالي:

$$Cov(X, Y) = \mathbb{E}[XY] - \mathbb{E}[X]\mathbb{E}[Y]$$

لاحظ أنه على الرغم أن التباين للمتغير العشوائي يجب أن يكون رقم إيجابي، التغيير لمتغيرين عشوائيين يمكن أن يكون سلبي. بالأصل، التغيير يساعد على قياس العلاقة بين متغيرين؛ علامة نتيجة حساب التغيير تساعدنا على معرفة العلاقة بين المتغيرين إذا كانت إيجابية أو سلبية. إذا كان المتغيرين  $X$  و  $Y$  مستقلين، فإن  $Cov(X, Y) = \mathbb{E}[XY] - \mathbb{E}[X]\mathbb{E}[Y] = 0$ .

## متغيرات برنولي العشوائية

لنفترض أننا نستخدم المتغير العشوائي  $X$  لتمثيل عملية رمي العملة المعدنية بشكل منحاز وفيها  $p$  إذا كان رمي العملة يؤدي إلى صورة، و  $0$  إذا كان رمي العملة يؤدي إلى كتابه. لذا،  $P(X = 1) = p$  و  $P(X = 0) = 1 - p$ . هذا النوع من المتغيرات العشوائية الثنائية يطلق عليه نافير برنولي العشوائي؛ يمكننا حساب القيمة المتوقعة والتباين بالطريقة التالية:

$$\mathbb{E}[X] = 1 \times p + 0 \times (1 - p) = p$$

$$\begin{aligned}
Var(X) &= \mathbb{E}[X^2] - \mathbb{E}[X]^2 \\
&= 1^2 \times p + 0^2 \times (1-p) - p^2 \\
&= p - p^2 \\
&= p(1-p)
\end{aligned}$$

## متوسط العينة

لنفترض أن لدينا عملية معدنية مُنحازة وفيها  $P(Heads) = p$  ونريد أن نتوقع  $p$ . يمكننا رمي العملة  $n$  مرات وأخذ عينة من الرميات وحساب نسبة ظهور الصورة في عينتنا، نسميتها  $\hat{p}$ . إذا عرفنا أن  $\hat{p}$  أقرب بشكل أكثر أن تكون  $p$  (صورة)، يمكننا استخدام  $\hat{p}$  كوسيلة توقع أو تقدير لـ  $p$ .

لاحظ أن  $p$  ليس قيمة عشوائية؛ هي قيمة ثابتة بناءً على الانحياز في عملتنا المعدنية.  $\hat{p}$  هي قيمة عشوائية تكونها تتكون من الري العشوائي للعملة المعدنية. لذا، يمكننا حساب التوقع والتباين لـ  $\hat{p}$  لنعرف مدى تقديره لـ  $p$ .

لحساب  $\mathbb{E}[\hat{p}]$ ، سنحتاج أولاً لتعريف المتغيرات العشوائية لكل عملية رمي للعملة المعدنية في عينتنا. لتكون  $X_i$  هي متغير برنولي العشوائي للقيمة  $i^{th}$  من رمي العملة. إذا، نعرف أن:

$$\hat{p} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

لحساب التوقع لـ  $\hat{p}$ ، يمكننا تعويض المعادلة في الأعلى ونستخدم ما نعرفه أن  $p$  بما أن  $X_i$  هي متغير برنولي العشوائي.

$$\begin{aligned}
\mathbb{E}[\hat{p}] &= \mathbb{E}\left[\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}\right] \\
&= \frac{1}{n}\mathbb{E}[X_1 + \dots + X_n] \\
&= \frac{1}{n}(\mathbb{E}[X_1] + \dots + \mathbb{E}[X_n]) \\
&= \frac{1}{n}(p + \dots + p) \\
&= \frac{1}{n}(np) \\
\mathbb{E}[\hat{p}] &= p
\end{aligned}$$

وجدنا أن  $\mathbb{E}[\hat{p}] = p$ . بمعنى آخر، بعد كافي من عمليات رمي للعملة نتوقع أن  $\hat{p}$  ستلتقي مع الانحياز الحقيقي في العملة  $p$ . نقول إن  $\hat{p}$  هي متوقع (مقدر) غير متحيز لـ  $p$  **Unbiased Estimator**.

الآن، نقوم بحساب التباين لـ  $\hat{p}$ . بما أن كل عملية رمي للعملة هي عملية مستقلة عن باقي الرميات، فأنتا تعرف أن  $X_i$  هي مستقلة. ذلك يُمكننا من استخدام خطية التباين:

$$\begin{aligned}
Var(\hat{p}) &= Var\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right) \\
&= \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n Var(X_i) \\
&= \frac{1}{n^2} \times np(1-p) \\
Var(\hat{p}) &= \frac{p(1-p)}{n}
\end{aligned}$$

من المعادلة السابقة، نرى أن أداة التوقع لدينا تباينها يقل كلما زادت  $n$ ، عدد مرات الري في عينتنا. بمعنى آخر، إذا قمنا بجمع الكثير من البيانات فستكون متأكدين من نتائج أداة توقعنا. يعرف ذلك بقاعدة الأرقام الكبيرة.



## ملخص التوقع والتباين

استخدمنا التوقع والتباين لشرح بسيط متوسط وانتشار العينة العشوائية. هذه الأدوات الرياضية تساعدننا على تحديد مدى كفاءة قيمة محسوبة من العينة على توقع باقي المجتمع الإحصائي.

التقليل من دالة الخسارة يكون لنا نموذجاً دقيقاً على بيانات التدريب. التوقع والتباين يساعدنا على إظهار بيانات عن دقة النموذج عندما يرى بيانات جديده من المجتمع الإحصائي.

## المخاطر

في مثال لأحد النماذج التي تحدثنا عنها في الفصول السابقة، النادر قام بجمع بيانات الإكراميات التي حصل عليها في إحدى الشهور. قمنا باختيار نموذج وتقليل دالة الخسارة للخطأ التربيعي المتوسط (MSE)، لتأكد أن نموذجنا يقدم نتائج أفضل من بقية النماذج الأخرى على هذه البيانات. لهذا النموذج متغير واحد فقط وهو  $\theta$ . وجدنا أيضاً أن متغير التحسين لدالة الخسارة MSE هو  $\hat{\theta} = \text{mean}(y)$

على الرغم أن مثل هذه النماذج تقدم توقعات وتنبؤات صحيحة على بيانات التدريب، نريد أن نعرف ما إذا كان النموذج يستطيع القيام بنفس الأداء على بيانات جديدة من المجتمع الإحصائي للبدء في التعامل مع هذه المشكلة، سنتعرف على المصطلح الإحصائي **المخاطر Risk**، وتعرف أيضاً ب**الخسارة المتوقعة Expected Loss**.



## التعريف

مخاطر النموذج هي الخسارة المتوقعة للنموذج عند تجربته على قيمه عشوائية من المجتمع الإحصائي.

في مثالنا، المجتمع الإحصائي هو جميع الإكراميات التي حصل عليها النادل طوال فترة عمله، بما فيها الإكراميات المستقبلية. نستخدم المتغير العشوائي  $X$  لتمثيل نسبة الإكرامية العشوائية المختارة من المجتمع، والمتغير  $\theta$  يمثل توقع النموذج. بإستخدام هذه الرموز، فإن المخاطر  $R(\theta)$  للنموذجنا هي:

$$R(\theta) = \mathbb{E}[(X - \theta)^2]$$

في المعادلة، استخدمنا دالة الخسارة  $MSE$  والتي تعطينا  $(X - \theta)^2$ . المخاطر هي دالة  $\theta$  كوننا نتحكم بمحظى  $\theta$  كما يحلو لنا.

على عكس الخسارة، استخدام المخاطر يسمح لنا بتحديد أسباب دقة النموذج على المجتمع بشكل عام. إذا كانت نتيجة المخاطر لنموذجنا قليلة، فإنه سيقوم بتنبؤات صحية على بيانات المجتمع على المدى البعيد. في الجانب الآخر، إذا كانت المخاطر لنموذجنا عالية فإن أداءه على بيانات المجتمع ضعيفاً.

بالطبع، نحاول أن نختار قيمه  $\theta$  يجعل مخاطر النموذج أقل ما يمكن. نستخدم المتغير  $\theta^*$  لتمثيل القيمة الناتجة عن استخدام  $\theta$  للحصول على أقل مخاطر، أو أفضل متغير للحصول على نموذج مثالى للبيانات. للتوضيح،  $\theta^*$  تمثل النموذج الذي يقلل المخاطر بينما  $\hat{\theta}$  تمثل المتغير الذي يقلل من دالة الخسارة للبيانات.

## تقليل المخاطر

لنحاول إيجاد قيمة  $\theta$  التي تقلل من المخاطر. في السابق، كنا نستخدم التفاضل والتكامل للقيام بعملية التقليل هذه. الآن، سنسخدم أدوات رياضية ذا مصطلحات واضحة. سنبدل  $\theta - X$  بـ  $X - \mathbb{E}[X] + \mathbb{E}[X] - \theta$  ونتوسيع:

$$\begin{aligned} R(\theta) &= \mathbb{E}[(X - \theta)^2] \\ &= \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X] + \mathbb{E}[X] - \theta)^2] \\ &= \mathbb{E}[((X - \mathbb{E}[X]) + (\mathbb{E}[X] - \theta))^2] \\ &= \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])^2 + 2(X - \mathbb{E}[X])(\mathbb{E}[X] - \theta) + (\mathbb{E}[X] - \theta)^2] \end{aligned}$$

الآن، نطبق خطية التوقع ونبسط المعادلة. سنسخدم  $\mathbb{E}[X](X - \mathbb{E}[X]) = 0$  وهي تعني بشكل كبير أن  $\mathbb{E}[X](X - \mathbb{E}[X])$  تقع في متوسط التوزيع لـ  $X$ .

$$\begin{aligned} R(\theta) &= \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])^2] + \mathbb{E}[2(X - \mathbb{E}[X])(\mathbb{E}[X] - \theta)] + \mathbb{E}[(\mathbb{E}[X] - \theta)^2] \\ &= \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])^2] + 2(\mathbb{E}[X] - \theta)\underbrace{\mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])]}_{=0} + (\mathbb{E}[X] - \theta)^2 \\ &= \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])^2] + 0 + (\mathbb{E}[X] - \theta)^2 \\ R(\theta) &= \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])^2] + (\mathbb{E}[X] - \theta)^2 \end{aligned}$$

لاحظ أن أول مصطلح في المعادلة السابقة هو التباين  $Var(X)$  لـ  $X$ ، والذي لا يعتمد على  $\theta$ . المصطلح الثاني يعطي مقاييس لمدى قرب  $\theta$  من  $\mathbb{E}[X]$ . بسبب ذلك، يطلق على المصطلح الثاني الانحياز **Bias** للنموذج. بمعنى آخر، مخاطر النموذج هي انحياز النموذج إضافة إلى التباين للكمية التي نرغب بالتنبؤ عنها:

$$R(\theta) = \underbrace{(\mathbb{E}[X] - \theta)^2}_{\text{bias}} + \underbrace{Var(X)}_{\text{variance}}$$

ولذلك، تكون المخاطر أقل عندما لا يكون نموذجنا مُنحاز:

## تحليل المخاطر

لاحظ عندما يكون نموذجنا دون تحييز، المخاطر تكون إيجابية. ذلك يعني أنه حتى النموذج المثالى سيحصل على توقعات خاطئة. ذلك يحدث لأن النموذج سيتبناً بقيمته واحدة فقط بينما  $X$  قد تأخذ أي قيمه من المجتمع الإحصائي. التباين بين لنا حجم وكمية الخطأ. إذا كان التباين قليل يعني أن  $X$  ستكون قيمه قريبه من  $\theta$ ، وعندما يكون التباين عالي فيعني أن  $X$  ستكون قيمه بعيدة عن  $\theta$ .

## تقليل المخاطر التجريبية

من التحليل السابق، نريد تعين  $\theta = \mathbb{E}[X]$ . للأسف، لحساب  $\mathbb{E}[X]$  نحتاج لمعرفة كل شيء عن المجتمع الإحصائي. لمعرفة السبب، تحقق من التعبير التالي لـ  $\mathbb{E}[X]$ :

$$\mathbb{E}[X] = \sum_{x \in \mathbb{X}} x \cdot P(X = x)$$

تمثل  $P(X = x)$  احتمالية أن  $X$  تأخذ قيمه معينة من المجتمع الإحصائي. لكن، لحساب الاحتمالية، نحتاج لمعرفة جميع القيم التي يمكن أن تأخذها  $X$  وعدد مرات ظهورها في المجتمع الإحصائي. بمعنى آخر، لتقليل المخاطر في النموذج بشكل مُتقن، نحتاج أن توفر لدينا بيانات المجتمع الإحصائي.

يمكنا مواجهة هذه المشكلة عن طريق معرفة أن توزيع القيم في عينة عشوائية كبيرة سيكون قريباً من توزيع القيم في المجتمع الإحصائي. إذا كان ذلك صحيحاً في عينتنا، يمكننا التعامل مع العينة كأنها كامل المجتمع الإحصائي.

لنفترض أننا رسمنا نقاطاً بشكل عشوائي من العينة بدلاً من المجتمع الإحصائي. بما أن لدينا عدد  $n$  من النقاط في العينة  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ، كل نقطة  $x_i$  لديها احتمالية تساوي  $\frac{1}{n}$  للظهور. الآن يمكننا كتابة توقع  $E[X]$ :

$$E[X] \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \text{mean}(x)$$

لذا، توقعنا المناسب  $\hat{\theta}$  باستخدام المعلومات من العينة العشوائية هو أن  $\hat{\theta} = \text{mean}(x)$ . نقول إن  $\hat{\theta}$  تقلل من المخاطر التجريبية، وهي المخاطر التي تم حسابها باستخدام العينة كديل عن المجتمع الإحصائي. **Empirical Risk**

### أهمية العينات العشوائية

يجب أن نلاحظ أهمية العينة العشوائية في المثال السابق. إذا كانت العينة غير عشوائية، لن نستطيع إثبات الفرضية السابقة أن توزيع العينة يشبه توزيع المجتمع الإحصائي. باستخدام عينه غير عشوائية لتوقع  $\theta^*$  ستكون النتائج عادةً منحازة وذات مخاطر أعلى.

### العلاقة مع تقليل الخسارة

لتذكر أننا شرحنا مسبقاً بأن  $(x) = \text{mean}$  تقلل من دالة الخسارة  $MSE$  في البيانات. الآن، أخذنا خطوه جادة إلى الأمام. إذا كانت بيانات التدريب هي عينه عشوائية، فإن  $(x) = \text{mean}$  لن تكون لنا النموذج المثالي فقط لبيانات التدريب ولكن أيضاً لـكامل المجتمع الإحصائي، بالأخت بالاعتبار المعلومات التي لدينا عن العينة.

### ملخص المخاطر

باستخدام الأدوات الرياضية التي طورناها في هذا الفصل، تعرفنا على أداء النموذج على المجتمع الإحصائي. النموذج يكون ذو تنبؤات دقيقة إذا كانت المخاطر الإحصائية **Statistical Risk** أقل. وجدنا أن المتغير للنموذج المثالي هو:

$$\theta^* = E[X]$$

بما أننا لا نستطيع القيام بعملية الحساب بسهولة، وجدنا متغير النموذج الذي يقلل من المخاطر التجريبية **Empirical Risk**

$$\hat{\theta} = \text{mean}(x)$$

إذا كانت بيانات التدريب أخذت بشكل عشوائي من المجتمع الإحصائي، فغالباً  $\hat{\theta} \approx \theta^*$ . لذا، النموذج الذي يتم تدريبه باستخدام بيانات عشوائية ضخمة من المجتمع الإحصائي غالباً ما يؤدي بشكل ممتاز على كامل المجتمع الإحصائي.

## النماذج الخطية

### مقدمة

الآن، بعد أن تعلمنا بشكل عام أدوات لضبط النماذج مع دوال التكلفة، نتحول لطرق تحسين النموذج. للتبسيط، في السابق حددنا علنا على النموذج الثابت: نموذجنا فقط يتوقع رقم واحد.

ولكن، إعطاء نموذج كهذا للنادل لن يرضيه. يود النادل أن يوضح أنه حصل على معلومات أكثر نسبة إكرامية من الطاولات التي خدمها. لماذا لا نستخدم بياناتة الأخرى، مثلًا حجم العمالء في الطاولة ومجموع الفاتورة، لعرض جعل النموذج أكثر فائدة.

في هذا الفصل سنتعرف على النماذج الخطية والذي يسمح لنا باستخدام جميع البيانات التي لدينا لإجراء توقعات. النماذج الخطية لا تستخد بمنطقي واسع فقط، بل أيضاً لديها أساس نظرية غنية بالمعلومات التي تجعلنا نفهم أدوات مستقبليه للنماذج. سنعرف على نموذج الانحدار الخطى البسيط الذي يستخدم متغير واحد، سنتعلم كيف يستخدم التزول الاشتقاقى لضبط النموذج، وأخيراً التوسع في النموذج وإضافة المزيد من المتغيرات له.

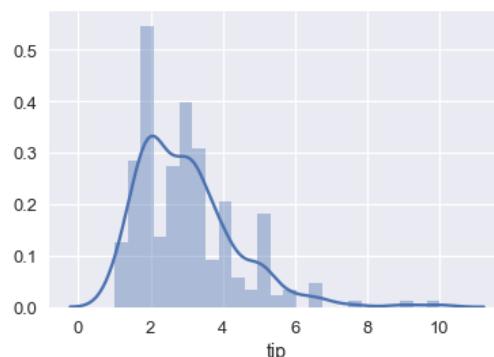
### التنبؤ بالإكراميات

سابقاً، تعاملنا مع بيانات تحتوى على صفات واحد لكل طاولة قام النادل بخدمتها لمدة أسبوع. النادل قام بجمع البيانات للقيام بتوقع بقيمة الإكرامية التي سيحصل عليها في المستقبل:

```
</>  
tips = sns.load_dataset('tips')  
tips.head()
```

	total_bill	tip	sex	smoker	day	time	size
0	16.99	1.01	Female	No	Sun	Dinner	2
1	10.34	1.66	Male	No	Sun	Dinner	3
2	21.01	3.5	Male	No	Sun	Dinner	3
3	23.68	3.31	Male	No	Sun	Dinner	2
4	24.59	3.61	Female	No	Sun	Dinner	4

```
</>
sns.distplot(tips['tip'], bins=25);
```



كما تحدثنا سابقاً، إذا أخذنا النموذج الثابت ودالة الخطأ التربيعي المتوسط، فإن نموذجنا سيتوقع متوسط الإكراميات:

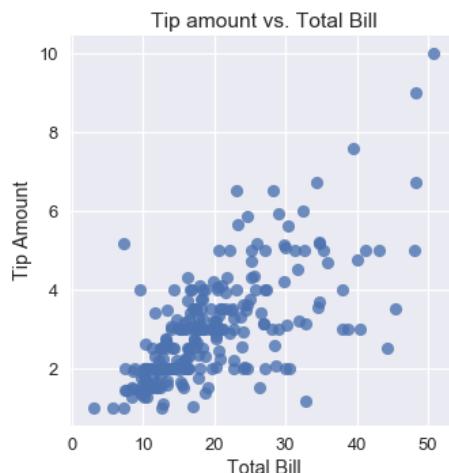
```
</>
np.mean(tips['tip'])
```

```
2.9982786885245902
```

يعني ذلك أن عندما يأتي مجموعة من الزبائن للنادل ثم يسألنا النادل عن مجموعه الإكرامية التي سيحصل عليها، فسنجيب عليه " حوالي \$3"، أيًّا كان عدد الزبائن ومجموع الفاتورة.

ولكن، عند التتحقق من باقي المتغيرات في البيانات، يمكننا أن نقوم بتوقعات دقiqueه إذا أضفينا تلك المتغيرات للنموذج. مثلاً، الرسم البياني التالي يوضح مجموع الإكرامية مقارنة بمبلغ الفاتورة ويظهر العلاقة الإيجابية بينهما:

```
</>
sns.lmplot(x='total_bill', y='tip', data=tips, fit_reg=False)
plt.title('Tip amount vs. Total Bill')
plt.xlabel('Total Bill')
plt.ylabel('Tip Amount');
```



على الرغم من أن متوسط الإكرامية هو  $\$3$ ، إذا كانت الطاولة طلبت ما مجموعه  $\$40$  من الوجبات فأنت متاكدن أن النادل سيحصل على أكثر من  $\$3$  كإكرامية. لذا، نريد التعديل في نموذجنا ليتمكن من التوقع بناءً على متغيرات في بيانتنا بدلاً من توقع متوسط الإكرامية. للقيام بذلك، سنستخدم النموذج الخطى بدلاً من الثابت.

لتراجع أولاً الأدوات التي لدينا لبناء النموذج والتوقع وتعريف بعض الرموز الجديدة لنتمكن بشكل أفضل من تمثيل العمليات الرياضية الإضافية في النموذج الخطى.

## تعريف نموذج خطى بسيط

نحن مهتمون بتوقع قيمة الإكرامية بناءً على مجموع الفاتورة. لنجعل  $y$  تمثل مجموع الإكرامية، المتغير الذي نريد أن يتوقعه النموذج، و  $x$  تمثل مجموع الفاتورة، المتغير الذي نريد استخدامه للتوقع.

نقوم بتعریف النموذج الخطى  $f_{\theta}$  الذي يعتمد على  $x$ :

$$f_{\theta}^*(x) = \theta_1^*x + \theta_0^*$$

نتعامل مع  $f_{\theta}^*(x)$  على أنها الدالة التي أنشأت البيانات.

تفرض  $f_{\theta}^*(x) = y$  أن  $y$  لديها علاقة خطية كاملة مع  $x$ . ولكن، في بيانتنا لا يظهر لنا خط مستقيم بسبب وجود بعض البيانات العشوائية المزعجة  $\epsilon$ . رياضياً، نأخذ بعين الاعتبار هذه المشكلة بإضافة المصطلح:

$$y = f_{\theta}^*(x) + \epsilon$$

إذا كانت الافتراضية أن  $y$  لديها علاقة خطية كاملة مع  $x$ ، وتمكننا بطريقة ما من توقع القيمة الصحيحة لـ  $\theta_1^*$  و  $\theta_0^*$ ، وبشكل غير اعتيادي لم يكن لدينا أي عشوائية في البيانات، سنتمكن من التوقع بشكل دقيق قيمة الإكرامية التي سيحصل عليها النادل من جميع الزبائن، وبشكل دائم. بالطبع، لا يمكننا تلبية جميع المعايير في الواقع. بدلاً من ذلك، نتوقع  $\theta_1^*$  و  $\theta_0^*$  باستخدام البيانات لجعل توقعاتنا أقرب دقة للواقع.

## توقع النموذج الخطى

بما أننا لا نستطيع إيجاد قيمة  $\theta_1^*$  و  $\theta_0^*$  بشكل دقيق، سنفترض أن بيانتنا تتوقع قيمة هذه المتغيرات. نشير للتوقعات بـ  $\hat{\theta}_1$  و  $\hat{\theta}_0$ ، وتوقعنا الذي يتم ضبطه بالنموذج بـ  $\hat{\theta}_1$  و  $\hat{\theta}_0$ ، والنموذج:

$$f_{\theta}(x) = \theta_1 x + \theta_0$$

أحياناً ستري  $y = h(x)$  بدلاً من  $f_{\theta}(x)$ ; الـ  $h$  تعنى الفرضية *Hypothesis*، كون  $f_{\theta}(x)$  هي فرضيتنا لـ  $y$ . من أجل تحديد قيمة  $\hat{\theta}_1$  و  $\hat{\theta}_0$ ، نقوم باختيار دالة تكلفة وتقليلها باستخدام النزول الاشتراقي.

## ضبط النموذج الخطى باستخدام النزول الاشتراقي

نريد ضبط نموذج خطى يتنبأ بقيمة الإكرامية من مجموع الفاتورة:

$$f_{\theta}(x) = \theta_1 x + \theta_0$$

ولتحسين قيم  $\theta_1$  و  $\theta_0$ ، نحتاج أولاً لاختيار دالة خسارة. سنتختار دالة خسارة الخطأ التربيعي المتوسط *MSE*:

$$L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - f_{\theta}(x_i))^2$$

لاحظ أننا عدلنا على دالة الخسارة لتوضيح إضافتنا لمتغير في النموذج. الآن،  $\mathbf{x}$  هي مصفوفة أحادية بعد تحويلي على جميع الفواتير، و  $\mathbf{y}$  هي مصفوفة أحادية بعد تحويلي على قيمة كل إكرامية، و  $\theta$  هي مصفوفة تحتوي على التالي:  $\theta = [\theta_1, \theta_0]$ .

يطلق على استخدام النموذج الخطى مع دالة خسارة الخطأ التربيعي المتوسط باسم الانحدار الخطى للمربعات الصغرى *Least-squares Linear Regression*. يمكننا استخدام النزول الاشتراقي لإيجاد قيمة  $\theta$  التي تقلل الخسارة.

## ملاحظة عن استخدام العلاقات

إذا سبق أن رأيت الانحدار الخطى للمربعات الصغرى، قد تلاحظ أننا نستطيع حساب معامل الارتباط واستخدامه لتحديد قيمة  $\theta_1$  و  $\theta_0$ . هذه طريقة أسهل وأسرع للحساب بدلاً من استخدام النزول الاشتراقي في أي معاذه، تماماً كما يكون أسهل لنا حساب المتوسط بدلاً من حساب النزول الاشتراقي لضبط النموذج الثابت. على أية حال، سنسخدم النزول الاشتراقي لأنها طريقة عامله لتقليل الخسارة وستعمل معنا لاحقاً عندما نتعرف على نماذج لا يمكن حساب خسارتها إحصائياً. بالاصح، في كثير من المشاكل في العالم الحقيقي، سنسخدم النزول الاشتراقي حتى ولو كانت هناك طرق إحصائية تحليله لأن حسابها يأخذ وقتاً أطول من النزول الاشتراقي، خاصة عندما تكون البيانات ذات حجم كبير.

## MSE مشتقة خسارة الخطأ التربيعي المتوسط

لاستخدام النزول الاشتراقي، نحتاج لحساب مشتقة خسارة الخطأ التربيعي المتوسط بالنسبة ل  $\theta$ . الآن بما أن  $\theta$  عبارة عن مصفوفة ذات طول 2 وليست قيمة عددية مدرجة  $L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y})$ ,Scalar، أيضاً مصفوفة من الحجم 2.

$$\begin{aligned}
\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) &= \nabla_{\theta} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - f_{\theta}(x_i))^2 \right] \\
&= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 2(y_i - f_{\theta}(x_i))(-\nabla_{\theta} f_{\theta}(x_i)) \\
&= -\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - f_{\theta}(x_i))(\nabla_{\theta} f_{\theta}(x_i))
\end{aligned}$$

نعرف أن:

$$f_{\theta}(x) = \theta_1 x + \theta_0$$

نريد حساب قيمة  $\nabla_{\theta} f_{\theta}(x_i)$  والتي هي مصفوفة طولها 2:

$$\begin{aligned}
\nabla_{\theta} f_{\theta}(x_i) &= \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial \theta_0} f_{\theta}(x_i) \\ \frac{\partial}{\partial \theta_1} f_{\theta}(x_i) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial \theta_0} [\theta_1 x_i + \theta_0] \\ \frac{\partial}{\partial \theta_1} [\theta_1 x_i + \theta_0] \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 1 \\ x_i \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

أخيراً، نعرضها في معادلتنا الأساسية لنجعل على التالي:

$$\begin{aligned}
\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) &= -\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - f_{\theta}(x_i))(\nabla_{\theta} f_{\theta}(x_i)) \\
&= -\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - f_{\theta}(x_i)) \begin{bmatrix} 1 \\ x_i \end{bmatrix} \\
&= -\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} (y_i - f_{\theta}(x_i)) \\ (y_i - f_{\theta}(x_i))x_i \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

هذه مصفوفة من طولها 2 تكون  $(y_i - f_{\theta}(x_i))$  قيمة عدديّة مدرجّة.

## تطبيق النزول الاشتتقاقي

الآن، لنقوم بضبط التمودج الخطى على بيانات الإكراميات لتوقع قيمة الإكرامية من مجموعة الفاتورة.

أولاً، نقوم بتعريف دالة في بيانون لحساب الخسارة:

```

def simple_linear_model(thetas, x_vals):
    '''نتيجة هذه الدالة هي القيمة المتوقعة من التمودج الخطى'''
    return thetas[0] + thetas[1] * x_vals

def mse_loss(thetas, x_vals, y_vals):
    return np.mean((y_vals - simple_linear_model(thetas, x_vals)) ** 2)

```

ثم نعرف دالة تقوم بحساب خطيّة الخسارة:

```

def grad_mse_loss(thetas, x_vals, y_vals):
    n = len(x_vals)
    grad_0 = y_vals - simple_linear_model(thetas, x_vals)
    grad_1 = (y_vals - simple_linear_model(thetas, x_vals)) * x_vals
    return -2 / n * np.array([np.sum(grad_0), np.sum(grad_1)])

```

سنقوم باستخدام الدالة `minimize` التي سبق أن عرفناها لتطبيق النزول الاشتتقاقي:

```

def minimize(loss_fn, grad_loss_fn, x_vals, y_vals,
            alpha=0.0005, progress=True):
    # نستخدم النزول الاشتتقاقي للتقليل من دالة الخسارة
    # عندما يكون (theta_hat - theta)^T loss_fn(theta_hat) = 0
    # التغير أقل من 0.001 بين التكرارات
    theta = np.array([0., 0.])
    loss = loss_fn(theta, x_vals, y_vals)
    while True:
        if progress:
            print(f'theta: {theta} | loss: {loss}')
        gradient = grad_loss_fn(theta, x_vals, y_vals)

```

```

new_theta = theta - alpha * gradient
new_loss = loss_fn(new_theta, x_vals, y_vals)

if abs(new_loss - loss) < 0.0001:
    return new_theta

theta = new_theta
loss = new_loss

```

والآن نقوم بتطبيق النزول الاشتقaci:

```
</>
thetas = minimize(mse_loss, grad_mse_loss, tips['total_bill'], tips['tip'])
```

```

theta: [0. 0.] | cost: 10.896283606557377
theta: [0. 0.07] | cost: 3.8937622006094705
theta: [0. 0.1] | cost: 1.9359443267168215
theta: [0.01 0.12] | cost: 1.388538448286097
theta: [0.01 0.13] | cost: 1.235459416905535
theta: [0.01 0.14] | cost: 1.1926273731479433
theta: [0.01 0.14] | cost: 1.1806184944517062
theta: [0.01 0.14] | cost: 1.177227251696266
theta: [0.01 0.14] | cost: 1.1762453624313751
theta: [0.01 0.14] | cost: 1.1759370980989148
theta: [0.01 0.14] | cost: 1.175817178966766

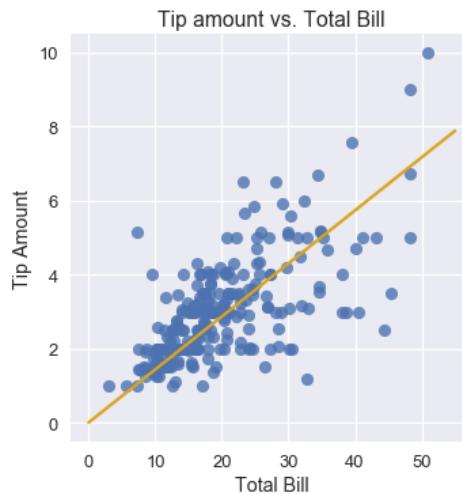
```

نلاحظ أن النزول الاشتقaci يقترب لقيمة  $0.01 \hat{\theta}_0 + 0.14$ . نموذجنا الخطى الآن:

$$y = 0.14x + 0.01$$

يمكننا استخدام النتيجة السابقة لرسم توقعاتنا بجانب البيانات الحقيقية:

```
</>
x_vals = np.array([0, 55])
sns.lmplot(x='total_bill', y='tip', data=tips, fit_reg=False)
plt.plot(x_vals, simple_linear_model(thetas, x_vals), c='goldenrod')
plt.title('Tip amount vs. Total Bill')
plt.xlabel('Total Bill')
plt.ylabel('Tip Amount');
```



نلاحظ أنه عندما تكون قيمة الفاتورة 10، فإن نموذجنا يتوقع أن النادل سيحصل على إكرامية بحوالي \$1.50. بنفس الطريقة، إذا كانت قيمة الفاتورة 40، فإن النموذج يتوقع حصول النادل على إكرامية بقيمة \$6.00.

## الانحدار الخطى المتعدد

نموذجنا الخطى البسيط لميزة إضافية عن النموذج الثابت، الميزة هي استخدامه البيانات للتوقّع. ولكن، لا يزال النموذج محدود كونه يستخدم متغير واحد من بياناتنا. الكبير من البيانات تحتوي على أكثر من متغير مهم ومفيد للاستخدام، ويمكن للانحدار الخطى المتعدد الاستفادة من ذلك. مثلاً، لأخذ البيانات التالية لأنواع السيارات ومعلومات صرف الوقود بالميل لكل جallon (MPG):

لتحميل قاعدة البيانات mpg.csv اضغط هنا.

&lt;/&gt;

```
mpg = pd.read_csv('mpg.csv').dropna().reset_index(drop=True)
mpg
```

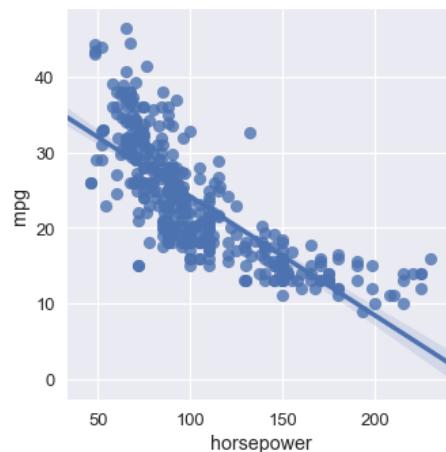
	mpg	cylinders	displacement	...	model year	origin	car name
0	18	8	307	...	70	1	chevrolet chevelle malibu
1	15	8	350	...	70	1	buick skylark 320
2	18	8	318	...	70	1	plymouth satellite
...	...	...	...	...	...	...	...
389	32	4	135	...	82	1	dodge rampage
390	28	4	120	...	82	1	ford ranger
391	31	4	119	...	82	1	chevy s-10

392 rows × 9 columns

يبعدونا أن أكثر من متغير يؤثر على صرف السيارة للوقود. مثلاً، يبدو أن صرف الوقود يقل عندما تزيد قوة الحصان للسيارة:

&lt;/&gt;

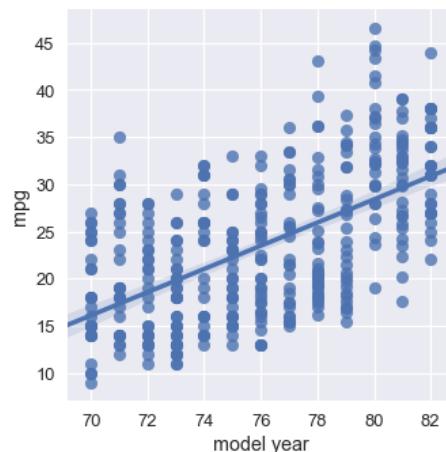
```
sns.lmplot(x='horsepower', y='mpg', data=mpg);
```



ولكن، السيارات التي في السنوات الأخيرة لديها صرف وقود أفضل بشكل عام عن السيارات القديمة:

&lt;/&gt;

```
sns.lmplot(x='model year', y='mpg', data=mpg);
```



يظهر أن بإمكاننا الحصول على نتائج أكثر دقة للنموذج إذا استطعنا استخدام قوة الحصان وسنة صناعة السيارة للتنبؤ عن كمية صرف الوقود بالميل لكل جالون MPG. بالأصل، يبدو أن النموذج المثلثي يأخذ بعين الاعتبار جميع المتغيرات الرقمية في بياناتنا. يمكننا توسيع نموذجنا الخطى ذو المتغير الواحد ليتمكن من التنبؤ بناءً على أي عدد من المتغيرات.

ذكرنا أن تعريف النموذج كالتالي:

$$f_{\theta}(\mathbf{x}) = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_p x_p$$

فيها  $\mathbf{x}$  تمثل متجهة Vector تحتوي على عدد  $p$  من المتغيرات لسيارة واحدة. النموذج السابق يقول التالي، "خذ أكثر من متغير عن السيارة، اضربهم بوزن Weight معين، ثم أجمعهم معاً للقيم يتوقع صرفية السيارة للوقود بالميل لكل جalon".

توجد أنواع متعددة من طرق تمثيل الأرقام:

Scalar	Vector	Matrix
24	$\begin{bmatrix} 2 & -8 & 7 \end{bmatrix}$ <small>row or column</small> $\begin{bmatrix} 2 \\ -8 \\ 7 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 4 & 24 \\ 1 & -9 & 8 \end{bmatrix}$ <small>row(s) x column(s)</small>

- عدد Scalar: رقم صحيح مثلًا .7, -4, 0.345
- المتجه Vector: هي مصفوفة أرقام أحاديد الأبعاد، تكون إما من صف واحد أو عمود واحد.
- مصفوفة Matrix: مصفوفة أرقام تحتوي على أكثر من صف أو عمود.

مثلاً، إذا أردنا إجراء توقع لأول سيارة في بيانانا باستخدام قوة الحصان، الوزن، وسنة الصناعة، فسيكون شكل المتجهة  $\mathbf{x}$  كالتالي:

```
</>
mpg.loc[0:0, ['horsepower', 'weight', 'model year']]
```

	horsepower	weight	model year
0	130.0	3504.0	70

في هذا المثال أبقينا أسماء الأعمدة للتوضيح، ولكن تذكر أن  $\mathbf{x}$  تحتوي فقط على القيم الرقمية من الجدول السابق:  $\mathbf{x} = [130.0, 3504.0, 70]$ .

الآن، سنقوم بتعريف طريقه حسابية ستسهل العمليات الحسابية القادمة. سنقوم بإضافة الرقم 1 إلى المتجهة  $\mathbf{x}$ ، وسيكون شكل الصف كالتالي:

```
</>
mpg_mat = mpg.assign(bias=1)
mpg_mat.loc[0:0, ['bias', 'horsepower', 'weight', 'model year']]
```

	bias	horsepower	weight	model year
0	1	130.0	3504.0	70

الآن، لاحظ ما سيحدث للعملية الحسابية لنموذجنا:

$$\begin{aligned}
 f_{\theta}(\mathbf{x}) &= \theta_0 + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_p x_p \\
 &= \theta_0(1) + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_p x_p \\
 &= \theta_0 x_0 + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_p x_p \\
 f_{\theta}(\mathbf{x}) &= \boldsymbol{\theta} \cdot \mathbf{x}
 \end{aligned}$$

فيها  $\mathbf{x} \cdot \boldsymbol{\theta}$  هي متجه لحاصل ضرب  $\boldsymbol{\theta}$  و  $\mathbf{x}$ . صُمممت المتجهات والمصفوفات لكتابية التركيبات الخطية ولذلك فهي مناسبة جداً لنموذجنا الخطي. ولكن، يجب عليك من الآن وصاعداً تذكر أن  $\mathbf{x} \cdot \boldsymbol{\theta}$  هي حاصل ضرب متجه بأخر. يمكن أيضاً ل النوع الشك، توسيع عملية ضرب المتجهتين إلى عملية جمع وضرب مبسطة.

الآن، نقوم بتعريف المصفوفة  $\mathbf{X}$  والتي ستكون المصفوفة التي تحتوي على جميع أنواع السيارات كصفوف، وأول عمود هو قيمة التحيز Bias. مثلاً، هذه أول خمس سطور من المصفوفة  $\mathbf{X}$ :

```
</>
mpg_mat = mpg.assign(bias=1)
mpg_mat.loc[0:4, ['bias', 'horsepower', 'weight', 'model year']]
```

	bias	horsepower	weight	model year
0	1	130.0	3504.0	70
1	1	165.0	3693.0	70
2	1	150.0	3436.0	70
3	1	150.0	3433.0	70
4	1	140.0	3449.0	70

للتذكير مرة أخرى، المصفوفة الحقيقية  $\mathbf{X}$  فقط تحتوي على القيم الرقمية من الجدول السابق.

لاحظ أن  $\mathbf{X}$  تحتوي على أكثر من متجه  $\mathbf{x}$  فوق بعضها البعض. ليكون الوصف واضحًا، نقوم بتعريف  $\mathbf{x}_i$  والي تمثل القيمة ذات الرقم  $i$  في الصف ذو الرقم  $j$  في المصفوفة  $\mathbf{X}$ . لذا،  $\mathbf{x}_i$  هي متجه ذات أبعاد  $p$  و  $\mathbf{X}_{i,j}$  هي مصفوفة  $n \times p$ ، فيها  $n$  هي عدد السيارات لدينا و  $p$  هي عدد المتغيرات لكل سيارة.

مثلاً، في الجدول السابق لدينا [70, 3449, 1, 140] =  $\mathbf{X}_{4,1} = 140$  و  $\mathbf{X}_4 = [1, 140, 3449]$  ولذا الرموز هي مهمة عند تعريف دوال الخسارة لأننا سنحتاج إلى كل القيمتين  $\mathbf{X}$ ، مصفوفة البيانات المدخلة للنموذج، و  $y$ ، متجه صرف الوقود بالمليل لكل جالون.

- $\mathbf{X}$  هي مصفوفة Matrix.
- $\mathbf{x}$  هي متجه Vector وهي هنا كل صف على حدة. مثلاً السطر الثاني: [1, 165.0, 3693.0, 70].
- $j$  هي رقم صحيح مثلاً وزن السيارة في الصف الثالث 3436.0.

## خسارة الخطأ التربيعي المتوسط وانحدارها

دالة خسارة الخطأ التربيعي المتوسط تأخذ متجه وزن  $\theta$  و مدخلات على شكل مصفوفة  $\mathbf{X}$ ، و متجه لصرف الوقود بالمليل لكل جالون لكل سيارة  $y$ :

$$L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_i (y_i - f_{\theta}(\mathbf{X}_i))^2$$

أوجدنا مسبقاً مشتقة دالة خسارة الخطأ التربيعي المتوسط بالنسبة ل  $\theta$ :

$$\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) = -\frac{2}{n} \sum_i (y_i - f_{\theta}(\mathbf{X}_i)) (\nabla_{\theta} f_{\theta}(\mathbf{X}_i))$$

نعرف أيضاً أن:

$$f_{\theta}(\mathbf{x}) = \theta \cdot \mathbf{x}$$

لنقوم بحساب  $\nabla_{\theta} f_{\theta}(\mathbf{x})$ . عملية الحساب أسهل من المتوقع لأن إذا  $\theta \cdot \mathbf{x} = \theta_0 x_0 + \dots + \theta_p x_p$  إذن  $\frac{\partial}{\partial \theta_0} (\theta \cdot \mathbf{x}) = x_0$  إلى آخره:

$$\begin{aligned} \nabla_{\theta} f_{\theta}(\mathbf{x}) &= \nabla_{\theta} [\theta \cdot \mathbf{x}] \\ &= \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial \theta_0} (\theta \cdot \mathbf{x}) \\ \frac{\partial}{\partial \theta_1} (\theta \cdot \mathbf{x}) \\ \vdots \\ \frac{\partial}{\partial \theta_p} (\theta \cdot \mathbf{x}) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix} \\ \nabla_{\theta} f_{\theta}(\mathbf{x}) &= \mathbf{x} \end{aligned}$$

أخيراً، نقوم بإدخال النتيجة لحساب الخطية:

$$\begin{aligned} \nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) &= -\frac{2}{n} \sum_i (y_i - f_{\theta}(\mathbf{X}_i)) (\nabla_{\theta} f_{\theta}(\mathbf{X}_i)) \\ &= -\frac{2}{n} \sum_i (y_i - \theta \cdot \mathbf{X}_i) (\mathbf{X}_i) \end{aligned}$$

تذكر أنه بما أن  $\theta \cdot \mathbf{X}_i$  هي متجه ذات  $p$  أبعاد، الخطية  $\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y})$  هي أيضاً متجه ذات  $p$  أبعاد.

رأينا نفس هذا النوع من النتائج عندما بحسبنا خطية الانحدار الخطى ووجدنا أنها ثنائية الأبعاد بما أن  $\theta$  كانت ثنائية الأبعاد.

## ضبط النموذج الخطى مع النزول الاشتقاقى

يمكننا الآن إدخال الخسارة ومشتقاتها إلى دالة النزول الاشتقاقى. كالعادة، سنقوم بتعريف النموذج، دالة الخسارة و دالة النزول الاشتقاقى مشتقتها في الآتي:

```
def linear_model(thetas, X):
    '''Returns predictions by a linear model on x_vals.'''
    return X @ thetas

def mse_loss(thetas, X, y):
    return np.mean((y - linear_model(thetas, X)) ** 2)
```

```

def grad_mse_loss(thetas, X, y):
    n = len(X)
    return -2 / n * (X.T @ y - X.T @ X @ thetas)

```

استخدم الكاتب الرمز @ وهي علامة ضرب بين المصفوفات في Numpy، لذا يحتاج أن تكون  $X$  و  $\theta$  هي مصفوفات في Numpy كي يعمل الرمز.

الآن، ببساطه يمكننا إدخال دوالنا إلى النزول الاشتيفي:

```

X = (mpg_mat
      .loc[:, ['bias', 'horsepower', 'weight', 'model year']]
      .to_numpy())
y = mpg_mat['mpg'].to_numpy()

thetas = minimize(mse_loss, grad_mse_loss, X, y)
print(f'theta: {thetas} | loss: {mse_loss(thetas, X, y):.2f}')

```

```

theta: [ 0.  0.  0.  0.] | cost: 610.47
theta: [ 0.     0.     0.01  0.   ] | cost: 178.95
theta: [ 0.01 -0.11 -0.     0.55] | cost: 15.78
theta: [ 0.01 -0.01 -0.01  0.58] | cost: 11.97
theta: [-4.     -0.01 -0.01  0.63] | cost: 11.81
theta: [-13.72 -0.     -0.01   0.75] | cost: 11.65
theta: [-13.72 -0.     -0.01   0.75] | cost: 11.65

```

استخدم الكاتب في الكود البرمجي السابق الدالة `minimize` وهي مختلفة قليلاً عن السابقة، أجري عليها التعديلات التالية:

```

from scipy.optimize import minimize as sci_min
def minimize(loss_fn, grad_loss_fn, X, y, progress=True):
    # للقليل من خسارة الدالة من مكتبة scipy تستخدم دالة من مكتبة
    # باستخدام نموذج من النزول الاشتيفي

    theta = np.zeros(X.shape[1])
    iters = 0

    def objective(theta):
        return loss_fn(theta, X, y)
    def gradient(theta):
        return grad_loss_fn(theta, X, y)
    def print_theta(theta):
        nonlocal iters
        if progress and iters % progress == 0:
            print(f'theta: {theta} | loss: {loss_fn(theta, X, y):.2f}')
        iters += 1

    print_theta(theta)
    return sci_min(
        objective, theta, method='BFGS', jac=gradient, callback=print_theta,
        tol=1e-7
    ).x

```

بناء على النزول الاشتيفي، فإن نموذجنا الخطى هو كالتالى:

$$y = -13.72 - 0.01x_2 + 0.75x_3$$

### الرسم البياني لتنبؤاتنا

كيف أدى نموذجنا؟ نلاحظ أن الخسارة قلت بشكل كبير (من 610 حتى 11.6). يمكننا طباعة نتائج توقع النموذج بجانب النتائج الحقيقية:

```

reordered = ['predicted_mpg', 'mpg', 'horsepower', 'weight', 'model year']
with_predictions = (
    mpg
    .assign(predicted_mpg=linear_model(thetas, X))
    .loc[:, reordered]
)
with_predictions

```

	<b>predicted_mpg</b>	<b>mpg</b>	<b>horsepower</b>	<b>weight</b>	<b>model year</b>
0	15.447125	18	130	3504	70

	predicted_mpg	mpg	horsepower	weight	model year
1	14.053509	15	165	3693	70
2	15.785576	18	150	3436	70
...	...	...	...	...	...
389	32.4569	32	84	2295	82
390	30.354143	28	79	2625	82
391	29.726608	31	82	2720	82

392 rows × 5 columns

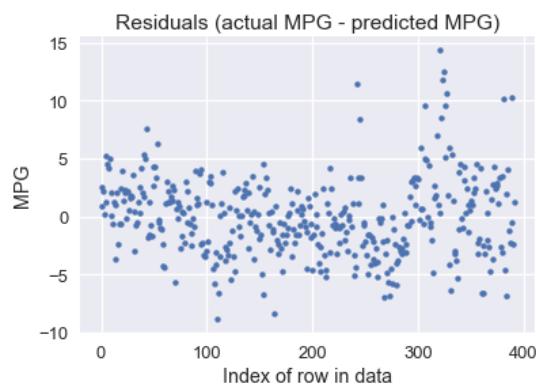
بما أننا أوجدنا  $\theta$  من الترول الاشتيفي، يمكننا أن نتأكد من أول سطر في بياناتنا أن  $\mathbf{X}_0 \cdot \theta$  تطابق توقعنا السابق:

```
</>
print(f'Prediction for first row: '
      f'{thetas[0] + thetas[1] * 130 + thetas[2] * 3504 + thetas[3] * 70:.2f}')
```

Prediction for first row: 15.45

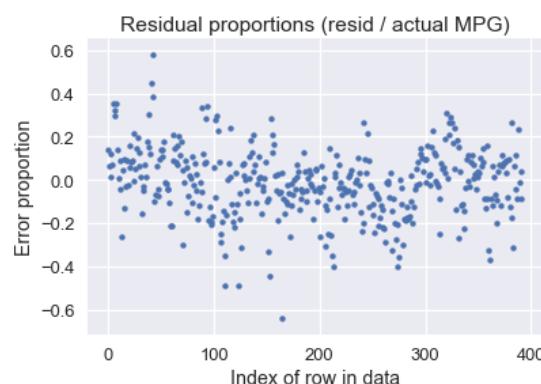
يمكننا رسم الفرق بين توقعنا والنتيجة الحقيقية (النتيجة الحقيقة - التوقع):

```
</>
resid = y - linear_model(thetas, X)
plt.scatter(np.arange(len(resid)), resid, s=15)
plt.title('Residuals (actual MPG - predicted MPG)')
plt.xlabel('Index of row in data')
plt.ylabel('MPG');
```



يبعد واضحًا أن نموذجنا يعطي توقعات منطقية لكثير من السيارات، على الرغم أن بعض النتائج كان الفرق فيها أكثر من 10 ميل لكل جallon (بعض السيارات لديها أقل من 10!). قد يهمنا أكثر معرفة نسبة الخطأ بين التوقع والنتيجة الصحيحة لصرف الوقود:

```
</>
resid_prop = resid / with_predictions['mpg']
plt.scatter(np.arange(len(resid_prop)), resid_prop, s=15)
plt.title('Residual proportions (resid / actual MPG)')
plt.xlabel('Index of row in data')
plt.ylabel('Error proportion');
```



## استخدام كامل البيانات

لاحظ أن في مثانا حتى الآن، المصفوفة  $\mathbf{X}$  تحتوي على أربع أعمدة: أولها يحتوي على القيمة 1 في جميع الصفوف، عمود قوة السيارة بالحصان، وزنه، وسنة الصناعة. ولكن، يسمح لنا النموذج باستخدام أكثر من هذا العدد:

$$f_{\theta}(\mathbf{x}) = \theta \cdot \mathbf{x}$$

عندما نضيف المزيد من الأعمدة لمصفوفتنا، نقوم بتوسيع  $\theta$  لتحتوي على متغير لكل عمود في  $\mathbf{x}$ . بدلاً من اختيار فقط 3 أعمدة رقمية لإجراء التنبؤ، لماذا لا نستخدم جميع الأعمدة السبعة؟

```
</>
cols = ['bias', 'cylinders', 'displacement', 'horsepower',
        'weight', 'acceleration', 'model year', 'origin']
X = mpg_mat[cols].to_numpy()
mpg_mat[cols]
```

	bias	cylinders	displacement	horsepower	weight	acceleration	model year	origin
0	1	8	307	130	3504	12	70	1
1	1	8	350	165	3693	11.5	70	1
2	1	8	318	150	3436	11	70	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...
389	1	4	135	84	2295	11.6	82	1
390	1	4	120	79	2625	18.6	82	1
391	1	4	119	82	2720	19.4	82	1

392 rows × 8 columns

```
</>
thetas_all = minimize(mse_loss, grad_mse_loss, X, y, progress=10)
print(f'theta: {thetas_all} | loss: {mse_loss(thetas_all, X, y):.2f}')
```

```
theta: [0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.] | loss: 610.47
theta: [-0.5 -0.81 0.02 -0.04 -0.01 -0.07 0.59 1.3] | loss: 11.22
theta: [-17.23 -0.49 0.02 -0.02 -0.01 0.08 0.75 1.43] | loss: 10.85
theta: [-17.22 -0.49 0.02 -0.02 -0.01 0.08 0.75 1.43] | loss: 10.85
```

وفقاً لنتيجة النزول الاشتتاقي، فإن النموذج الخطى يمكننا تعريفه كالتالى:

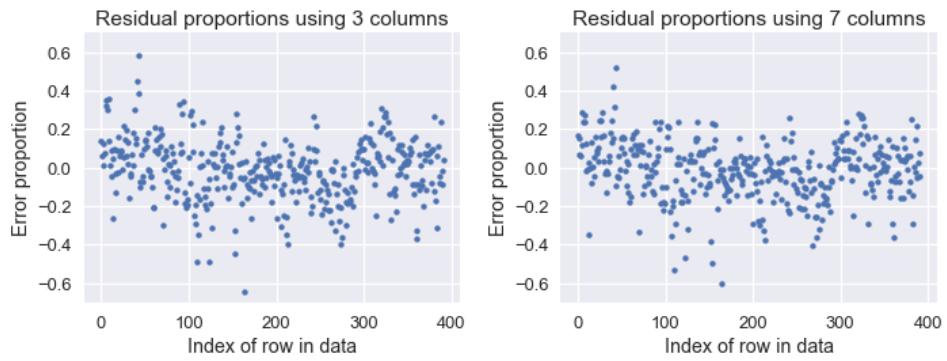
$$y = -17.22 - 0.49x_1 + 0.02x_2 - 0.02x_3 - 0.01x_4 + 0.08x_5 + 0.75x_6 + 1.43x_7$$

نلاحظ أن خسارتنا قلت من 11.6 إلى 10.85 باستخدام ثلاث أعمدة إلى سبع أعمدة رقمية في بياناتنا. سترى نسبة الخطأ في الرسم البياني لكل التوقعين السابق (باستخدام ثلاث أعمدة) والجديد (باستخدام سبع أعمدة):

```
</>
resid_prop_all = (y - linear_model(thetas_all, X)) / with_predictions['mpg']
plt.figure(figsize=(10, 4))
plt.subplot(121)
plt.scatter(np.arange(len(resid_prop)), resid_prop, s=15)
plt.title('Residual proportions using 3 columns')
plt.xlabel('Index of row in data')
plt.ylabel('Error proportion')
plt.ylim(-0.7, 0.7)

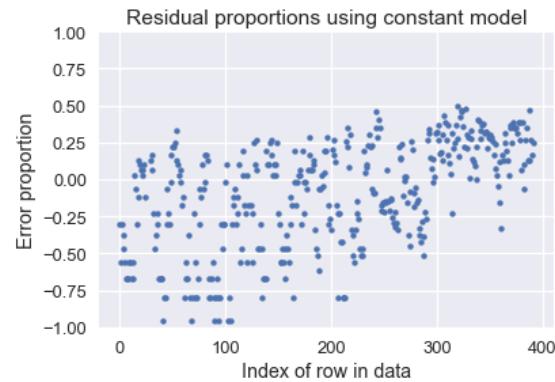
plt.subplot(122)
plt.scatter(np.arange(len(resid_prop_all)), resid_prop_all, s=15)
plt.title('Residual proportions using 7 columns')
plt.xlabel('Index of row in data')
plt.ylabel('Error proportion')
plt.ylim(-0.7, 0.7)

plt.tight_layout();
```



على الرغم أن الفرق بسيط، نلاحظ أن الفرق أقل عندما نستخدم السبع أعمدة. كلا النماذجين أفضل من النموذج الثابت، كما يوضح الرسم البياني التالي:

```
constant_resid_prop = (y - with_predictions['mpg'].mean()) / with_predictions['mpg']
plt.scatter(np.arange(len(constant_resid_prop)), constant_resid_prop, s=15)
plt.title('Residual proportions using constant model')
plt.xlabel('Index of row in data')
plt.ylabel('Error proportion')
plt.ylim(-1, 1);
```



استخدام النموذج الثابت وصلت فيه نتائج الخطأ إلى أكثر من 75% لكثير من السيارات!

### ملخص الانحدار الخطى المتعدد

تعرفنا على النموذج الخطى للانحدار، على عكس النموذج الثابت، الانحدار الخطى يأخذ خصائص من البيانات بالحساب عند إجراء التوقعات، مما يجعله أكثر فائدة عندما يكون لدينا علاقات في بياناتنا.

خطوات ضبط النموذج من المفترض أن تكون واضحة الآن:

- اختبار النموذج.
- اختبار دالة الخسارة.
- تقليل دالة الخسارة باستخدام التزول الاشتتقاقي.

من المفيد معرفة أن بإمكاننا التعديل على أحد المكونات دون الأخرى. في هذا الجزء، تعرفنا على النموذج الخطى دون التغير في دالة الخسارة أو استخدام خوارزميات تقليل أخرى. على الرغم أن النمذجة قد تكون معقدة، يكون أسهل التركيز على مكون واحد فقط في كل مرة، ثم جمع المكونات مع بعضها البعض.

### المربعات الصغرى - منظور هندسى

لنتذكر أننا أوجدنا المتغيرات الرياضية المثلالية للنموذج الخطى بواسطة التحسين من دالة الخسارة باستخدام التزول الاشتتقاقي. ذكرنا أيضاً أن الانحدار الخطى للمربعات الصغرى يمكن حسابه تحليلياً. على الرغم أن التزول الاشتتقاقي أكثر عملياً، هذا المنظور الهندسى سيساعدك على فهم الانحدار الخطى بشكل أكبر.

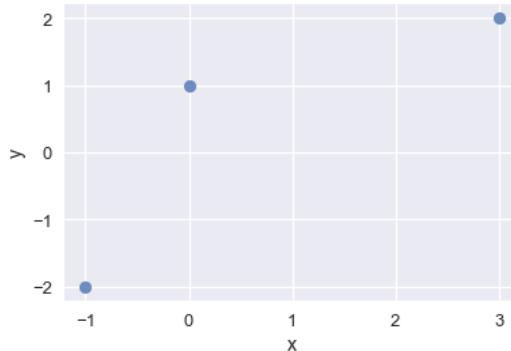
يتوقع من القارئ أن يكون على علم بفضاء المتجهات Vector Space وطريقة القيام بالعمليات الحسابية عليها.

لنفترض أننا نبحث عن النموذج الخطى للبيانات التالية:

x	y
3	2

x	y
0	1
1-	2-

```
</>
data = pd.DataFrame(
    [
        [3,2],
        [0,1],
        [-1,-2]
    ],
    columns=['x', 'y']
)
sns.regplot(x='x', y='y', data=data, ci=None, fit_reg=False);
```



لنفترض أن النموذج المثالي هو النموذج بأقل خسارة، وان خطأ المربعات الصغرى هي أداة مقبولة للقياس.

### المربعات الصغرى: النموذج الثابت

كما فعلنا في بيانات الإكراميات، لنبدأ بالنموذج الثابت: نموذج يتوقع رقم واحد فقط.

$$\theta = C$$

نعمل نحن فقط مع قيم  $y$ :

y
2
1
2-

وهدفنا هو إيجاد قيمة  $\theta$  التي تنتج لنا خطأً يقلل من الخسارة التربيعية:

$$L(\theta, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2$$

لنتذكر أن للنموذج الثابت، قيمة  $\theta$  التي تقلل الخسارة في دالة الخطأ التربيعي المتوسط MSE هي  $\bar{y}$ ، متوسط قيم  $y$ . يمكن إيجاد العملية الحسابية الكاملة في جزء [دوال الخسارة في فصل النماذج والتوقعات](#).

لاحظ أن دالة الخسارة لدينا هي مجمع التربيع. القاعدة L2 للمتجهات هي أيضاً مجموع التربيع، ولكن مع الجذر التربيعي:

$$\|\mathbf{v}\| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2}$$

إذا جعلنا  $y_i - \theta = v_i$

$$\begin{aligned} L(\theta, \mathbf{y}) &= v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2 \\ &= \|\mathbf{v}\|^2 \end{aligned}$$

يعني ذلك أن بإمكاننا تعريف الخسارة على أنها تربع القاعدة L2 لمتجه  $\mathbf{v}$ . يمكننا وصف  $v_i$  كالتالي  $y_i - \theta \quad \forall i \in [1, n]$  إذا ذلك فيتعريف ديكاري:

$$\begin{aligned}
\mathbf{v} &= \begin{bmatrix} y_1 - \theta \\ y_2 - \theta \\ \vdots \\ y_n - \theta \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \theta \\ \theta \\ \vdots \\ \theta \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} - \theta \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

إذًا، يمكننا كتابة دالة الخسارة كالتالي:

$$\begin{aligned}
L(\theta, \mathbf{y}) &= \left\| \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} - \theta \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \right\|^2 \\
&= \left\| \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} \right\|^2
\end{aligned}$$

$\theta$  هو مضاعف عددي للأعمدة في المتجه  $\mathbf{1}$ ، وهي أيضًا نتيجة التوقع، ويرمز لها  $\hat{\mathbf{y}}$ .  $\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$  الوصف

يعطينا ذلك منظوراً جديداً عن معنى تقليل الخسارة في خطأ المربعات الصغرى. قيم  $\mathbf{y}$  و  $\mathbf{1}$  ثابتة، ولكن  $\theta$  يمكن أن تأخذ أي قيمة، لذا  $\hat{\mathbf{y}}$  يمكن أن تكون أي مضاعف عددي لـ  $\mathbf{1}$ . نريد إيجاد  $\theta$  لتكون  $\hat{\mathbf{y}}$  أقرب ما تكون إلى  $\mathbf{y}$ . نستخدم  $\hat{\theta}$  لوصف ذلك الضبط المتألي لـ  $\theta$ .

### المربعات الصغرى: نموذج خطى بسيط

الآن، لنلقي نظرة على نموذج الانحدار الخطى البسيط. يشبه النموذج بشكل كبير لاشتقاق النموذج الثابت، ولكن لاحظ الفرق وفك بطريقة عامة لإجراء الانحدار الخطى المتعدد.

النموذج الخطى البسيط هو:

$$f_{\theta}(x_i) = \theta_0 + \theta_1 x_i$$

هدفنا إيجاد  $\theta$  التي تنتج لنا خطأً بأقل خطأً تربعي:

$$\begin{aligned}
L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) &= \sum_{i=1}^n (y_i - f_{\theta}(x_i))^2 \\
&= \sum_{i=1}^n (y_i - \theta_0 - \theta_1 x_i)^2 \\
&= \sum_{i=1}^n (y_i - [1 \ x_i] \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix})^2
\end{aligned}$$

لمساعدتنا على تحويل شكل جمع الخسارة إلى شكل مصقوفة، دعنا نوسع من الخسارة بـ  $n=3$ :

$$\begin{aligned}
L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) &= (y_1 - [1 \ x_1] \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix})^2 \\
&\quad + (y_2 - [1 \ x_2] \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix})^2 \\
&\quad + (y_3 - [1 \ x_3] \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix})^2
\end{aligned}$$

مرة أخرى، دالة الخسارة هي مجموع التربيع و القاعدة  $L_2$  للمتجه هي الجذر التربيعي لمجموع التربيع:

$$\|\mathbf{v}\| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2}$$

$$v_i = y_i - [1 \ x_i] \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix}$$

إذا جعلنا

$$L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) = v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2 \\ = \|\mathbf{v}\|^2$$

كما في السابق، يمكننا وصف خسارتنا على أنها تربع القاعدة L2 للمتجه  $\mathbf{v}$ .

$$v_i = y_i - [1 \quad x_i] \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix} \quad \forall i \in [1, 3]$$

$$\begin{aligned} L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) &= \left\| \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ 1 & x_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix} \right\|^2 \\ &= \left\| \mathbf{y} - \mathbf{X} \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix} \right\|^2 \\ &= \left\| \mathbf{y} - f_{\theta}(\mathbf{x}) \right\|^2 \\ &= \left\| \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} \right\|^2 \end{aligned}$$

عملية ضرب المصفوفة  $\begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ 1 & x_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix}$  هي تركيبة خطية للأعمدة في  $\mathbf{X}$ : كل  $\theta_i$  يتم ضريها بعمود واحد من  $\mathbf{X}$ ، يظهر لنا هذا المنظور أن  $f_{\theta}$  تركيبة خطية للخصائص في بياناتنا.

$\mathbf{X}$  و  $\mathbf{y}$  ثابتين، ولكن  $\theta_0$  و  $\theta_1$  يمكن أن يأخذان أي قيمة، لذا  $\hat{\mathbf{y}}$  يمكن أن تأخذ أيًّا من التركيبات الخطية من الأعمدة في  $\mathbf{X}$ . للحصول على أقل خسارة، تريد أن نختار  $\theta$  التي فيها  $\hat{\mathbf{y}}$  أقرب ما تكون إلى  $\mathbf{y}$ ، يرمز لها بالرمز  $\hat{\theta}$ .

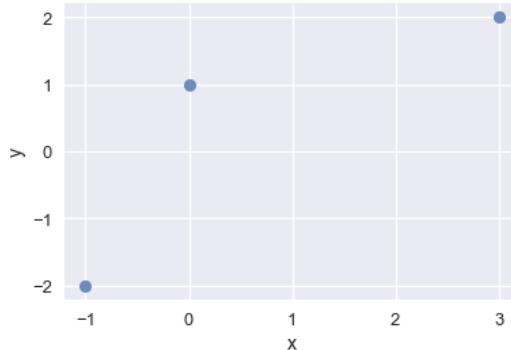
## الفكرة الهندسية

الآن، لنحاول تكوين فكرة عن أهمية أن تكون  $\hat{\mathbf{y}}$  محدودة للتركيبات الخطية للأعمدة في  $\mathbf{X}$ . على الرغم أن مدى أي متجه يحتوي على عدد غير محدود من التركيبات الخطية، غير محدود لا تعني أيًّا كان، التركيبات الخطية محدودة بواسطة أساس المتجه.

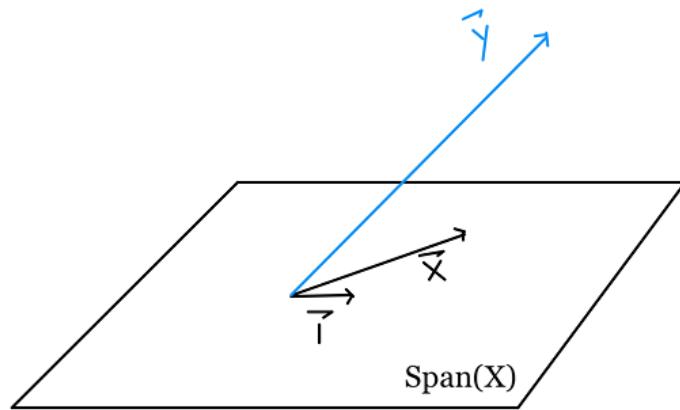
للذكرى، هذه دالة الخسارة ومخطط التشتت:

$$L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) = \| \mathbf{y} - \mathbf{X}\theta \|^2$$

```
sns.regplot(x='x', y='y', data=data, ci=None, fit_reg=False);
```



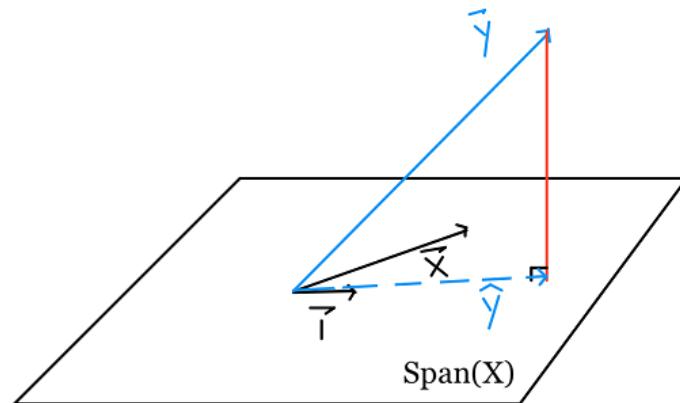
من خلال مشاهدتنا لمخطط التشتت، نلاحظ أنه لا يوجد خط مثالي للنقطات، لذا لن نستطيع الوصول إلى خسارة تساوي صفر. نعرف أن  $\mathbf{y}$  ليست على مستوى خطٍ مع  $\mathbf{x}$  و  $\$$ : {textbf{1\\$}}



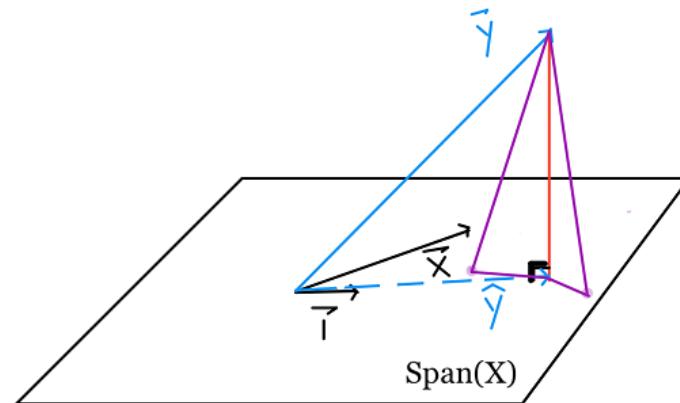
بما أن حساب الخسارة يكون بالمسافة، يمكننا ملاحظة أنه لتقليل الخسارة  $L(\theta, \mathbf{x}, \mathbf{y}) = \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\theta\|^2$ ، فنريد أن تكون  $\mathbf{X}\theta$  أقرب ما تكون إلى  $\mathbf{y}$ .

رياضياً، نرى توقع  $\mathbf{y}$  في فضاء المتجه الممتد بواسطة الأعمدة في  $\mathbf{X}$ ، لأن التوقع لأي متجه هي أقرب نقطة في  $Span(\mathbf{X})$  للمتجه. لذا، اختيار  $\theta$  يكون فيها  $proj_{Span(\mathbf{X})}\mathbf{y} = \mathbf{X}\theta = \hat{\mathbf{y}}$  هو الحل المثالي.

التوقع = proj = projection



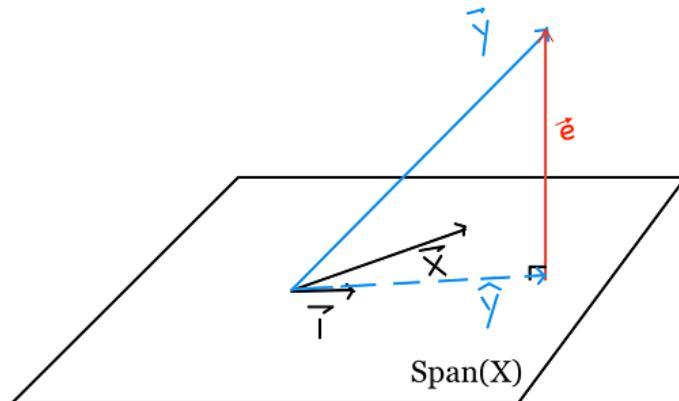
لنعرف لماذا، لتأخذ بالاعتبار النقاط الأخرى في فضاء المتجه، النقاط باللون البنفسجي:



بناءً على نظرية فيثاغورس، أي نقطة على السطح هي أبعد عن  $\mathbf{y}$  من  $\hat{\mathbf{y}}$ . طول العمود المقابل ل  $\hat{\mathbf{y}}$  هو خطأ المربعات الصغرى.

تحدثنا بشكل كبير عن الجبر الخطي، ما تبقى لنا الان هو حل  $\hat{\theta}$  التي تكون لنا ما نبحث عنه  $\hat{y}$

بعض النقاط نأخذها بالاعتبار:



- $\hat{y} + e = y$  •
- متوازيه عمودياً مع  $x$  و  $1$
- $\hat{y} = X\hat{\theta}$  هي المتجه الأقرب إلى  $y$  في فضاء المتجهات الممتدة من  $x$  و  $1$

ولذا، نتنيع لـ المعادلة التالية:

$$X\hat{\theta} + e = y$$

ضرب الجهة اليسرى لكل القيم ب  $X^T$  ينبع لنا التالي:

$$X^T X \hat{\theta} + X^T e = X^T y$$

بما أن  $e$  متعامدة مع الأعمدة في  $X$ ، فإن  $X^T e$  هو عمود متجه يحتوي على أصفار. لذا، نصل إلى المعادلة التالية:

$$X^T X \hat{\theta} = X^T y$$

من هنا، يمكننا بسهولة الحل لإيجاد  $\hat{\theta}$  بواسطة ضرب الجهة اليسرى في كلا الجانبين ب  $(X^T X)^{-1}$ :

$$\hat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

ملاحظة: يمكننا الحصول على نفس النتيجة بواسطة التقليل باستخدام متجهات التفاضل والتكميل، ولكن بالنسبة لخطأ المربعات الصغرى، متجهات التفاضل والتكميل ليست ضرورية. لدوال الخسارة الأخرى، سنحتاج لاستخدام متجهات التفاضل والتكميل للحصول على النتيجة التحليلية.

### إنهاء الدراسة

لنعود لتجربتنا، لنطبق ما تعلمناه، ونشرح إجابتنا:

$$\begin{aligned} y &= \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ -2 \end{bmatrix} & X &= \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \\ \hat{\theta} &= \left( \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 3 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 3 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ -2 \end{bmatrix} \\ &= \left( \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 10 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 8 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{30-4} \begin{bmatrix} 10 & -2 \\ -2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 8 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{26} \begin{bmatrix} -6 \\ 22 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -\frac{3}{13} \\ \frac{11}{13} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

قمنا تحليلياً بإيجاد النموذج المثالي لانحدار المربعات الصغرى وهو  $f_{\theta}(x_i) = -\frac{3}{13} + \frac{11}{13}x_i$ . نعرف أن اختيارنا  $\theta$  صحيح باستخدام الخاصية الرياضية التي تقول توقع  $y$  لامتداد الأعمدة في  $\mathbf{X}$  ينتج لنا أقرب نقطة في فضاء المتجه لـ  $y$ . تحت القيود الخطية باستخدام خسارة المربعات الصغرى، الحل لـ  $\hat{\theta}$  ينتج لنا توقع مضمون أنه الحل الأفضل.

### عندما تعتمد المتغيرات خطياً

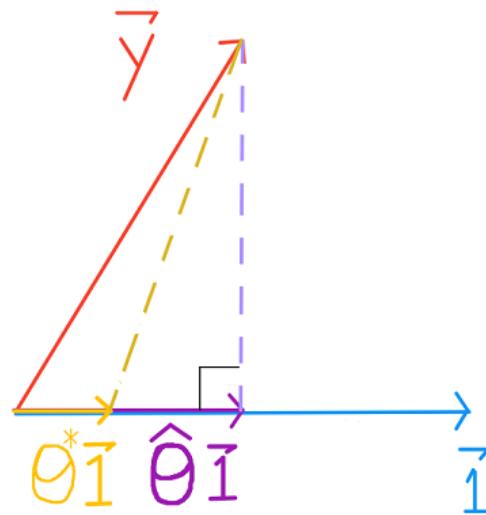
لكل متغير إضافي، نضيف عمود جديد إلى  $\mathbf{X}$ . امتداد أعمدة لـ  $\mathbf{X}$  هو التركيب الخطي لأعمدة المتجهات، لذا إضافة أعمدة تغير من الامتداد فقط إذا كانت مستقلة خطياً عن بقية الأعمدة الموجودة مسبقاً.

عندما يكون العمود المضاف غير مستقل خطياً، يمكن وصفة تركيب خطى من أحد الأعمدة الأخرى، لذا، لن يكون لنا أي متجه جديده في الفضاء الجزئي.

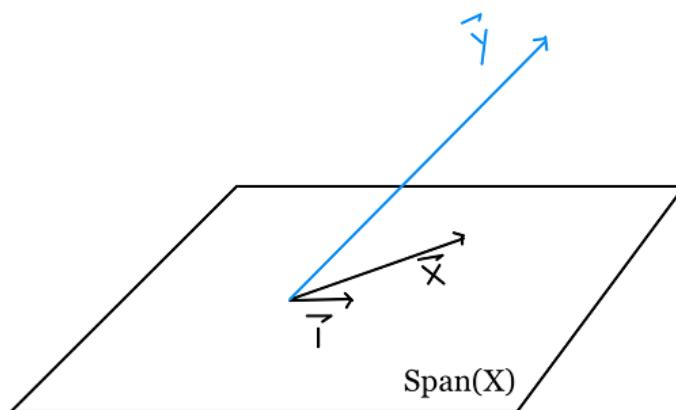
لتذكر أن امتداد  $\mathbf{x}$  مهم لأنه الفضاء الجزئي الذي نريد أن نتوقع  $y$  فيه. إذا لم يتغير هذا الفضاء، فإن التوقع لن يتغير.

مثلاً، عندما عرفنا  $\mathbf{x}$  على النموذج الثابت لنجعل على النموذج الخطي البسيط، عرفنا دالة مستقلة.

لذا، انتقلنا من إيجاد توقع لـ  $y$  في الخط:



إلى إيجاد توقع لـ  $y$  على السطح:

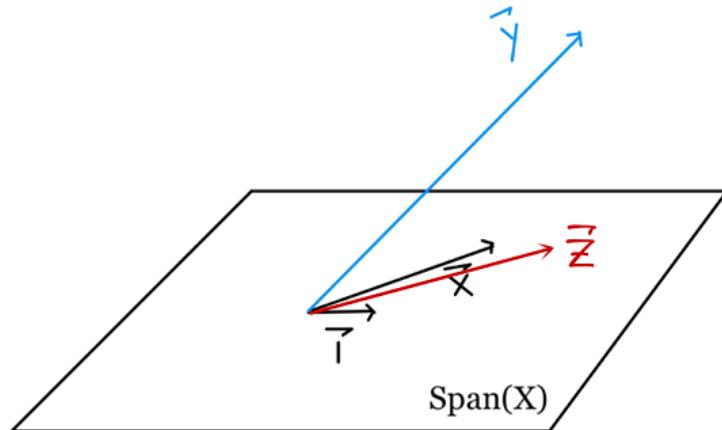


الآن، لنعرف متغير آخر،  $z$ ، يكون بشكل واضح هذا العمود متحيز:

$z$	$1$	$x$	$y$
4	1	3	2
1	1	0	1

$z$	$1$	$x$	$y$
0	1	1-	2-

لاحظ أن  $z = 1 + x$  تركيبتها خطية من  $1$  و  $x$ . فأنها تقع في  $\text{Span}(\mathbf{X})$ . الآن،  $z$  معتمده خطياً على  $\{1, x\}$  ولا تغير في  $\text{Span}(\mathbf{X})$ . لذا، توقع  $y$  في الفضاء الجزي الممتد بواسطة  $1$  و  $x$  سيكون مطابق لتوقع  $y$  في الفضاء الجزي الممتد بواسطة  $1$  و  $x$ .



يمكنا أيضاً ملاحظة ذلك عند تقليل دالة الخسارة:

$$L(\theta, d, y) = \left\| \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} \right\|^2$$

الحل المتوقع لنا سيكون كالشكل التالي  $\theta_0 \mathbf{1} + \theta_1 \mathbf{x} + \theta_2 \mathbf{z}$

بما أن  $\mathbf{x} + \mathbf{z} = \mathbf{1}$ ، أيضاً كانت  $\theta_0, \theta_1, \theta_2$ ، القيم المتوقعة يمكن إعادة كتابتها كالتالي:

$$\theta_0 \mathbf{1} + \theta_1 \mathbf{x} + \theta_2 (\mathbf{1} + \mathbf{x}) = (\theta_0 + \theta_2) \mathbf{1} + (\theta_1 + \theta_2) \mathbf{x}$$

إذ، إضافة  $\mathbf{z}$  لن تغير أي شيء. الفرق الوحيد هو أن بإمكاننا وصف هذا التوقع بعدة أشكال. لنتذكر أنها أوجدنا توقع  $y$  على امتداد  $\mathbf{1}$  و  $\mathbf{x}$  وكان:

$$[\mathbf{1} \quad \mathbf{x}] \begin{bmatrix} -\frac{3}{13} \\ \frac{11}{13} \end{bmatrix} = -\frac{3}{13} \mathbf{1} + \frac{11}{13} \mathbf{x}$$

لكن، مع التعرف على  $\mathbf{z}$ ، يمكننا وصف توقع المتجه بأكثر من طريقه.

بما أن  $\mathbf{x} - \mathbf{z} = \mathbf{1}$ ، ف  $\hat{\mathbf{y}}$  يمكن وصفها كالتالي:

$$-\frac{3}{13}(\mathbf{z} - \mathbf{x}) + \frac{11}{13}\mathbf{x} = -\frac{3}{13}\mathbf{z} + \frac{14}{13}\mathbf{x}$$

بما أن  $\mathbf{1} + \mathbf{x} = \mathbf{z} + \mathbf{y}$ ، ف  $\hat{\mathbf{y}}$  يمكن وصفها كالتالي:

$$-\frac{3}{13}\mathbf{1} + \frac{11}{13}(\mathbf{z} + \mathbf{1}) = \frac{8}{13}\mathbf{1} + \frac{11}{13}\mathbf{z}$$

ولكن جميع الأوصاف الثلاثة تقدم نفس التوقع.

في الختام، إضافة عمود غير مستقل خطياً إلى  $\mathbf{x}$  لا يغير في التوقع والحل لمشكلة المربعات الصغرى.

## طريقتين للتفكير

أضفنا مخططات التشتت مرتين في هذا الدرس. أول مرة للتذكرة أنه كما في السابق، نحاول إيجاد الخط المثالي للبيانات. المرة الثانية كانت تأكيد أنه لا يوجد خط مثالي لجميع النقاط. بصرف النظر عن ذلك، حاولنا عدم تخريب رسم فضاء المتجه بمخططات التشتت. ذلك لأن مخططات التشتت تتوافق مع نظرية مساحة الصفر في مشكلة المربعات الصغرى: النظر لكل نقاط البيانات ومحاولة التقليل في المسافة بين توقيعنا و كل نقطة. في هذا الدرس، تعرفنا على نظرية مساحة العامود: كل متغير كان متجه، تكون لنا فضاء من الإتجاهات المحتملة (التوقعات).

## تطبيق عملي للانحدار الخطى

في هذا الجزء، سنقوم بتطبيق عملي لنموذج الانحدار الخطى على بيانات. لدى البيانات التي سنعمل عليها العديد من الخصائص، مثل الطول والحجم لحيوان الحمار.

## نظرة عامة على البيانات

سنبدأ أولاً بقراءة البيانات وأخذ نظرة سريعة على محتواها:

لتحميل البيانات، [اضغط هنا](#).

```
</>  
import pandas as pd  
  
donkeys = pd.read_csv("donkeys.csv")  
donkeys.head()
```

	BCS	Age	Sex	...	Height	Weight	WeightAlt
0	3	<2	stallion	...	90	77	NaN
1	2.5	<2	stallion	...	94	100	NaN
2	1.5	<2	stallion	...	95	74	NaN
3	3	<2	female	...	96	116	NaN
4	2.5	<2	female	...	91	91	NaN

5 rows × 8 columns

فكرة جيدة دائمًا هي النظر لعدد البيانات لدينا عن طريق عرض مقاسات الـ DataFrame. عندما يكون حجم البيانات لدينا كبير، طباعة كامل البيانات قد يسبب مشاكل للمتصفح وتتسبب بإغلاقه:

```
</>  
donkeys.shape
```

(544, 8)

البيانات قليلة نسبياً، لدينا فقط 544 سطر و 8 أعمدة. لذا ما هي الأعمدة المتوفرة لدينا:

```
</>  
donkeys.columns.values
```

```
array(['BCS', 'Age', 'Sex', 'Length', 'Girth', 'Height', 'Weight',  
       'WeightAlt'], dtype=object)
```

فهم البيانات لدينا يساعدنا على توجيه عملية تحليلنا لها، يجب علينا فهم ما يحتويه كل عمود. بعض هذه الأعمدة واضحة من مسمياتها، ولكن بعضها يحتاج شرحاً أكثر:

- BCS (Body Condition Score): حالة الجسم (تقييم لصحة جسد الحيوان).
- Girth: مقاييس لمتوسط جسم الحيوان.
- WeightAlt: وزن آخر (من بين البيانات لدينا تم وزنه بعدهم مرتين وعدهم 31، تم وزنه مرتين للتأكد من دقة الوزن).

فكرة مناسبة الآن هو تحديد أي الأعمدة تحتوي على بيانات كمية وأيها تحتوي على بيانات اسمية.

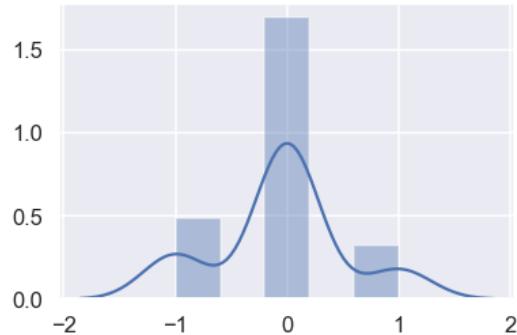
الكمية: WeightAlt و Length، Girth، Height، Weight.  
الاسمية: Sex و BCS، Age.

## تنظيف البيانات

في هذا الجزء، سنتتحقق من البيانات إذا كانت تحتوي على أي شذوذ ونتعامل معها.

عن طريق التتحقق من عمود WeightAlt، يمكننا التأكد من دقة الوزن بأخذ الفرق بين الوزنين ورسمها النتائج:

```
</>  
difference = donkeys['WeightAlt'] - donkeys['Weight']  
sns.distplot(difference.dropna());
```



الأوزان تبدو معقولة بفارق 1 أو أقل كيلو قرام فيما بينها.

الآن، يمكننا النظر إلى قيم غريبه والتي قد تظر أن لدينا مشاكل أو أخطاء. يمكننا استخدام الدالة [Quantile](#) للكشف عن القيم الشاذة:

```
</>
donkeys.quantile([0.005, 0.995])
```

	BCS	Length	Girth	Height	Weight	WeightAlt
0.005	1.5	71.145	90	89	71.715	98.75
0.995	4	111	131.285	112	214	192.8

شرح مبسط للدالة `quantile`: تقوم الدالة بإظهار نتائج بناءً على النسبة المعطاة لها، في المثال السابق طلبنا نتائج من هم في النسبة 0.005 وأقل و منهم في النسبة 0.995 وأقل. مثلاً في العمود Height، يظهر لنا أن 0.5% أو أقل يبلغ طولهم 89.0 بينما 99.5% أو أقل يبلغ طولهم 112.0 في بياناتنا.

لكل الأعمدة الكمية، يمكن أن نبحث عن أي سطر تكون نتيجته خارج هذه الأعداد، لأننا نريد أن يطبق النموذج على أي حيوان صحته ممتازة وناضج.

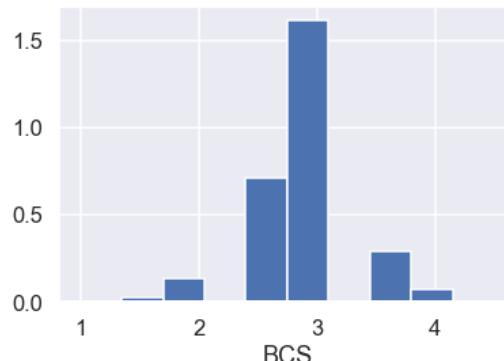
أولاً، لنرى العمود `BCS`:

```
</>
donkeys[(donkeys['BCS'] < 1.5) | (donkeys['BCS'] > 4)]['BCS']
```

```
291    4.5
445    1.0
Name: BCS, dtype: float64
```

أيضاً عند النظر على المخطط الشريطي للعمود `BCS`:

```
</>
plt.hist(donkeys['BCS'], density=True)
plt.xlabel('BCS');
```



بالأخذ بالإعتبار أن العمود `BCS` يظهر لنا مدى صحة ونضوج الحيوان، حصول الحيوان على 1 يبين أنه هزيل وحصوله على 4.5 يبين أن وزنه زائد. أيضاً بالنظر إلى المخطط الشريطي، فقق يظهر لدينا اثنين بقيم شاذة في العمود `BCS`. لذا سنقوم بحذف هذه البيانات.

```
</>
donkeys[(donkeys['Length'] < 71.145) | (donkeys['Length'] > 111)]['Length']
```

```
8      46
22     68
26     69
216    112
Name: Length, dtype: int64
```

```
</>
donkeys[(donkeys['Girth'] < 90) | (donkeys['Girth'] > 131.285)]['Girth']
```

```
8      66
239   132
283   134
523   134
Name: Girth, dtype: int64
```

```
</>
donkeys[(donkeys['Height'] < 89) | (donkeys['Height'] > 112)]['Height']
```

```
8      71
22     86
244    113
523    116
Name: Height, dtype: int64
```

بالنسبة لهذه الأعمدة الثلاثة، يبدو أن السطر 8 يحتوي على قيم ادنى من باقي البيانات بينما الأسطر الأخرى قريبة جداً من باقي البيانات ولا يحتاج أن نحذفها.

أخيراً، لنرى العمود Weight:

```
</>
donkeys[(donkeys['Weight'] < 71.715) | (donkeys['Weight'] > 214)]['Weight']
```

```
8      27
26     65
50     71
291    227
523    230
Name: Weight, dtype: int64
```

أو سطرين وآخر سطرين بعيدة جداً عن بقية البيانات وعلى الأرجح سنقوم بحذفها. يمكننا أن نبقي السطر في المنتصف كونه قريباً جداً من بقية البيانات.

بما أن العمود Weight مشابه للعمود WeightAlt، لن نقوم بالبحث عن شواذ فيه. وللجميع ما فهمناه، هذا ما سنقوم بفلترته في بياناتنا:

- الإبقاء على البيانات بين 1.5 و 4 في العمود BCS.
- الإبقاء على الأسطر التي بياناتها بين 71 و 214 في العمود Weight.

```
</>
donkeys_c = donkeys[(donkeys['BCS'] >= 1.5) & (donkeys['BCS'] <= 4) &
                     (donkeys['Weight'] >= 71) & (donkeys['Weight'] <= 214)]
```

## فصل بيانات التدريب والاختبار

قبل أن نبدأ بتحليل البيانات، نريد أن نقسم البيانات إلى تقسيم 20/80، نستخدم فيها 80% من البيانات لتدريب النموذج، ونترك 20% لتقديره واستئصال النموذج:

```
</>
from sklearn.model_selection import train_test_split
```

```
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(donkeys_c.drop(['Weight'], axis=1),
                                                    donkeys_c['Weight'],
                                                    test_size=0.2,
                                                    random_state=42)

X_train.shape, X_test.shape
```

```
((431, 7), (108, 7))
```

استخدم الكاتب دالة `train_test_split` والتي تأتي من مكتبة `sklearn` وهي مكتبة متخصصة بأدوات تحليل البيانات وتعلم الآلة.

نقوم أيضاً بإنشاء دالة `mse` تقييم التوقع على بيانات الإختبار، لنسخدم الخطأ التربيعي المتوسط:

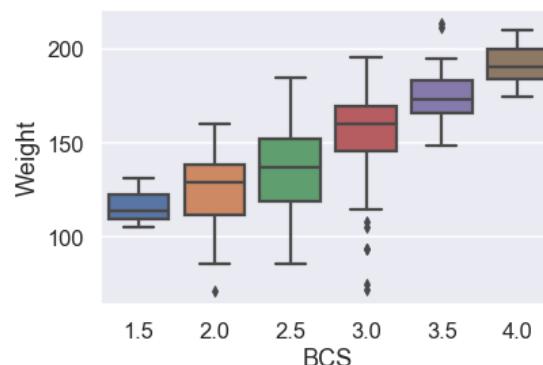
```
def mse_test_set(predictions):
    return float(np.sum((predictions - y_test) ** 2))
```

## استكشاف البيانات وتصويرها

كالمعتاد، سنتتحقق من البيانات قبل محاولة ضبط النموذج عليها.

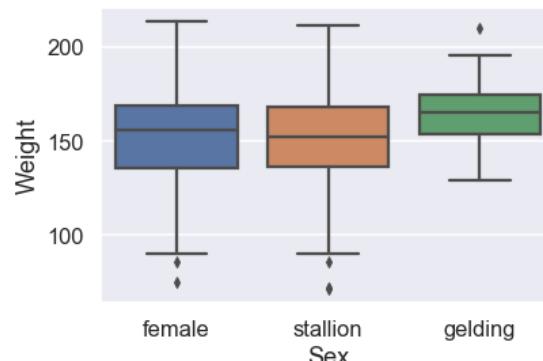
أولاً، لنطلع على البيانات الاسمية باستخدام مخطط الصندوق:

```
sns.boxplot(x=X_train['BCS'], y=y_train);
```



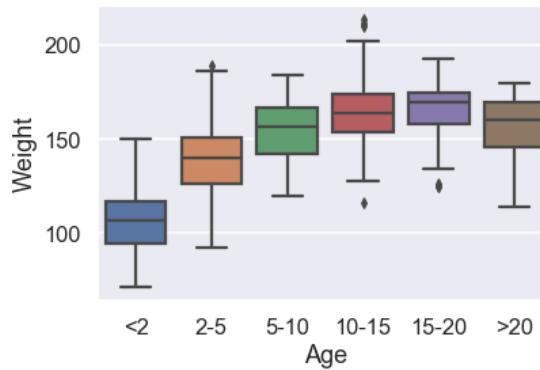
يبعد أن متوسط الوزن يزداد مع BCS، وليس خطياً:

```
sns.boxplot(x=X_train['Sex'], y=y_train,
             order = ['female', 'stallion', 'gelding']);
```



يظهر أن الجنس لا يتأثر كثيراً بالوزن

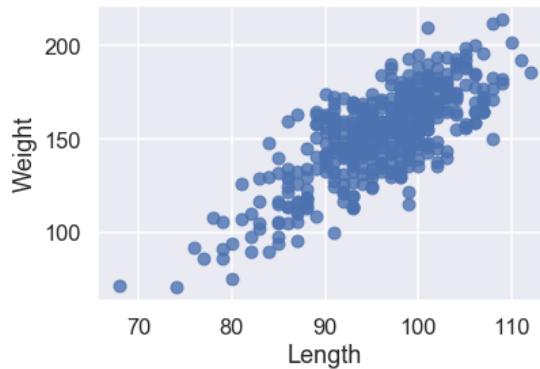
```
sns.boxplot(x=X_train['Age'], y=y_train,  
            order = ['<2', '2-5', '5-10', '10-15', '15-20', '>20']);
```



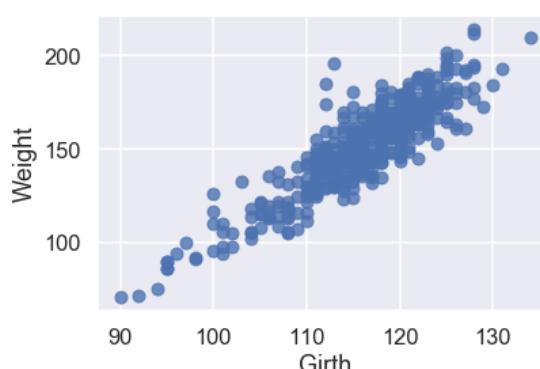
بعمر 5 أو أكثر، توزيع الأوزان لا يظهر أي تغير كبير.

الآن، لنلقي نظرة على البيانات الكمية. يمكننا رسم كل واحد منها مع المتغير الذي نريد التنبؤ عنه:

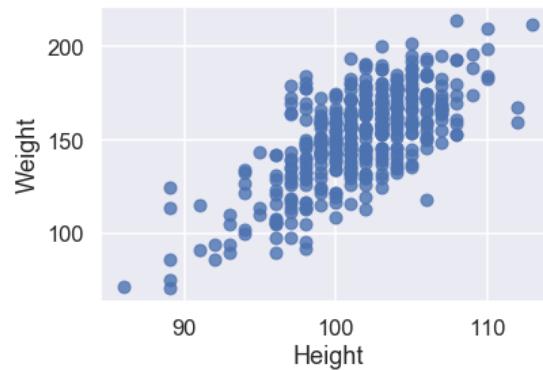
```
X_train['Weight'] = y_train  
sns.regplot('Length', 'Weight', X_train, fit_reg=False);
```



```
sns.regplot('Girth', 'Weight', X_train, fit_reg=False);
```



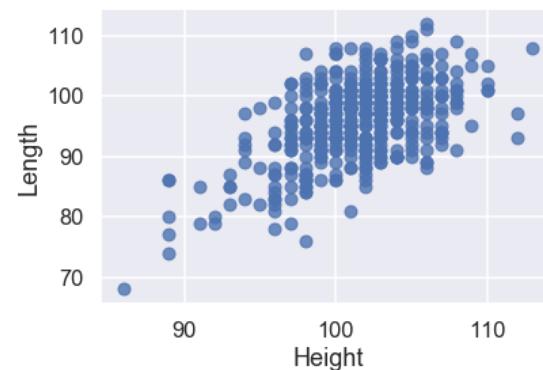
```
sns.regplot('Height', 'Weight', X_train, fit_reg=False);
```



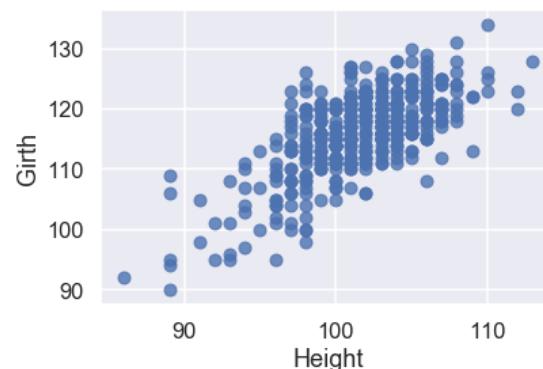
جميع البيانات الكمية لديها علاقة خطية مع المتغير الذي نريد توقعه `Weight`، لذا لا نحتاج للقيام بأي تعديلات على البيانات التي سنتدريب النموذج عليها.

أيضاً تبدو فكرة جيدة إذا رأينا بين كل متغير وآخر إذا كانت العلاقة بينهم خطية. سنقوم برسم اثنين:

```
</>
sns.regplot('Height', 'Length', X_train, fit_reg=False);
```



```
</>
sns.regplot('Height', 'Girth', X_train, fit_reg=False);
```



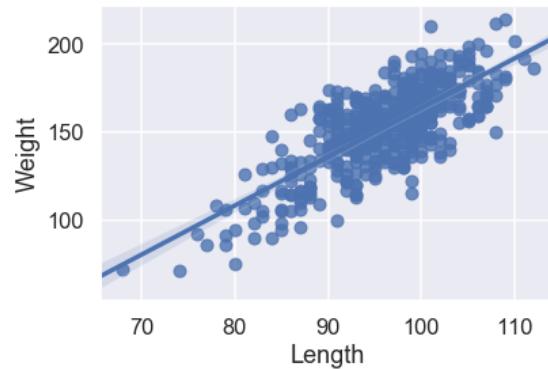
من هذه الرسوم، نلاحظ أيضاً أن المتغيرات التي تساعدننا على التنبؤ لديها علاقة خطية قوية فيما بينها. يصعب ذلك من عملية تفسير نتائج النموذج، لذا لنتذكر لذلك بعد إنشاء النموذج.

## نماذج خطية أبسط

بدلاً من استخدام كل البيانات مرة واحدة، لنجرب ضبط النموذج على متغير أو اثنين أولأ.

في الأسفل ثالث نماذج انحدار خطى فقط باستخدام متغير كمي واحد. أي هذه النماذج يبدو الأفضل؟

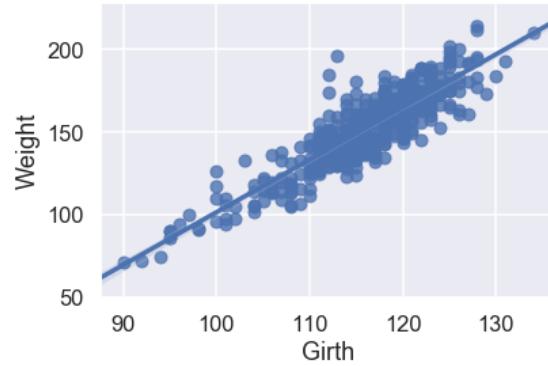
```
</>
sns.regplot('Length', 'Weight', X_train, fit_reg=True);
```



```
</>
from sklearn.linear_model import LinearRegression
model = LinearRegression()
model.fit(X_train[['Length']], X_train['Weight'])
predictions = model.predict(X_test[['Length']])
print("MSE:", mse_test_set(predictions))
```

```
MSE: 26052.58007702549
```

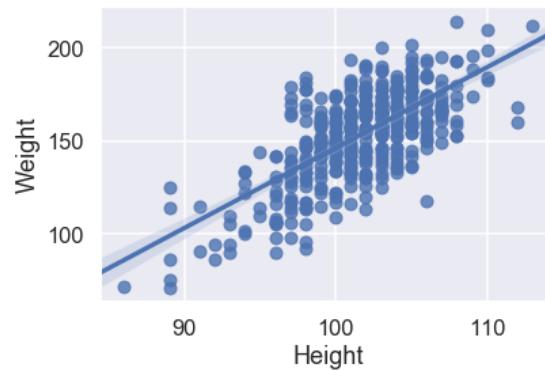
```
</>
sns.regplot('Girth', 'Weight', X_train, fit_reg=True);
```



```
</>
model = LinearRegression()
model.fit(X_train[['Girth']], X_train['Weight'])
predictions = model.predict(X_test[['Girth']])
print("MSE:", mse_test_set(predictions))
```

```
MSE: 13248.814105932383
```

```
</>
sns.regplot('Height', 'Weight', X_train, fit_reg=True);
```



```
</>
model = LinearRegression()
model.fit(X_train[['Height']], X_train['Weight'])
predictions = model.predict(X_test[['Height']])
print("MSE:", mse_test_set(predictions))
```

MSE: 36343.308584306134

بالنظر إلى مهبط التشتت ونتيجة MSE، يبدو لنا أن Girth هي الأفضل لتوقع الوزن وحدها كون لديها علاقة خطية قوية مع Weight ولديها أقل قيمة للخطأ التربيعي المتوسط.

هل نحصل على أداء أفضل عند استخدام مُتغيرين؟ لنجرب ضبط النموذج باستخدام Girth و Length. على الرغم انه من الصعب رسم هذا النموذج، يمكننا رؤية نتيجة الخطأ التربيعي المتوسط:

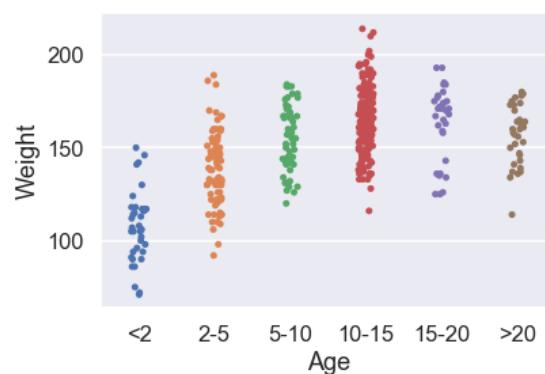
```
</>
model = LinearRegression()
model.fit(X_train[['Girth', 'Length']], X_train['Weight'])
predictions = model.predict(X_test[['Girth', 'Length']])
print("MSE:", mse_test_set(predictions))
```

MSE: 9680.902423377258

رائع! يبدو أن MSE تم تقليلها لدينا من حوالي 13000 إلى 10000 باستخدام Girth وحدها إلى 10000 باستخدام Girth و Length. بالإضافة متغير آخر حسن من نموذجنا.

يمكننا أيضاً استخدام المتغيرات الاسمية في نموذجنا. لرئ الآن كيف نستخدم النموذج الخطى مع البيانات الاسمية في العمود Age. هذا الرسم البياني لـ Weight و Age

```
</>
sns.stripplot(x='Age', y='Weight', data=X_train, order=['<2', '2-5', '5-10', '10-15', '15-20', '>20']);
```



بما أن البيانات في العمود Age اسمية، فنحتاج لاستخدام بيانات رقمية مطابقة لها لنتتمكن من تطبيق نموذج الانحدار الخطى عليه:

```
</>
just_age_and_weight = X_train[['Age', 'Weight']]
with_age_dummies = pd.get_dummies(just_age_and_weight, columns=['Age'])
model = LinearRegression()
```

```

model.fit(with_age_dummies.drop('Weight', axis=1), with_age_dummies['Weight'])

just_age_and_weight_test = X_test[['Age']]
with_age_dummies_test = pd.get_dummies(just_age_and_weight_test, columns=['Age'])
predictions = model.predict(with_age_dummies_test)
print("MSE:", mse_test_set(predictions))

```

MSE: 41398.515625

استخدم الكاتب الدالة `get_dummies` لتحويل المتغيرات الاسمية إلى بيانات وهمية كمية تتكون من 0 و 1، يطلق على هذه الطريقة بـ `One hot encoding` ويمكن وصفها في الصورة التالية:

	CompanyName	Categoricalvalue	Price
1			
2	VW	1	20000
3	Acura	2	10011
4	Honda	3	50000
5	Honda	3	10000
6			
7			
8			

	VW	Acura	Honda	Price
1	1	0	0	20000
2	0	1	0	10011
3	0	0	1	50000
4	0	0	1	10000
5				
6				
7				
8				

نتيجة 40000 أسوأ بكثير مما حصلنا عليه باستخدام متغير كمي واحد، ولكن هذا المتغير قد يثبت أهميته في نموذجنا الخطي.

لنجاول تفسير هذا النموذج. لاحظ أن أي جمار عمره لنقل بين 2 و 5 سنوات، سيحصل على نفس التوقع لأن لديهم نفس المدخلات: 1 للعمود إلى يحدد العمر بين 2-5 سنوات، و 0 في بقية الأعمدة. لذا، يمكننا تفسير المتغيرات الاسمية ببساطة بتغيير القيم في النموذج لأن المتغيرات الاسمية تفصلهم إلى مجموعات ونعطي توقع واحد لجميع من في هذه المجموعة.

خطوتنا القادمة هي بناء النموذج النهائي باستخدام المتغيرات الاسمية وأكثر من متغير كمي.

## تحويل المتغيرات

لنذكر من رسمات الصندوق السابقة أن العمود `Sex` لم يكن مفيداً، لذا سنتخلص منه. سنقوم أيضاً بحذف العمود `WeightAlt` لأن لدينا فقط 31 منها. أخيراً، استخدام `get_dummies`، لتحويل البيانات الاسمية فيه `BCS` و `Age` إلى بيانات وهمية كمية لنتتمكن من إدخالها إلى النموذج:

```

# هذه الخيار لزيادة عدد الأعمدة التي تظهر في جوبتر
pd.set_option('max_columns', 15)

X_train.drop(['Sex', 'WeightAlt'], axis=1, inplace=True)
X_train = pd.get_dummies(X_train, columns=['BCS', 'Age'])
X_train.head()

```

Length	Girth	Height	BCS_1.5	BCS_2.0	BCS_2.5	BCS_3.0	BCS_3.5	BCS_4.0	Age_10-15	Age_15-20	Age_2-5	Age_5-10	Age_<2	Age_>20
465	98	113	99	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
233	101	119	101	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
450	106	125	103	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
453	93	120	100	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
452	98	120	108	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0

لنجاول أننا لاحظنا توزيع الوزن لمن أعمارهم أكبر من 5 وعدم وجود فارق كبير. لذا، سنجمع الأعمدة `Age_10-15`, `Age_15-20`, و `Age_>20` إلى عمود واحد:

```

age_over_10 = X_train['Age_10-15'] | X_train['Age_15-20'] | X_train['Age_>20']
X_train['Age_>10'] = age_over_10
X_train.drop(['Age_10-15', 'Age_15-20', 'Age_>20'], axis=1, inplace=True)

```

لأننا لا نريد أن تكون المصفوفة تحتوي على متغيرات كثيرة، لنقوم بحذف واحد من كل الأعمدة الاسمية `BCS` و `Age`:

```

X_train.drop(['BCS_3.0', 'Age_5-10'], axis=1, inplace=True)
X_train.head()

```

	Length	Girth	Height	BCS_1.5	BCS_2.0	BCS_2.5	BCS_3.5	BCS_4.0	Age_2-5	Age_<2	Age_>10
465	98	113	99	0	0	0	0	0	1	0	0
233	101	119	101	0	0	0	0	0	0	0	1
450	106	125	103	0	0	1	0	0	0	0	1
453	93	120	100	0	0	1	0	0	1	0	0
452	98	120	108	0	0	1	0	0	0	0	0

يجب علينا إضافة عمود جديد لإظهار الانحياز في النموذج:

```
</>
# اضافة عمود bias
X_train = X_train.assign(bias=1)
X_train = X_train.reindex(columns=['bias'] + list(X_train.columns[:-1]))
X_train.head()
```

	bias	Length	Girth	Height	BCS_1.5	BCS_2.0	BCS_2.5	BCS_3.5	BCS_4.0	Age_2-5	Age_<2	Age_>10
465	1	98	113	99	0	0	0	0	0	1	0	0
233	1	101	119	101	0	0	0	0	0	0	0	1
450	1	106	125	103	0	0	1	0	0	0	0	1
453	1	93	120	100	0	0	1	0	0	1	0	0
452	1	98	120	108	0	0	1	0	0	0	0	0

### نموذج الانحدار الخطى المتعدد

نحن الآن جاهزون لضبط النموذج باستخدام جميع المتغيرات التي قررنا أنها الأهم وبعد أن حولناها لشكل مناسب للنموذج.

يمكنا تعريف نموذجنا كالتالي:

$$f_{\theta}(\mathbf{x}) = \theta_0 + \theta_1(Length) + \theta_2(Girth) + \theta_3(Height) + \dots + \theta_{11}(Age_{>10})$$

هذه هي الدوال التي عرفناها في درس الانحدار الخطى المتعدد، والتي سنستخدمها مرة أخرى:

```
</>
def linear_model(thetas, X):
    '''Returns predictions by a linear model on x_vals.'''
    return X @ thetas

def mse_cost(thetas, X, y):
    return np.mean((y - linear_model(thetas, X)) ** 2)

def grad_mse_cost(thetas, X, y):
    n = len(X)
    return -2 / n * (X.T @ y - X.T @ X @ thetas)
```

للقدرة على استخدام الدوال السابقة، نزيد  $\mathbf{X}$  و  $y$ . يمكننا أن نحصل عليهما من بياناتنا. تذكر أن  $\mathbf{X}$  و  $y$  يجب أن تكون مصفوفات في NumPy لنتتمكن من القيام بعملية الضرب باستخدام الرمز  $@$ :

```
X_train = X_train.values
y_train = y_train.values
```

الآن، فقط نحتاج لاستخدام الدالة `minimize` التي عرفناها في الجزء السابق:

```
thetas = minimize(mse_cost, grad_mse_cost, X_train, y_train)
```

```
theta: [0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.] | cost: 23979.72
theta: [0.01 0.53 0.65 0.56 0. 0. 0. 0. 0. 0.] | cost: 1214.03
theta: [-0.07 1.84 2.55 -2.87 -0.02 -0.13 -0.34 0.19 0.07 -0.22 -0.3 0.43] | cost: 1002.46
theta: [-0.25 -0.76 4.81 -3.06 -0.08 -0.38 -1.11 0.61 0.24 -0.66 -0.93 1.27] | cost: 815.50
theta: [-0.44 -0.33 4.08 -2.7 -0.14 -0.61 -1.89 1.02 0.4 -1.06 -1.57 2.09] | cost: 491.91
theta: [-1.52 0.85 2. -1.58 -0.52 -2.22 -5.63 3.29 1.42 -2.59 -5.14 5.54] | cost: 140.86
theta: [-2.25 0.9 1.72 -1.3 -0.82 -3.52 -7.25 4.64 2.16 -2.95 -7.32 6.61] | cost: 130.33
theta: [-4.16 0.84 1.32 -0.78 -1.65 -7.09 -10.4 7.82 4.18 -3.44 -12.61 8.24] | cost: 116.92
theta: [-5.89 0.75 1.17 -0.5 -2.45 -10.36 -11.81 10.04 6.08 -3.6 -16.65 8.45] | cost: 110.37
```

ونموذجنا يبدو كالتالي:

$$y = -204.03 + 0.93x_1 + \dots - 7.22x_9 + 1.95x_{11}$$

للتقارن هذه المعادلة التي حصلنا عليها مع أخرى قد نحصل عليها من نموذج الانحدار الخطى في مكتبة `sklearn`:

```

model = LinearRegression(fit_intercept=False)
model.fit(X_train[:, :14], y_train)
print("Coefficients", model.coef_)

```

```

Coefficients [-204.03    0.93    1.67    0.74   -10.5    -8.72   -6.39    7.54   11.39
              -3.6     -7.22    1.95]

```

يظهر المعامل مطابقاً لما حصلنا عليه! دوالنا التي كتبناها أنتجت نفس النموذج كما لو أنتهجه مكتبة بايثون!  
تمكننا بنجاح من ضبط النموذج الخطي!

### تقييم نموذجنا

خطوتنا التالية هي تقييم نتائج النموذج باستخدام بيانات الاختبار. نحتاج لتطبيق جميع ما فعلناه على بيانات التدريب في بيانات الاختبار قبل أن ندخلها إلى النموذج للتوقع:

```

X_test.drop(['Sex', 'WeightAlt'], axis=1, inplace=True)
X_test = pd.get_dummies(X_test, columns=['BCS', 'Age'])
age_over_10 = X_test['Age_10-15'] | X_test['Age_15-20'] | X_test['Age_>20']
X_test['Age_>10'] = age_over_10
X_test.drop(['Age_10-15', 'Age_15-20', 'Age_>20'], axis=1, inplace=True)
X_test.drop(['BCS_3.0', 'Age_5-10'], axis=1, inplace=True)
X_test = X_test.assign(bias=1)
X_test = X_test.reindex(columns=['bias'] + list(X_test.columns[:-1]))
X_test

```

	bias	Length	Girth	Height	BCS_1.5	BCS_2.0	BCS_2.5	BCS_3.5	BCS_4.0	Age_2-5	Age_<2	Age_>10
490	1	98	119	103	0	0	1	0	0	0	0	1
75	1	86	114	105	0	0	0	0	0	1	0	0
352	1	94	114	101	0	0	0	0	0	0	0	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
182	1	94	114	102	0	0	0	0	0	1	0	0
334	1	104	113	105	0	0	1	0	0	0	0	0
543	1	104	124	110	0	0	0	0	0	0	0	0

108 rows × 12 columns

: يقوم بإدخال X\_test إلى نموذجنا الخطي predict

```

X_test = X_test.values
predictions = model.predict(X_test)

```

الآن لنطلع على نتيجة الخطأ التربيعي المتوسط:

```

mse_test_set(predictions)

```

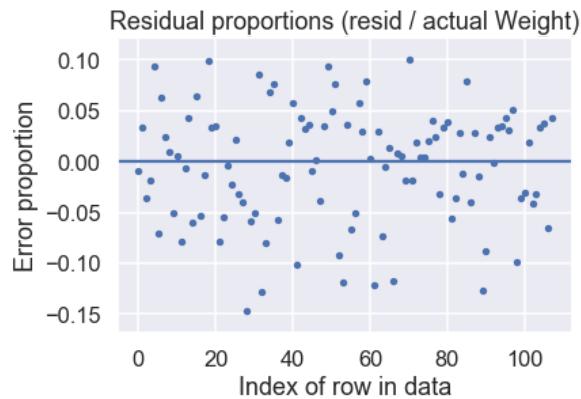
7261.974205350604

: بهذه التوقعات، يمكننا رسم نتيجة الفارق بين التوقع مقارنة بالنتائج الحقيقية Residual plot

```

y_test = y_test.values
resid = y_test - predictions
resid_prop = resid / y_test
plt.scatter(np.arange(len(resid_prop)), resid_prop, s=15)
plt.axhline(0)
plt.title('Residual proportions (resid / actual Weight)')
plt.xlabel('Index of row in data')
plt.ylabel('Error proportion');

```



يبعد أن النموذج يؤدي بشكل رائع! نتيجة الفارق بين التوقع والنتائج الحقيقية تظهر أن توقعنا كان بحد أعلى 15% من النتيجة الحقيقية.

## هندسة الخصائص

### مقدمة

هندسة الخصائص **Feature Engineering** تعني إنشاء وإضافة خصائص جديدة للبيانات لزيادة دقة وتحقيق النموذج.

حتى الآن، قمنا فقط بتطبيق الانحدار الخطى باستخدام خصائص كمية كدخلات، استخدمنا القيمة الكمية لمجموع الفاتورة للتنبؤ بمبلغ الإكرامىة. ولكن، احتوت بيانات الإكراميات على بيانات اسمية، مثل أيام الأسبوع ونوع الوجبة. هندسة الخصائص تسهل لنا بتحويل البيانات الاسمية إلى كمية لاستخدامها في الانحدار الخطى.

تسهل لنا هندسة الخصائص أيضاً باستخدام نموذج الانحدار الخطى لإجراء انحدار متعدد الحدود عن طريق إنشاء متغيرات جديدة في بياناتها.

### بيانات وول مارت

في عام 2014، قامت وول مارت بنشر بعض بيانات بيعها كجزء من مسابقة للتنبؤ بالمبيعات الأسبوعية في فروعها. أخذنا جزء من هذه البيانات واستخدمناها في المثال التالي:

وللبيانات Walmart هي إحدى أكبر متاجر التجزئة والمنتجات اليومية في الولايات المتحدة الأمريكية.  
لتحميل البيانات [walmart.csv](#) اضغط هنا.

```
</>
import pandas as pd
walmart = pd.read_csv('walmart.csv')
walmart
```

	Date	Weekly_Sales	IsHoliday	Temperature	Fuel_Price	Unemployment	MarkDown
0	05-02-10	24924.5	No	42.31	2.572	8.106	No Markdown
1	12-02-10	46039.49	Yes	38.51	2.548	8.106	No Markdown
2	19-02-10	41595.55	No	39.93	2.514	8.106	No Markdown
...	...	...	...	...	...	...	...
140	12-10-12	22764.01	No	62.99	3.601	6.573	MarkDown2
141	19-10-12	24185.27	No	67.97	3.594	6.573	MarkDown2
142	26-10-12	27390.81	No	69.16	3.506	6.573	MarkDown1

143 rows × 7 columns

تحتوي البيانات على عدد من الخصائص المثيرة للإعجاب، إضافة إلى معلومات ما إذا كان الأسبوع يحتوى على إجازة في العمود IsHoliday، ومعدل البطالة في الأسبوع Unemployment وأى من العروض الخاصة التي قدمها المتجر في ذلك الأسبوع .MarkDown

الهدف هو بناء نموذج يتوقع المتغير Weekly\_Sales باستخدام باقى المعلومات فى جدول البيانات. باستخدام نموذج الانحدار الخطى يمكننا بشكل مباشر استخدام الأعمدة Unemployment و Temperature، Fuel\_Price،

## ضبط النموذج باستخدام مكتبة Scikit-learn

في الفصول السابقة تعلمنا كيف نوجد مشتقة دالة التكلفة واستخدام التزول الاشتقaci لضبط النموذج. لفعل ذلك، كان علينا تعريف دوال في بايثون لبناء النموذج، دالة التكلفة، مشتقة دالة التكلفة، وخوارزمية التزول الاشتقaci. رغم أهمية ذلك لعرض وفهم المفاهيم في بناء النماذج، في هذا الفصل سنستخدم مكتبة متخصصة بتعلم الآلة اسمها scikit-learn والتي تسمح لنا بضبط النماذج باستخدام أ��اد برمجية أقل.

متالًًا لضبط نموذج انحدار خطى متعدد باستخدام البيانات الكمية في قاعدة بيانات وول مارت، نقوم أولًا ببناء مصفوفة ثنائية الأبعاد باستخدام NumPy تحتوي على المتغيرات المستخدمة لبناء نموذج التنبؤ و مصفوفة أحادية الأبعاد تحتوي على القيم التي نريد التنبؤ عنها:

```
</>
numerical_columns = ['Temperature', 'Fuel_Price', 'Unemployment']
X = walmart[numerical_columns].to_numpy()
X
```

```
array([[ 42.31,    2.57,    8.11],
       [ 38.51,    2.55,    8.11],
       [ 39.93,    2.51,    8.11],
       ...,
       [ 62.99,    3.6 ,   6.57],
       [ 67.97,    3.59,   6.57],
       [ 69.16,    3.51,   6.57]])
```

```
</>
y = walmart['Weekly_Sales'].to_numpy()
y
```

```
array([ 24924.5 ,  46039.49,  41595.55, ...,  22764.01,  24185.27,
       27390.81])
```

ثم نستدعي [كلاس الانحدار الخطى](#) scikit-learn من مكتبة LinearRegression [\[مزيد من التفاصيل اضغط هنا\]](#)، نعرف بالنموذج، ثم نستدعي دالة الضبط fit باستخدام المتغيرات X للتنبؤ بقيمة y.

لاحظ أنها في السابق احتجنا لإضافة عمود جديد يدعواً يحتوى على القيمة 1 للمصفوفة X "التحيز" لنقوم بتطبيق الانحدار الخطى. هذه المرة، سنتكفل بفعل ذلك لتختصر علينا الوقت:

```
</>
from sklearn.linear_model import LinearRegression
simple_classifier = LinearRegression()
simple_classifier.fit(X, y)
```

```
LinearRegression(copy_X=True, fit_intercept=True, n_jobs=1, normalize=False)
```

رائع! عندما نستدعي fit، مكتبة scikit-learn أوجدت المتغيرات التي تقلل من دالة تكلفة المربعات الصغرى. يمكننا الاطلاع على المتغيرات كالتالي:

```
</>
simple_classifier.coef_, simple_classifier.intercept_
```

```
(array([-332.22,  1626.63,  1356.87]), 29642.700510138635)
```

لحساب تكلفة المتوسط التربيعي، يمكننا أن نطلب من المصنف Classifier التنبؤ للقيم المدخلة في X ومقارنة النتيجة مع البيانات الحقيقة في y:

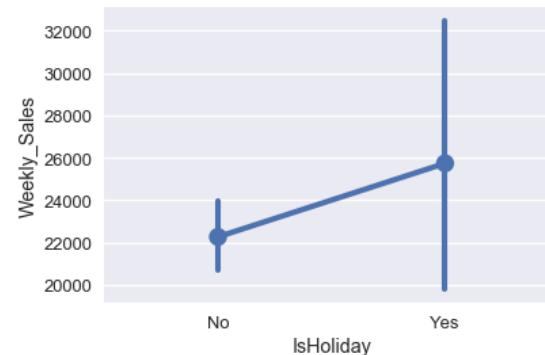
```
</>
import numpy as np
predictions = simple_classifier.predict(X)
np.mean((predictions - y) ** 2)
```

```
74401210.603607252
```

يظهر أن الخطأ التربيعي المتوسط يبدو مرتفعاً جداً. على الأرجح يكون سبب ذلك هو المتغيرات الثلاثة الكمية التي استخدمناها وارتباطها الضعيف بالمبيعات الأسبوعية.

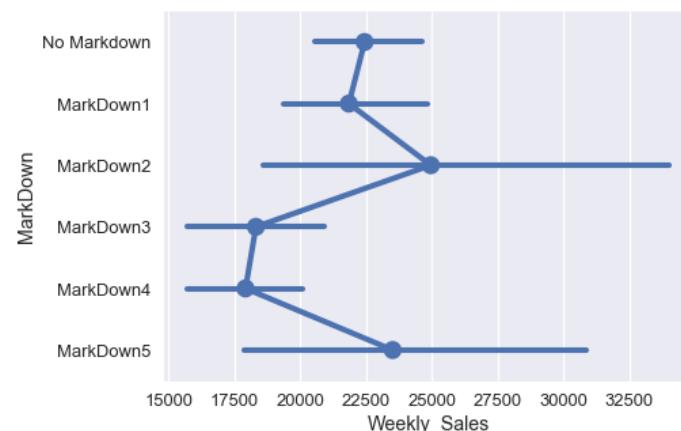
لدينا متغيران آخرين من الممكن أن يكون لهما فائدة في التنبؤ: عمود `IsHoliday` و `MarkDown`. مخطط الصندوق في الأسفل يوضح أن الإجازات قد تكون لها ارتباط مع المبيعات الأسبوعية:

```
</>
import seaborn as sns
sns.pointplot(x='IsHoliday', y='Weekly_Sales', data=walmart);
```



يظهر أن هناك رابط بين الأنواع المختلفة للعروض في العمود `MarkDown` وبين كمية المبيعات في الأسابيع المختلفة:

```
</>
import matplotlib.pyplot as plt
markdowns = ['No Markdown', 'MarkDown1', 'MarkDown2', 'MarkDown3', 'MarkDown4', 'MarkDown5']
plt.figure(figsize=(7, 5))
sns.pointplot(x='Weekly_Sales', y='MarkDown', data=walmart, order=markdowns);
```



ولكن، كلا الأعمدة `IsHoliday` و `MarkDown` هي بيانات أسمية، وليسن كمية، لذا لا يمكن أن نستخدمها كما هي الآن في الانحدار.

## استخدام One-Hot Encoding

لحسن الحظ، يمكننا أن نستخدم **One-Hot Encoding** على هذه البيانات الاسمية لتحويلها لكمية. التحويل يتم كالتالي: ننشأ عمود جديد لكل قيمة مختلفة في العمود الأسمى. يحتوي كل عمود على الرقم 1 إذا كانت القيمة الموجودة في العمود الأسمى، وغير ذاك تكون القيمة 0، مثلاً في العمود `MarkDown`:

```
</>
walmart[['MarkDown']]
```

MarkDown	
0	No Markdown
1	No Markdown
2	No Markdown
...	...
140	MarkDown2
141	MarkDown2

143 rows x 1 columns

يحتوي العمود على ست قيم مختلفة وهي: No Markdown، MarkDown1، MarkDown2، MarkDown3، MarkDown4، و MarkDown5. نقوم بإنشاء عمود لكل قيمة وينتج لنا ست أعمدة جديدة. ثم نقوم بتعين كل عمود بصفر أو واحد بنفس الطريقة التي شرحناها مسبقاً.

```
</>
from sklearn.feature_extraction import DictVectorizer
items = walmart[['MarkDown']].to_dict(orient='records')
encoder = DictVectorizer(sparse=False)
pd.DataFrame(
    data=encoder.fit_transform(items),
    columns=encoder.feature_names_
)
```

	MarkDown=MarkDown1	MarkDown=MarkDown2	MarkDown=MarkDown3	MarkDown=MarkDown4	MarkDown=MarkDown5	MarkDown=No Markdown
0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1
...	...	...	...	...	...	...
140	0	1	0	0	0	0
141	0	1	0	0	0	0
142	1	0	0	0	0	0

143 rows x 6 columns

لاحظ أن أول سطر في البيانات هي No Markdown، لذا فقط آخر عمود في الجدول الذي تم إنشاءه تحتوي على الرقم 1. وأيضاً، آخر سطر في البيانات يحتوي على MarkDown1 مما جعل أو عمود يحتوي على 1.

كل سطر في الجدول يحتوي على عمود واحد لديه الرقم 1، والبقية ستحتوي على 0. السُّم "One-Hot" يعني أن عمود واحد سيكون ذو قيمة (يحتوي على 1).

مثال آخر تم ذكره في الفصل السابق:

1	CompanyName	Categoricalvalue	Price
2			
3			
4	VW	1	20000
5	Acura	2	10011
6	Honda	3	50000
7	Honda	3	10000
8			

1	VW	Acura	Honda	Price
2				
3				
4	1	0	0	20000
5	0	1	0	10011
6	0	0	1	50000
7	0	0	1	10000
8				

### طريقة Scikit-learn في One-Hot Encoding

نقوم بعملية One-Hot Encoding يمكننا استخدام الكلاس DictVectorizer من مكتبة scikit-learn لتحويل DataFrame إلى مصفوفة تحتوي على قواميس. الكلاس DictVectorizer يقوم بشكل تلقائي بعملية One-Hot Encoding للأعمدة الاسمية (التي يجب أن تكون نصوص) ولا يقوم بتغيير أي عمود يحتوي على قيم كمية:

```
</>
from sklearn.feature_extraction import DictVectorizer
all_columns = ['Temperature', 'Fuel_Price', 'Unemployment', 'IsHoliday',
               'MarkDown']
records = walmart[all_columns].to_dict(orient='records')
encoder = DictVectorizer(sparse=False)
encoded_X = encoder.fit_transform(records)
encoded_X
```

```
array([[ 2.57,   1. ,   0. , ...,   1. ,  42.31,   8.11],
       [ 2.55,   0. ,   1. , ...,   1. ,  38.51,   8.11],
       [ 2.51,   1. ,   0. , ...,   1. ,  39.93,   8.11],
       ...,
       [ 3.6 ,   1. ,   0. , ...,   0. ,  62.99,   6.57],
       [ 3.59,   1. ,   0. , ...,   0. ,  67.97,   6.57],
       [ 3.51,   1. ,   0. , ...,   0. ,  69.16,   6.57]])
```

لتتبين لك الفكرة والشكل الجديد للبيانات، يمكننا عرضها مع أسماء الأعمدة:

```
</>
pd.DataFrame(data=encoded_X, columns=encoder.feature_names_)
```

	Fuel_Price	IsHoliday=No	IsHoliday=Yes	MarkDown=MarkDown1	...	MarkDown=MarkDown5	MarkDown=No Markdown	Temperature	Unemployment
0	2.572	1	0	0	...	0	1	42.31	8.106
1	2.548	0	1	0	...	0	1	38.51	8.106
2	2.514	1	0	0	...	0	1	39.93	8.106
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
140	3.601	1	0	0	...	0	0	62.99	6.573
141	3.594	1	0	0	...	0	0	67.97	6.573
142	3.506	1	0	1	...	0	0	69.16	6.573

143 rows × 11 columns

الأعمدة الكمية Fuel price، Temperature و Unemployment تم تطبيق ال One-Hot Encoding عليها. عندما نستخدم المصفوفة الجديدة للبيانات لضبط نموذج الانحدار الخطى، سنقوم بإيجاد متغير جديد لكل عمود في البيانات. بما أن المصفوفة تحتوي على 11 أعمدة، النموذج سيتباًب 12 متغير بما أنها أضفنا متغير إضافي للتحيز.

## ضبط النموذج باستخدام البيانات المُعدلة

يمكننا الآن استخدام encoded\_X في نموذج الانحدار الخطى:

```
</>
clf = LinearRegression()
clf.fit(encoded_X, y)
```

```
LinearRegression(copy_X=True, fit_intercept=True, n_jobs=1, normalize=False)
```

كما ذكرنا مُسبقاً، ستكون النتيجة مكونة من 12 قيمة لكل عمود:

```
</>
clf.coef_, clf.intercept_
```

```
(array([ 1622.11,    -2.04,     2.04,   962.91,  1805.06, -1748.48,
       -2336.8 ,    215.06,  1102.25,  -330.91,  1205.56]), 29723.135729284979)
```

يمكننا مقارنة نتائج التوقع بين كلا النماذج لنرى إذا كان هناك فرق كبير بينهما:

```
</>
walmart[['Weekly_Sales']].assign(
    pred_numeric=simple_classifier.predict(X),
    pred_both=clf.predict(encoded_X)
)
```

	Weekly_Sales	pred_numeric	pred_both
0	24924.5	30768.87804	30766.79021
1	46039.49	31992.2795	31989.4104
2	41595.55	31465.22016	31460.28001

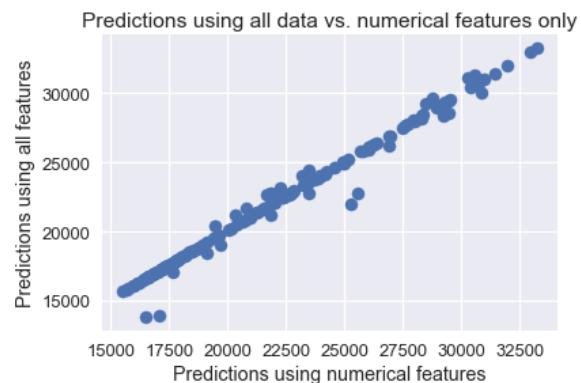
	Weekly_Sales	pred_numeric	pred_both
...	...	...	...
140	22764.01	23492.26265	24447.34898
141	24185.27	21826.41479	22788.04955
142	27390.81	21287.92854	21409.36746

143 rows × 3 columns

في الجدول السابق، العمود pred\_numeric يمثل نتائج النموذج simple\_classifier والذي استخدم فقط الأعمدة الكمية في بياناتنا. بينما استخدم كاملاً الأعمدة pred\_both.

نلاحظ أن نتائج التوقع قريبة بين النماذج. يمكن رسم مخطط التشتت لكلا الأعمدة لتوضيح ذلك:

```
</>
plt.scatter(simple_classifier.predict(X), clf.predict(encoded_X))
plt.title('Predictions using all data vs. numerical features only')
plt.xlabel('Predictions using numerical features')
plt.ylabel('Predictions using all features');
```



## تقييم النموذج

لماذا ظهرت لنا النتائج هكذا؟ يمكننا عرض المتغيرات التي اعتمدها النموذج. الجدول في الأسفل يوضح **الأوزان** المناسبة التي تعلم عليها المصنف باستخدام الأعمدة الكمية فقط:

```
</>
def clf_params(names, clf):
    weights = (
        np.append(clf.coef_, clf.intercept_)
    )
    return pd.DataFrame(weights, names + ['Intercept'])

clf_params(numerical_columns, simple_classifier)
```

0	
Temperature	332.22118-
Fuel_Price	1626.625604
Unemployment	1356.868319
Intercept	29642.70051

الجدول في الأسفل يوضح الأوزان المناسبة التي تعلم عليها المصنف بعد تطبيق One-Hot Encoding على البيانات:

```
</>
pd.options.display.max_rows = 13
display(clf_params(encoder.feature_names_, clf))
pd.options.display.max_rows = 7
```

0	
Fuel_Price	1622.106239
IsHoliday=No	2.041451-

0	
IsHoliday=Yes	2.041451
MarkDown=MarkDown1	962.908849
MarkDown=MarkDown2	1805.059613
MarkDown=MarkDown3	1748.475046-
MarkDown=MarkDown4	2336.799791-
MarkDown=MarkDown5	215.060616
MarkDown=No Markdown	1102.24576
Temperature	330.912587-
Unemployment	1205.564331
Intercept	29723.13573

في الكود البرمجي السابق، عرف الكاتب دالة `c1f_params` والتي تستقبل اسم الأعمدة و النموذج، وتنتج لنا DataFrame بقيم الأوزان لكل عمود. العمود Intercept هنا هو الانحياز.

نلاحظ أنه حتى بعد ضبط نموذج الانحدار الخطي باستخدام One-Hot Encoding للأوزان للأعمدة Unemployment و Fuel price، Temperature يزال ارتباطها قليل مع القيم الحقيقة للمبيعات. في الحقيقة، وزن العمود Intercept في النموذج قليل جداً مما يجعله لا يشكل فرقاً في التنبؤ. على الرغم أن بعض الأوزان في العمود MarkDown تبدو مرتفعة جداً، الكثير منها لم يظهر إلا قليلاً.

```
walmart['MarkDown'].value_counts()
```

No Markdown	92
MarkDown1	25
MarkDown2	13
MarkDown5	9
MarkDown4	2
MarkDown3	2
Name: MarkDown, dtype: int64	

يشير ذلك أننا نحتاج لجمع المزيد من البيانات ليكون للعمود MarkDown تأثير على قيمة المبيعات. (في الحقيقة، البيانات هنا هي جزء صغير من البيانات الحقيقة الكاملة والتي نشرتها وول مارت. سيكون تدريباً مناسباً لو قمت بتجربة ضبط النموذج وتدریبه على كامل البيانات بدلاً من جزء بسيط منها).

## ملخص بيانات وول مارت

تعلمنا كيف نستخدم One-Hot Encoding، طريقة مناسبة لتطبيق الانحدار الخطي على البيانات الاسمية. على الرغم أن هذا المثال تطبق ذلك لم يؤثر كثيراً على النموذج، عملياً تستخدم هذه الطريقة بشكل كبير للتتعامل مع البيانات الاسمية. One-Hot Encoding تعتبر أحد المبادئ العامة في هندسة الخصائص، تأخذ مصفوفة/عمود من البيانات وتحولها إلى مصفوفات/أعمدة ذات أهمية أكبر.

## التنبؤ بتقييم الآيس كريم

لنفترض أننا نريد صناعة نكهة جديدة وتكتسب شهرة من الآيس كريم. نحن مهتمون بحل مشكلة الانحدار التالية: بناءً على نسبة حلاوة نكهة الآيس كريم، نريد التنبؤ عن التقييم العام للآيس كريم من 7.

لتحميل البيانات icecream.csv [اضغط هنا](#).

```
ice = pd.read_csv('icecream.csv')
```

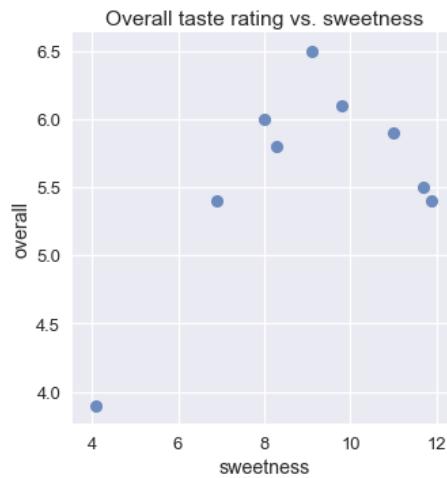
	sweetness	overall
0	4.1	3.9
1	6.9	5.4
2	8.3	5.8
...	...	...
6	11	5.9

	sweetness	overall
7	11.7	5.5
8	11.9	5.4

9 rows x 2 columns

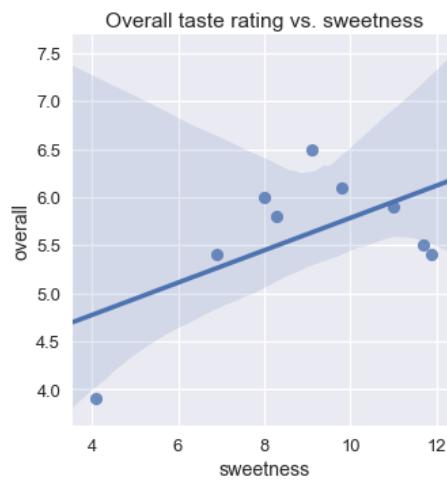
على الرغم من توقعنا أن نكهات الآيس كريم التي لا تعتبر ذات حلاوة عالية ستحصل على تقييم أقل، نتوقع أيضاً أن النكهات ذات الحلاوة العالية ستحصل أيضاً على تقييم أقل. يتبع لنا ذلك في رسمنا مخطط التشتت للتقييم مقارنة بحلاوة الآيس كريم:

```
</>
sns.lmplot(x='sweetness', y='overall', data=ice, fit_reg=False)
plt.title('Overall taste rating vs. sweetness');
```



للأسف، لا يمكن للنموذج الخطي وحدة من التعامل مع الزيادة والنقصان الواضحة في الرسم البياني؛ في النموذج الخطي، التقييم يزداد أو ينقص مع حلاوة الآيس كريم. نرى أن استخدام النموذج الخطي يظهر لنا نتائج سيئة.

```
</>
sns.lmplot(x='sweetness', y='overall', data=ice)
plt.title('Overall taste rating vs. sweetness');
```



طريقة مفيدة لحل مثل هذه المشاكل هي باستخدام المنحنيات متعددة الحدود بدلاً من الخط. مثل هذه المنحنيات تساعدننا على بناء نموذج يتعامل مع الزيادة في التقييم حتى الوصول لنقطة معينة من الحلاوة، ثم النقص بالتقدير مع الزيادة في الحلاوة.

باستخدام تقنيات معينة في هندسة الخصائص، يمكننا أن ننشأ أعمدة جديدة في البيانات لتساعدننا على استخدام النموذج الخطي للانحدار متعدد الخطوط.

## خصائص متعددة الحدود

لنتذكر أن في الانحدار الخطي نقوم بضبط **زن** واحد لكل عمود في المصفوفة  $X$ . في هذه الحالة، في المصفوفة  $X$  سيكون لدينا عامودان: عمود يحتوي على الرقم 1 وآخر يحتوي على مستوى حلاوة الآيس كريم:

&lt;/&gt;

```
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
first_X = PolynomialFeatures(degree=1).fit_transform(ice[['sweetness']])
pd.DataFrame(data=first_X, columns=['bias', 'sweetness'])
```

	bias	sweetness
0	1.0	4.1
1	1.0	6.9
2	1.0	8.3
...	...	...
6	1.0	11
7	1.0	11.7
8	1.0	11.9

9 rows × 2 columns

بذلك يمكننا تعريف النموذج كالتالي:

$$f_{\hat{\theta}}(x) = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 \cdot \text{sweetness}$$

يمكننا إنشاء عمود جديد في  $X$  يحتوي على تربيح العمود `:sweetness`

&lt;/&gt;

```
second_X = PolynomialFeatures(degree=2).fit_transform(ice[['sweetness']])
pd.DataFrame(data=second_X, columns=['bias', 'sweetness', 'sweetness^2'])
```

	bias	sweetness	sweetness <sup>2</sup>
0	1.0	4.1	16.81
1	1.0	6.9	47.61
2	1.0	8.3	68.89
...	...	...	...
6	1.0	11	121
7	1.0	11.7	136.89
8	1.0	11.9	141.61

9 rows × 3 columns

بما أن النموذج سيتعلم الحصول على وزن واحد لكل عمود في المصفوفة المعطاة له، سيكون نموذجنا كالتالي:

$$f_{\hat{\theta}}(x) = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 \cdot \text{sweetness} + \hat{\theta}_2 \cdot \text{sweetness}^2$$

يمكن لنموذجنا الآن أن يضبط متعددة الخطوط من الدرجة الثانية. يمكننا أن نضبط درجات أعلى من متعددة الخطوط بإضافة أعمدة جديدة لحلقة الآيس كريم<sup>3</sup>، `sweetness3`، `sweetness4`، ... وهكذا.لاحظ أن هذا النموذج لا يزال نموذج خطى، لأن **علماته خطية**، كل  $\hat{\theta}_i$  هي قيمة عدديّة من الدرجة الأولى. ولكن، النموذج متعدد الحدود بخصائصه لأن البيانات تحتوي على عمود متعدد الحدود تم إيجاده من عمود آخر.

## الانحدار متعدد الحدود

لتطبيق الانحدار متعدد الحدود، نستخدم نموذج خطى مع خصائص متعددة الحدود. لذا، نقوم بإستدعاء النموذج [LinearRegression](#) و [scikit-learn](#) من مكتبة [PolynomialFeatures](#)

&lt;/&gt;

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
```

تحتوي المصفوفة الأصلية  $X$  على القيم التالية. تذكر أن البيانات الأصلية لا تحتوي على الرقم التسلسلي ومسمى العواميد، المصفوفة الأصلية تحتوي على الأرقام فقط:

&lt;/&gt;

ice[['sweetness']]

sweetness	
0	4.1
1	6.9
2	8.3
...	...
6	11
7	11.7
8	11.9

9 rows × 1 columns

نستخدم أولاً الكلاس `PolynomialFeatures` لتحويل البيانات، نضيف الخصائص متعددة الحدود من الدرجة الثانية:

```
</>
transformer = PolynomialFeatures(degree=2)
X = transformer.fit_transform(ice[['sweetness']])
X
```

```
array([[ 1. ,  4.1 ,  16.81],
       [ 1. ,  6.9 ,  47.61],
       [ 1. ,  8.3 ,  68.89],
       ...,
       [ 1. , 11. , 121. ],
       [ 1. , 11.7 , 136.89],
       [ 1. , 11.9 , 141.61]])
```

الآن، نقوم بضبط النموذج الخطي على بيانات هذه المصفوفة:

```
</>
clf = LinearRegression(fit_intercept=False)
clf.fit(X, ice['overall'])
clf.coef_
```

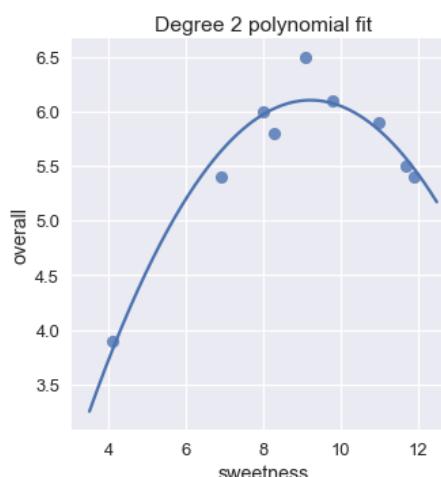
```
array([-1.3 ,  1.6 , -0.09])
```

المتغيرات السابقة تظهر أن لهذه البيانات، أفضل قيمة لضبط النموذج هي:

$$f_{\theta}(x) = -1.3 + 1.6 \cdot \text{sweetness} - 0.09 \cdot \text{sweetness}^2$$

الآن، يمكننا مقارنة توقعات هذا النموذج مع البيانات الأصلية:

```
</>
sns.lmplot(x='sweetness', y='overall', data=ice, fit_reg=False)
xs = np.linspace(3.5, 12.5, 1000).reshape(-1, 1)
ys = clf.predict(transformer.transform(xs))
plt.plot(xs, ys)
plt.title('Degree 2 polynomial fit');
```



هذا النموذج يظهر أنه أفضل بكثير من النموذج الخطي، يمكننا التأكيد أيضاً من أن تكلفة المتوسط التربيعي لمتعددة الحدود من الدرجة الثانية أقل بكثير من التكلفة للخطي:

```
</>
y = ice['overall']
pred_linear = (
    LinearRegression(fit_intercept=False).fit(first_X, y).predict(first_X)
)
pred_quad = clf.predict(X)

# دالة لحساب المتوسط
def mse_cost(pred, y):
    return np.mean((pred - y) ** 2)

print(f'MSE cost for linear reg: {mse_cost(pred_linear, y):.3f}')
print(f'MSE cost for deg 2 poly reg: {mse_cost(pred_quad, y):.3f}'')
```

```
MSE cost for linear reg: 0.323
MSE cost for deg 2 poly reg: 0.032
```

## زيادة الدرجة

كما ذكرنا سابقاً، يمكننا زيادة درجة متعددة الحدود بإضافة المزيد من الخصائص للبيانات. مثلاً، يمكننا بسهولة إنشاء خصائص من الدرجة الخامسة لمتعددة الحدود وستكون كالتالي:

```
</>
second_X = PolynomialFeatures(degree=5).fit_transform(ice[['sweetness']])
pd.DataFrame(data=second_X,
              columns=['bias', 'sweetness', 'sweetness^2', 'sweetness^3',
                        'sweetness^4', 'sweetness^5'])
```

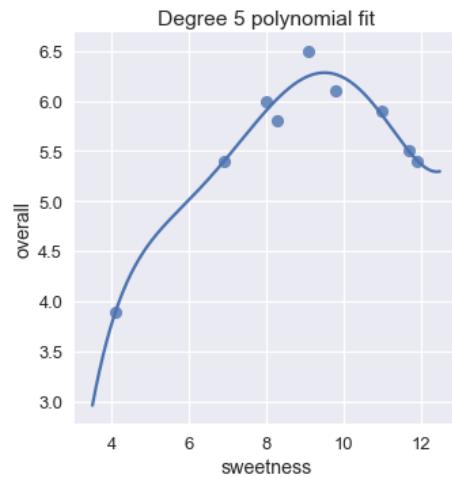
	bias	sweetness	sweetness^2	sweetness^3	sweetness^4	sweetness^5
0	1	4.1	16.81	68.921	282.5761	1158.56201
1	1	6.9	47.61	328.509	2266.7121	15640.31349
2	1	8.3	68.89	571.787	4745.8321	39390.40643
...	...	...	...	...	...	...
6	1	11	121	1331	14641	161051
7	1	11.7	136.89	1601.613	18738.8721	219244.8036
8	1	11.9	141.61	1685.159	20053.3921	238635.366

9 rows × 6 columns

ضبط النموذج الخطي باستخدام هذه الخصائص سينتج لنا الانحدار متعدد الحدود من الدرجة الخامسة:

```
</>
trans_five = PolynomialFeatures(degree=5)
X_five = trans_five.fit_transform(ice[['sweetness']])
clf_five = LinearRegression(fit_intercept=False).fit(X_five, y)

sns.lmplot(x='sweetness', y='overall', data=ice, fit_reg=False)
xs = np.linspace(3.5, 12.5, 1000).reshape(-1, 1)
ys = clf_five.predict(trans_five.transform(xs))
plt.plot(xs, ys)
plt.title('Degree 5 polynomial fit');
```



الرسم البياني يظهر أن متعددة الحدود من الدرجة الخامسة نتائجها مشابهة بشكل كبير لمتعددة الحدود من الدرجة الثانية. في الحقيقة، تكلفة المتوسط التربيعي لمتعددة الحدود ذات الدرجة الخامسة بلغت نصف تكلفة المتوسط التربيعي لمتعددة الحدود من الدرجة الثانية:

```
</>
pred_five = clf_five.predict(X_five)

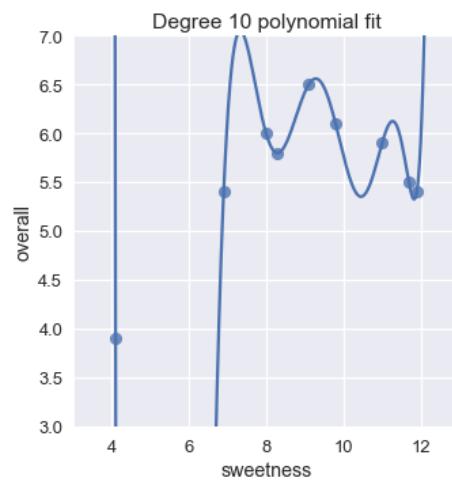
print(f'MSE cost for linear reg: {mse_cost(pred_linear, y):.3f}')
print(f'MSE cost for deg 2 poly reg: {mse_cost(pred_quad, y):.3f}')
print(f'MSE cost for deg 5 poly reg: {mse_cost(pred_five, y):.3f}'')
```

```
MSE cost for linear reg: 0.323
MSE cost for deg 2 poly reg: 0.032
MSE cost for deg 5 poly reg: 0.017
```

يعني ذلك أننا قد نحصل على نتائج أفضل لو قمنا بزيادة الدرجة. لماذا لا نجريب متعددة الحدود من الدرجة العاشرة؟

```
</>
trans_ten = PolynomialFeatures(degree=10)
X_ten = trans_ten.fit_transform(ice[['sweetness']])
clf_ten = LinearRegression(fit_intercept=False).fit(X_ten, y)

sns.lmplot(x='sweetness', y='overall', data=ice, fit_reg=False)
xs = np.linspace(3.5, 12.5, 1000).reshape(-1, 1)
ys = clf_ten.predict(trans_ten.transform(xs))
plt.plot(xs, ys)
plt.title('Degree 10 polynomial fit')
plt.ylim(3, 7);
```



نتائج تكلفة المتوسط التربيعي لجميع نماذج الانحدار التي عرضناها:

```
</>
pred_ten = clf_ten.predict(X_ten)

print(f'MSE cost for linear reg: {mse_cost(pred_linear, y):.3f}')
```

```

print('MSE cost for linear reg: ', mse_cost(pred_linear, y))
print('MSE cost for deg 2 poly reg: ', mse_cost(pred_quad, y))
print('MSE cost for deg 5 poly reg: ', mse_cost(pred_five, y))
print('MSE cost for deg 10 poly reg: ', mse_cost(pred_ten, y))

```

```

MSE cost for linear reg:      0.323
MSE cost for deg 2 poly reg:  0.032
MSE cost for deg 5 poly reg:  0.017
MSE cost for deg 10 poly reg: 0.000

```

متعددة الحدود من الدرجة العاشرة تكلفتها كانت صفر! ستفهم ذلك إذا أمعنا النظر في الرسم البياني؛ تمكنت متعددة الحدود من الدرجة العاشرة من المرور بشكل صحيح على مكان كل نقطة في البيانات.

ولكن، يجب أن تتردد من استخدام الدرجة العاشرة من متعددة الحدود لتوقع تقييم الآيس كريم. متعددة الحدود من الدرجة العاشرة تظهر أنها مضبوطة للبيانات التي لدينا بشكل متقن. إذا حصلنا على بيانات جديدة ورسمنا النتائج على مخطط التشتت، نتوقع أن تكون النتائج قريبة من البيانات الأصلية. لو جربنا ذلك على متعددة الحدود من الدرجة العاشرة، فإن النتائج تظهر أسوأ بكثير من متعددة الحدود من الدرجة الثانية:

```

</>

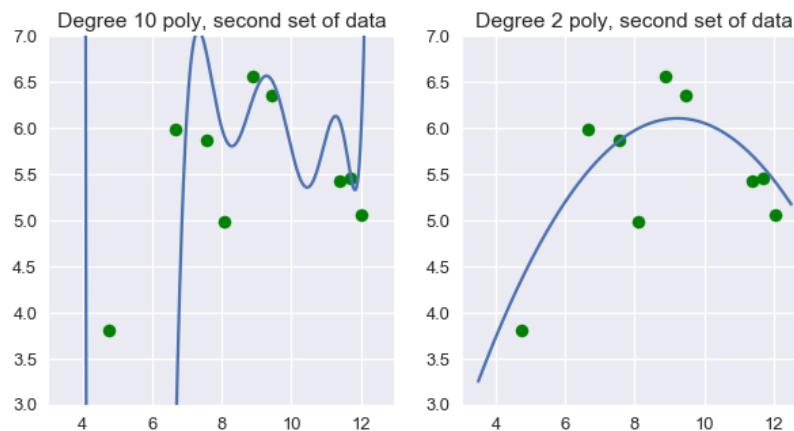
إنشاء بيانات عشوائية ذات حجم مشابه
# البيانات الأصلية في المصفوفة ice
# https://numpy.org/doc/stable/reference/random/generated/numpy.random.normal.html
np.random.seed(1)
x_devs = np.random.normal(scale=0.4, size=len(ice))
y_devs = np.random.normal(scale=0.4, size=len(ice))

plt.figure(figsize=(10, 5))

الدرجة 10 على البيانات الجديدة
plt.subplot(121)
ys = clf_ten.predict(trans_ten.transform(xs))
plt.plot(xs, ys)
plt.scatter(ice['sweetness'] + x_devs,
            ice['overall'] + y_devs,
            c='g')
plt.title('Degree 10 poly, second set of data')
plt.ylim(3, 7);

الدرجة 2 على البيانات الجديدة
plt.subplot(122)
ys = clf.predict(transformer.transform(xs))
plt.plot(xs, ys)
plt.scatter(ice['sweetness'] + x_devs,
            ice['overall'] + y_devs,
            c='g')
plt.title('Degree 2 poly, second set of data')
plt.ylim(3, 7);

```



نرى في هذه الحالة، أن متعددة الحدود من الدرجة الثانية حصلت على نتائج أفضل من النموذج دون تغير في الخصائص و متعددة الحدود من الدرجة العاشرة.

ذلك يجعلنا نتسائل: بشكل عام، متى نحدد الضبط المناسب لدرجة متعددة الحدود؟ على الرغم من ترددنا من استخدام التكلفة على بيانات التدريب لإختيار أفضل متعددة الحدود، رأينا أن استخدام التكلفة قد يجعلنا نختار نماذج معقدة جداً. بدلاً من ذلك، نريد تقييم النموذج على بيانات لم تستعمل في ضبط متغيراته.

## ملخص التنبؤ بتقييم الآيس كريم

في هذا الجزء، تعرفنا على طريقة أخرى ل الهندسة الخصائص: إضافة خصائص متعددة الحدود للبيانات من أجل تطبيق الانحدار متعدد الحدود. كما في One-Hot Encoding، إضافة خصائص متعددة الحدود يسمح لنا باستخدام نموذج الانحدار الخطي بشكل فعال على أنواع متعددة من البيانات.

رأينا أيضاً مشكلة أساسية تواجهنا عندما نقوم ب الهندسة الخصائص. إضافة الكثير من الخصائص يعطي نموذجنا تكلفة أقل على البيانات الأصلية ولكن عادة ما يعطي نتائج غير صحيحة عند تطبيق التمودج على بيانات جديدة.

## المقايضة بين الانحياز والتباين

مقدمة

في بعض الأحيان، نختار نموذج بسيط جداً ليمثل البيانات. وفي بعض المرات، نختار نموذجاً معقد، بسبب ضبطنا على الموضوعات في البيانات بدلاً من البيانات نفسها.

لفهم سبب قيامنا بذلك، نقوم بتحليل النموذج باستخدام أدوات الاحتمالات والإحصاء. هذه الأدوات تسمح لنا بالتعlim من أمثلة بسيطة محددة حتى وصف المهام الأساسية في النماذج. بشكل خاص، سنستخدم التوقع **Expectation** والتباين **Variance** لعرض وفهم المقاييس بين الانحراف والتبان.

تقليل المخاطر والخسائر

للقيام بالتوجه باستخدام البيانات، نقوم بتعريف نموذج، اختيار دالة خسارة لجميع البيانات، وضبط النموذج مع المتغيرات عن طريق تقليل الخسارة. مثلاً، للقيام بالانحدار الخطى للمربعات الصغرى، نختار النموذج:

$$f_{\hat{\theta}}(x) = \hat{\theta} \cdot x$$

دالة الخسارة:

$$L(\hat{\theta}, X, y) = \frac{1}{n} \sum_i (y_i - f_{\theta}(X_i))^2$$

كما فعلنا مسبقاً نستخدم  $\theta$  كمصفوفة لمتغيرات التموزج، و  $x$  مجه تحوي على سطر من مصفوفة البيانات  $X$ ، و  $y$  هي مصفوفة للبيانات التي تعلم عليها لتساعد على التوقع.  $X_i$  هي السطر  $i$  من المصفوفة  $X$  و  $y_i$  هي النتيجة رقم  $i$  في المصفوفة  $y$ .

لاحظ أن الخسارة لـكامل البيانات هي متوسط نتائج دالة الخسارة لكل سطر فيها، إذا قمنا بتعريف دالة الخسارة التربيعية:

$$\ell(y_i, f_{\hat{\theta}}(x)) = (y_i - f_{\hat{\theta}}(x))^2$$

إذاً، يمكننا إعادة كتابة متوسط الخسارة بشكل أبسط:

$$L(\hat{\theta}, X, y) = \frac{1}{n} \sum_i \ell(y_i, f_{\hat{\theta}}(X_i))$$

التعريف في الأعلى يختصر فكرة دالة الخسارة؛ أيًّا كانت دالة الخسارة التي نستخدمها، خسارتنا لـكامل البيانات هي متوسط الخسارة.

بالتكليل من متوسط الخسارة، نختار متغيرات التمويج التي تضيّبه بناءً على البيانات التي يتعلم منها. حتى الآن، لم نقل شيئاً عن المجتمع الإحصائي الذي أنشأ البيانات. في الحقيقة، نحن مهتمين بإجراء توقعات على جميع المجتمع الإحصائي، ليس فقط البيانات التي أنشأها.

المخاطر

إذا كانت البيانات التي رأيناها  $X$  و  $y$  تم جمعها بشكل عشوائي، فإنها تعبير بياناتنا تغيير عشوائية. وإذا كانت متغيرات عشوائية، فإن متغيرات النموذج أيضاً عشوائية، في كل مرة نجمع فيها المزيد من البيانات ونضبط النموذج عليه، متغيرات النموذج ( $x$ ) ستتغير قليلاً.

النفترض أننا بحسب أحد المدخلات والمخرجات  $\hat{y}$ ,  $\hat{z}$  من مجتمعنا الإحصائي يشكل عشوائياً. الخسارة التي يكونها النموذج لهذه القيم هي:

$$\ell(\gamma, f_{\hat{\theta}}(z))$$

لاحظ أن هذه الخسارة هي متغير عشوائي؛ تتغير الخسارة عندما تستقبل قيم جديدة من  $X$  و $\gamma$ ، ونقطات أخرى من  $\gamma$  من المجتمع الإلخصائي.

**المخاطر Risk**  $f_0$  هي النتيجة المتوقعة من الخسارة السابقة لجميع بيانات التدريب  $X$  و  $y$  وجميع النقاط  $\gamma, z$  في المجتمع الإحصائي:

$$R(f_{\hat{\theta}}(x)) = \mathbb{E}[\ell(\gamma, f_{\hat{\theta}}(z))]$$

الالاحظ ان المخاطر هي توقع لمتغير عشوائي وليس عشوائية بحد ذاتها. القيمة المتوقعة من رمي حجر النرد ذو السنت جهات بشكل عادل وعشوائي هي  $3.5$  على الرغم من أن عمليات الري نفسها عشوائية.

المثال السابق يطبق عليه أحياناً **المخاطر الحقيقة True Risk** لأنها تخربنا عن أداء النموذج على كامل المجتمع الإحصائي. إذا تمكنا من إيجاد المخاطر الحقيقة لجميع النماذج، يمكننا ببساطة اختيار النموذج الأقل مخاطر وتكون متأكدين أن النموذج سيكون أداء أفضل من بقية النماذج على المدى البعيد على دالة الخسارة  $\ell$ . اختم نهائياً.

الواقع ليس بهذه السهولة والروعة. إذا قمنا بتغيير تعريف التوقع إلى معادة المخاطر الحقيقة، سنحصل على التالي:

$$\begin{aligned} R(f_\theta) &= \mathbb{E}[\ell(\gamma, f_\theta(z))] \\ &= \sum_{\gamma} \sum_z \ell(\gamma, f_\theta(z)) P(\gamma, z) \end{aligned}$$

للتبسيط، نريد أن نعرف ما تعنيه  $(z, P)$ ، وهي توزيع الاحتمالية العام لأي من النقاط في المجتمع الإحصائي. للأسف، إيجاد ذلك ليس سهلاً. لنفترض أننا نريد أن نتوقع قيمة الإكرامية بناءً على عدد العملاء في الطاولة. ما هي احتمالية أن طاولة بثلاثة أشخاص يقومون باعطاء إكرامية بقيمة 14.50\$ إذا كانوا ينتحل النقاط بشكل دقيقة، فلا يحتاج لجمع بيانات وضبط النموذج، سيكون لدينا معرفة بالقيمة المختتملة للإكرامية لأي عدد من العملاء في الطاولة.

على الرغم أننا لا نعرف بشكل دقيق توزيع المجتمع الإحصائي، يمكننا توقعه بناءً على ما أطلعنا عليه في البيانات  $X$  و  $y$ . إذا قمنا بسحب قيم  $L$  و  $u$  بشكل عشوائي من المجتمع الإحصائي، توزيع النقاط في  $X$  و  $y$  سيكون مشابه لتوزيع المجتمع الإحصائي. لذا، نعامل  $X$  و  $y$  كمجتمعنا الإحصائي. لذا، احتمالية الظهور لأي من المدخلات والمخرجات  $X_i$  و  $y_i$  هي  $\frac{1}{n}$  بما أن كل كلاهما يظهر مرة واحدة من بين كل النقاط  $n$ .

ذلك يسمح لنا بحساب **الخطر التجاري Empirical Risk**: قيمة تقريره للخطر الحقيقي:

$$\begin{aligned} \hat{R}(f_\theta) &= \mathbb{E}[\ell(y_i, f_\theta(X_i))] \\ &= \sum_{i=1}^n \ell(y_i, f_\theta(X_i)) \frac{1}{n} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ell(y_i, f_\theta(X_i)) \end{aligned}$$

إذا كانت البيانات لدينا ذات حجم كبير وتم سحبها بشكل عشوائي من المجتمع الإحصائي، فإن الخطر التجاري  $(f_\theta) \hat{R}$  سيكون قريباً جداً من الخطر الحقيقي  $(f_\theta) R$ . يسمح لنا ذلك باختيار النموذج الذي يقلل من الخطر التجاري.

لاحظ أن هذا المصطلح هو متوسط دالة الخسارة في بداية هذا الجزء! بالتقليل من متوسط الخسارة، فأنا أيضاً نقلل من الخطر التجاري. يوضح ذلك لماذا نستخدم في العادة متوسط الخسارة كنتيجة دالة الخسارة بدلاً مثلاً من أعلى قيمة للخسارة.

## ملخص المخاطر

الخطر الحقيقي لنموذج يوضح لنا خسارة النموذج على المدى البعيد التي سيحصل عليها من المجتمع الإحصائي. بما أنها عادةً لا نستطيع حساب الخطر الحقيقي بشكل مباشر، فأنا نقوم بحساب الخطر التجاري ونستخدمه لإيجاد النموذج المناسب لتقعنا. لأن الخطر التجاري هو متوسط الخسارة على البيانات التي رأيناها، فأنا عادةً نقلل من متوسط الخسارة عند ضبط النماذج.

## انحياز وتبابين النموذج

رأينا سابقاً أن لدينا مصادر لاتخاذ قرار الأفضلية بين النماذج.

النموذج قد يكون بسيط جداً. مثلاً، نموذج خطى بسيط لن يتمكن من ضبط البيانات إذا كانت من الدرجة الثانية. يظهر هذا الخطأ بسبب الانحياز   في النموذج.

النموذج قد يقوم بضبط البيانات العشوائية الموجودة في البيانات، حتى لو قمنا بضبط بيانات من الدرجة الثانية على نموذج مماثل، سيتوقع النموذج نتائج مختلفة عن الصحيحة. هذا الخطأ يظهر في النموذج بسبب التباين  .

## تحليل الانحياز والتباين

يمكننا تحليل التعرفيات السابقة وفهمها بشكل أوضح باستخدام معادلة مخاطر النموذج. لنتذكر أن **المخاطر Risk** للنموذج  $f_\theta$  هي الخسارة المتوقعة لجميع بيانات التدريب  $X$  و  $y$  وجميع النقاط المدخلة والمخرجة  $\gamma, z$  في المجتمع الإحصائي:

$$R(f_\theta) = \mathbb{E}[\ell(\gamma, f_\theta(z))]$$

نرمز لعملية إنشاء بيانات المجتمع الإحصائي الحقيقة بـ  $f_\theta(x)$ . القيمة الناتجة  $\gamma$  تنتج بواسطة بيانات المجتمع الإحصائي إضافة لقيمة عشوائية مشوشهة من البيانات:  $\epsilon$  ( $\gamma_i = f_\theta(z_i) + \epsilon_i$ ). التشویش العشوائي   هي قيمة عشوائية لدينا متوسط يساوي صفر:  $\mathbb{E}[\epsilon] = 0$ .

إذا استخدمنا الخطأ التربيعي كدالة الخسارة، تصف المعادلة السابقة كالتالي:

$$R(f_\theta) = \mathbb{E}[(\gamma - f_\theta(z))^2]$$

مع قليل من عمليات المعالجة الجبرية، يمكن أن نعرف المعادلة السابقة كالتالي:

$$R(f_\theta) = (\mathbb{E}[f_\theta(z)] - f_\theta(z))^2 + \text{Var}(f_\theta(z)) + \text{Var}(\epsilon)$$

المصطلح الأول في المعادلة،  $\text{Var}(f_{\hat{\theta}}(z)) = \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)] - f_{\theta}(z)$ ، هي التعبير الرياضي للانحياز في النموذج. (يمكننا القول تقنياً إن المصطلح هو تربيع الانحياز bias<sup>2</sup>.) الانحياز سيساوي صفر على المدى البعيد إذا كان اختيارنا للنموذج  $f_{\hat{\theta}}$  يتوقع نفس النتائج التي تم نتاجها من خطوات معالجة المجتمع الإحصائي  $f_{\theta}$ . يكون الانحياز عالي إذا كان النموذج الذي اختناه يتوقع نتائج خاطئة في خطوات معالجة المجتمع الإحصائي حتى لو كانت كامل المجتمع الإحصائي كبيانات تدريب.

المصطلح الثاني في المعادلة،  $\text{Var}(\epsilon)$ ، هو تباين النموذج. يكون التباين أقل عندما تكون توقعات النموذج لا تتغير كثيراً عند تدريسه على بيانات مختلفة من المجتمع الإحصائي. يكون التباين عالي عندما يكون التغيير كبير عند تدريسه على بيانات مختلفة من المجتمع الإحصائي.

المصطلح الأخير في المعادلة،  $\text{Var}(\epsilon)$ ، يعني الخطأ الغير قابل للإختزال أو التشويش الناتج عند بناء البيانات أو جمعها. يكون أقل عندما يكون بناء البيانات وجمعها دقيق. والعكس يكون أعلى عندما يكون التشويش عالي في البيانات.

## مشتققة تحليل الانحياز والتباين

أولاً، نبدأ بمتوسط الخطأ التربيعي:

$$\mathbb{E}[(\gamma - f_{\hat{\theta}}(z))^2]$$

ثم نوسع التربيع ونطبق خطية التوقع :Linearity of Expectation

$$= \mathbb{E}[\gamma^2 - 2\gamma f_{\hat{\theta}} + f_{\hat{\theta}}(z)^2]$$

$$= \mathbb{E}[\gamma^2] - \mathbb{E}[2\gamma f_{\hat{\theta}}(z)] + \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)^2]$$

لأن  $\gamma$  و  $f_{\hat{\theta}}(z)$  مستقلان (نتائج النموذج وما اطلع عليه من المجتمع الإحصائي لا يعتمدان على بعضهما)، يمكننا القول إن  $\mathbb{E}[2\gamma f_{\hat{\theta}}(z)] = \mathbb{E}[2\gamma]\mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)]$  بدلاً من  $\gamma$ :

$$= \mathbb{E}[(f_{\theta}(z) + \epsilon)^2] - \mathbb{E}[2(f_{\theta}(z) + \epsilon)]\mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)] + \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)^2]$$

للتبسيط أكثر: (لاحظ أن  $f_{\theta}(z)$  دالة حتمية، إذا أعطيت نقطة معينة  $z$ ).

$$= \mathbb{E}[f_{\theta}(z)^2 + 2f_{\theta}(z)\epsilon + \epsilon^2] - (2f_{\theta}(z) + \mathbb{E}[2\epsilon])\mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)] + \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)^2]$$

تطبيق خطية التوقع مرة أخرى:

$$= f_{\theta}(z)^2 + 2f_{\theta}(z)\mathbb{E}[\epsilon] + \mathbb{E}[\epsilon^2] - (2f_{\theta}(z) + 2\mathbb{E}[\epsilon])\mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)] + \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)^2]$$

لاحظ أن  $\text{Var}(\epsilon) = \mathbb{E}[\epsilon^2] - \mathbb{E}[\epsilon]^2$  لأن  $\mathbb{E}[\epsilon] = 0 \Rightarrow (\mathbb{E}[\epsilon^2] = \text{Var}(\epsilon))$

$$= f_{\theta}(z)^2 + \text{Var}(\epsilon) - 2f_{\theta}(z)\mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)] + \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)^2]$$

يمكننا الآن إعادة كتابة المعادلة كالتالي:

$$= f_{\theta}(z)^2 + \text{Var}(\epsilon) - 2f_{\theta}(z)\mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)] + \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)^2] - \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)]^2 + \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)]^2$$

$$\text{لأن } (\mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)]^2 - \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)]^2) = \text{Var}(f_{\hat{\theta}}(z))$$

$$= f_{\theta}(z)^2 - 2f_{\theta}(z)\mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)] + \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)]^2 + \text{Var}(f_{\hat{\theta}}(z)) + \text{Var}(\epsilon)$$

$$= (f_{\theta}(z) - \mathbb{E}[f_{\hat{\theta}}(z)])^2 + \text{Var}(f_{\hat{\theta}}(z)) + \text{Var}(\epsilon)$$

$$= \text{bias}^2 + \text{model variance} + \text{noise}$$

لاختيار نموذج يؤدي بشكل ممتاز، نسعى دائماً أن نحصل على مخاطر أقل. ولتخليها، نحاول تقليل الانحياز، التباين والتشويش. تقليل التشويش يتطلب عادةً تحسين في طريقة جمع البيانات. للتخليل من الانحياز والتباين، يجب علينا ضبط النماذج وتقديرها. النماذج البسيطة يكون فيها الانحياز مرتفع؛ النماذج المقدمة جداً لديها تباين عالي. هنا هو مفهوم المقايسة بين الانحياز والتباين  $\text{bias-variance tradeoff}$ ، مشكلة أساسية نواجهها دائمًا عند اختيار نماذج التنبؤ.

## مثال: الإنحدار الخطى ومجاذج الجيب Sine Waves

لنفترض أننا نحاول إنشاء نموذج للدالة المتأرجحة التالية:

```
</>
from collections import namedtuple
from sklearn.linear_model import LinearRegression
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd

np.random.seed(42)

Line = namedtuple('Line', ['x_start', 'x_end', 'y_start', 'y_end'])

def f(x): return np.sin(x) + 0.3 * x
```

```

def noise(n):
    return np.random.normal(scale=0.1, size=n)

def draw(n):
    points = np.random.choice(np.arange(0, 20, 0.2), size=n)
    return points, f(points) + noise(n)

def fit_line(x, y, x_start=0, x_end=20):
    clf = LinearRegression().fit(x.reshape(-1, 1), y)
    return Line(x_start, x_end, clf.predict([[x_start]])[0], clf.predict([[x_end]])[0])

population_x = np.arange(0, 20, 0.2)
population_y = f(population_x)

avg_line = fit_line(population_x, population_y)

datasets = [draw(100) for _ in range(20)]
random_lines = [fit_line(x, y) for x, y in datasets]

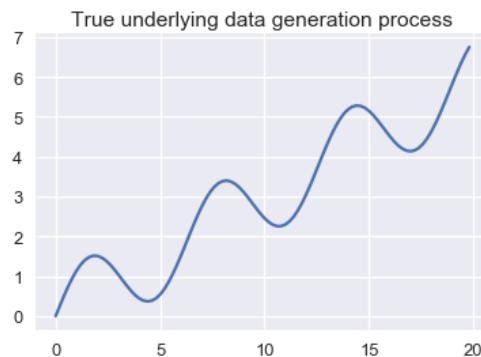
```

قام الكاتب في الكود البرمجي السابق بإنشاء بيانات عشوائية لغرض العمل عليها في هذا الجزء من المدربين، الناتج من هذا الكود يظهر في الرسم البياني التالي:

```

plt.plot(population_x, population_y)
plt.title('True underlying data generation process');

```

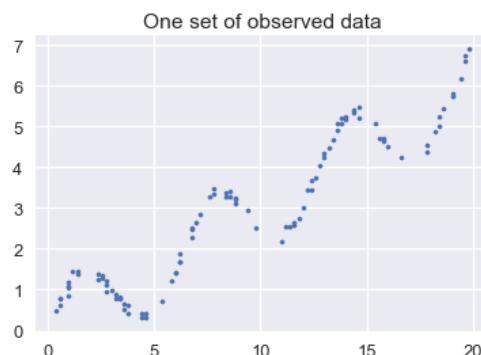


إذا حاولناأخذ مجموعه بيانات من المجتمع الإحصائي في هذه الرسم، قد نصل إلى الشكل التالي:

```

xs, ys = draw(100)
plt.scatter(xs, ys, s=10)
plt.title('One set of observed data');

```



لنفترض أننا قمنا بسحب مجموعات مختلفة من البيانات من هذا المجتمع الإحصائي وقمنا بضبط نموذج خطى بسيط لكل مجموعة. في الأسفل، قمنا برسم شكل خطى لبيانات المجتمع الإحصائى الناتجة باللون الأزرق و توقعات النموذج باللون الأخضر:

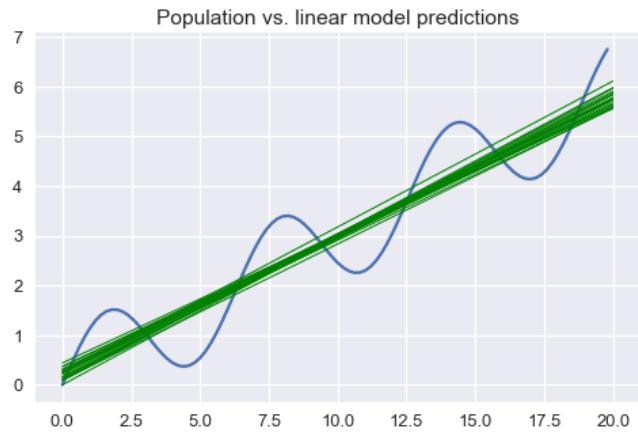
```

plt.figure(figsize=(8, 5))
plt.plot(population_x, population_y)

for x_start, x_end, y_start, y_end in random_lines:
    plt.plot([x_start, x_end], [y_start, y_end], linewidth=1, c='g')

plt.title('Population vs. linear model predictions');

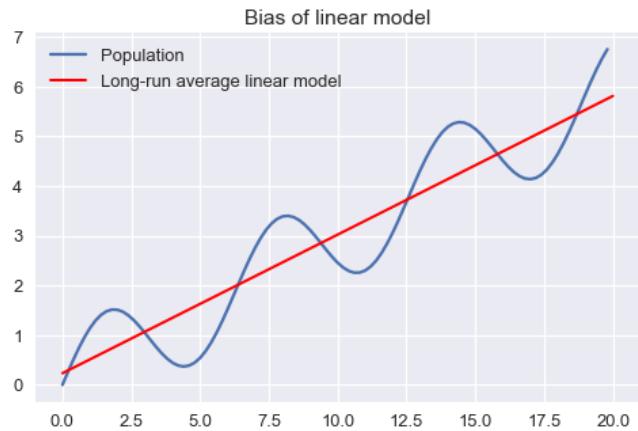
```



الرسم البياني السابق يوضح أن توقع النموذج الخطى سينتتج أخطاء. يمكننا حل هذه الأخطاء باستخدام الانحياز، التباين والتشويب الغير قابل للإختزال. نوضح الانحياز في نموذجنا عن طريق إظهار أن متوسط النموذج الخطى على المدى البعيد سيتوقع نتائج مختلفة عن تلك في المجتمع الإحصائي:

```
</>
plt.figure(figsize=(8, 5))
xs = np.arange(0, 20, 0.2)
plt.plot(population_x, population_y, label='Population')

plt.plot([avg_line.x_start, avg_line.x_end],
          [avg_line.y_start, avg_line.y_end],
          linewidth=2, c='r',
          label='Long-run average linear model')
plt.title('Bias of linear model')
plt.legend();
```

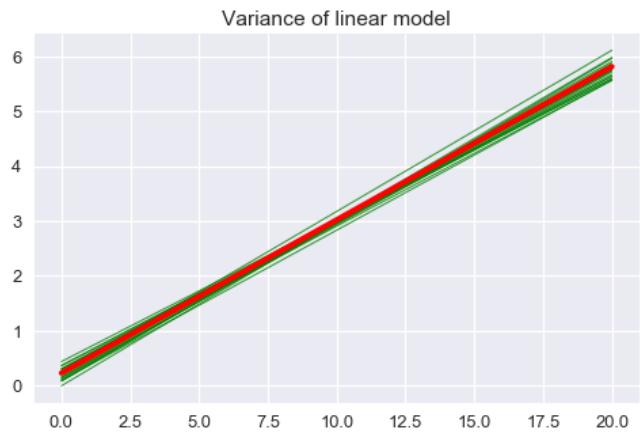


التباين للنموذج هو مدى اختلاف توقعات النموذج حول متوسط النموذج على المدى البعيد:

```
</>
plt.figure(figsize=(8, 5))
for x_start, x_end, y_start, y_end in random_lines:
    plt.plot([x_start, x_end], [y_start, y_end], linewidth=1, c='g', alpha=0.8)

plt.plot([avg_line.x_start, avg_line.x_end],
          [avg_line.y_start, avg_line.y_end],
          linewidth=4, c='r')

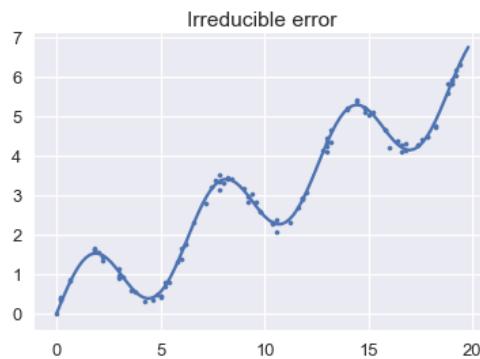
plt.title('Variance of linear model');
```



أخيراً، نستعرض الخطأ الغير قابل للإختزال عن طريق إظهار انحراف النقاط في بيانات المجتمع الإحصائي:

```
</>
plt.plot(population_x, population_y)

xs, ys = draw(100)
plt.scatter(xs, ys, s=10)
plt.title('Irreducible error');
```



## التطبيق العملي للانحياز والتباين

في عالم مثالي، نقوم بالتقليل من الخطأ المتوقع من النموذج لجميع النقاط الداخلة والخارجية في المجتمع الإحصائي. ولكن، عملياً، نحن لا نعرف خطوات بناء البيانات ولذلك لن نستطيع بشكل دقيق تحديد انحياز، تباين والخطأ الغير قابل للإختزال للنموذج. بدلاً من ذلك، نستخدم البيانات التي مرت علينا وقيمة قريبة لما في المجتمع الإحصائي.

كما رأينا في الأعلى، الوصول إلى قيمة أقل للخطأ في بيانات التدريب لا يعني أن النموذج سيحصل على قيمة أقل أيضاً في بيانات الاختبار. من السهل الحصول على نموذج بقيمة انحياز قليله جداً وبالتالي قيمة خطأ أقل في بيانات التدريب عن طريق ضبط النموذج باستخدام منحي يمر على جميع بيانات التدريب. ولكن هذا النموذج سيكون تباينه على جداً والذي يؤدي إلى خطأ عالي في بيانات الاختبار. على العكس، النموذج الذي يتوقع قيمه ثابتة لدية تباين أقل و انحياز عالي. أساساً، يحدث ذلك بسبب أن خطأ التدريب يعكس انحياز النموذج ولكن ليس تباينه؛ ولكن خطأ الاختبار يعكس كلها. للتقليل من خطأ الاختبار، يحتاج نموذجنا أن يحقق انحياز وتباين قليلان معًا. للقيام بذلك، تحتاج طريقة لمحاكاة خطأ الاختبار دون استخدام بيانات الاختبار. يتم ذلك عادةً باستخدام التتحقق المتقاطع Cross-Validation.

## النقاط الأساسية

المقاومة بين الانحياز والتباين تسمح لنا بشكل دقيق وصف ظواهر النماذج التي رأيناها سابقاً.

يحدث فرط التعميم Underfitting عادةً بسبب الانحياز؛ فرط التخصيص يحدث بسبب التباين.

جمع المزيد من البيانات يقلل من التباين. مثلاً، تباين نموذج الانحدار الخطى يقل بمعدل عامل  $n/1$ ، هنا  $n$  هي عدد النقاط في البيانات. لذا، مضاعفة حجم البيانات يقلل التباين إلى النصف، وسحب المزيد من البيانات سيقلل التباين إلى صفر. إحدى الخطوات الشائعة هي اختبار نموذج بانحياز قليل وتباين عالي (مثلاً شبكة عصبية) ومن ثم سحب المزيد من البيانات للتقليل من تباين النموذج إلى أن يصل لقيمه قليله تمكنه من القيام بتوقعات صحيحة. على الرغم فاعليتها عملياً، إلى أن جمع المزيد من البيانات لهذه النماذج عادةً ما يأخذ وقت وجهد ومصاريف أكثر.

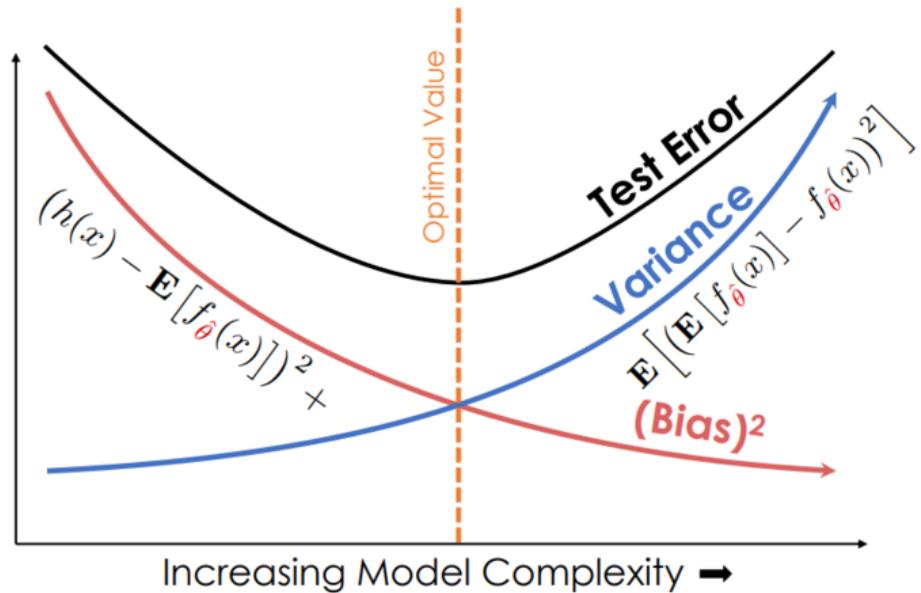
جمع المزيد من البيانات يقلل الانحياز إذا تم ضبط النموذج على بيانات المجتمع الإحصائي كاملة. إذا لم نتمكن من ضبط النموذج على كامل المجتمع الإحصائي (كما في المثال السابق)، حتى لو كان لدينا عدد لا يهدى من البيانات لنتمكن من التخلص من الانحياز.

إضافة خصائص Features مفيدة للبيانات، مثلاً التربع عندما تكون البيانات الأساسية من الدرجة الثانية، تقلل من الانحياز. إضافة خصائص غير مفيدة نادراً من تزيد من الانحياز.

إضافة خصائص سواء كانت مفيدة أم لا، عادةً ما تزيد من التباين كون كل خاصية ضيفها تزيد من المتغيرات في النموذج. بشكل عام، النماذج ذات المتغيرات الكثيرة لديها أشكال مختلفة من المتغيرات ولذلك لديها تباين أعلى من نماذج بمتغيرات أقل. للزيادة من دقة توقعات النموذج، إضافة خاصية جديدة يجب أن تقلل من الانحياز أكثر مما تزيد من التباين.

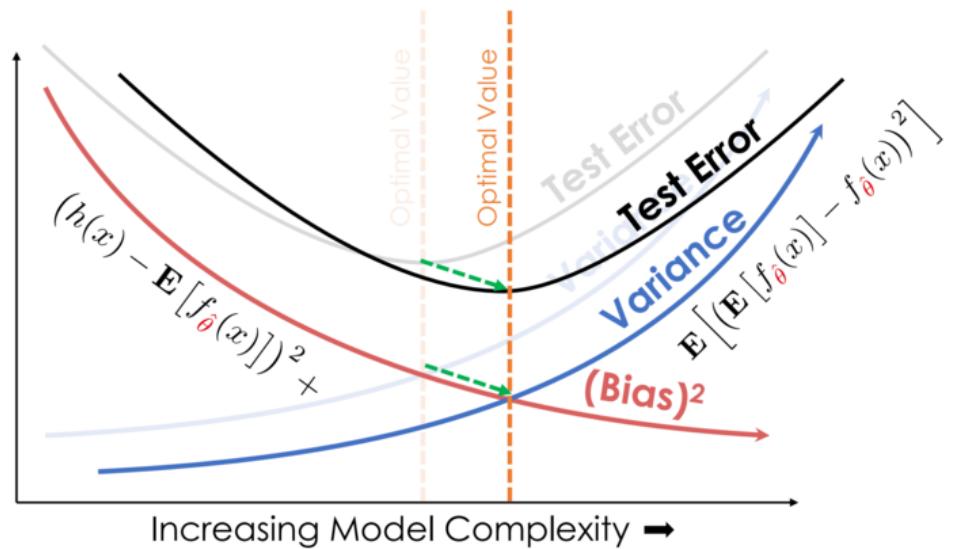
خلف الخصائص عادةً ما يزيد من الانحياز وقد يتسبب بفرط التعميم. مثلاً، نموذج خطى بسيط لديه انحياز أعلى من نفس النموذج إذا أضيفت له خاصية تربعية. إذا تم إنشاء البيانات باستخدام التربيع، فإن النموذج الخطى البسيط سيناسب مع البيانات.

في الرسم البياني التالي، المحور السيني يقيس تعقيد النموذج والمحور الصادى يقيس حجمه. لاحظ أنه كلما زاد تعقيد النموذج، يقل الانحياز بشكل واضح وبينما يزيد التباين بنفس الشكل. عندما نختار نموذجاً معقداً، خطأ الاختبار في البداية يقل ثم يزيد حتى يصل تباين النموذج ويتجاوز الانحياز أثناء هبوطه:



كما هو واضح في الرسم، النموذج ذو التعقيد العالي قد يصل إلى خطأ قليل في بيانات التدريب ولكن قد يفشل في تعميم هذه النتائج على بيانات الاختبار بسبب تباينه العالي. بشكل آخر، النموذج بتعقيد أقل سيكون ذو تباين أقل ولكن قد يفشل أيضاً في التعميم بسبب انحيازه العالي. لاختيار النموذج المفيد، يجب أن نصل إلى التوازن بين انحياز وتبابن النموذج.

كلما أضفنا المزيد إلى البيانات، نقوم بتحريك المنحنى في رسمنا البياني إلى اليمين والأسفل، نقلل من الانحياز والتبابن:



### ملخص انحياز وتبابن النموذج

مقاييسة الانحياز والتبابن تكشف لنا عن مشكلة أساسية في النمذجة. من أجل التقليل من مخاطر النموذج، فعلينا أن نستخدم مزيجاً من هندسة الخصائص، اختبار النماذج والتحقق المتقاطع للوصول إلى توازن بين الانحياز والتبابن.

في الجزء السابق، رأينا أننا نحتاج لطريقة أدق لمحاكاة خطأ الاختبار للتحكم بالمقاييس بين الانحياز والبيانات. للتأكد، خطأ التدريب قليل جداً، لأننا نضبط النموذج على بيانات التدريب. نريد اختبار نموذج دون الحاجة لاستخدام بيانات الاختبار، لذا نقسم بيانات التدريب مرة أخرى إلى بيانات تحقق. يسمح لنا التتحقق المتقاطع **Cross-validation** بتوقع خطأ النموذج باستخدام بيانات يطلع عليها مرة واحدة عن طريق فصل بين بيانات المستخدمة في التدريب والبيانات المستخدمة لاختبار النموذج ودقتها.



## تقسيم بيانات التدريب والتحقق والاختبار

إحدى الطرق لتطبيق ذلك على البيانات هي تقسيمها إلى ثلاث أقسام:

- بيانات التدريب: البيانات التي يستخدم لضبط النموذج.
- بيانات التتحقق: البيانات التي يستخدم لاختبار الخصائص.
- بيانات الاختبار: البيانات التي ستقرر النهاية لدقة النموذج.

بعد التقسيم، نختار الخصائص والنماذج بناءً على:

- لكل خاصية محتملة في البيانات، نقوم بضبطها على النموذج باستخدام بيانات التدريب. الخطأ في هذا النموذج هو خطأ التدريب *Error*.
- تتحقق من كل نتيجة خطأ لكل نموذج في بيانات التتحقق: يطلق على ذلك خطأ التتحقق *Validation Error*. قم باختيار النموذج صاحب أقل خطأ تتحقق. سيكون ذلك هو الخيار النهائي للنموذج وخصائصه.
- قم بحساب خطأ الاختبار *Test Error*، الخطأ في النموذج النهائي على بيانات الاختبار. هذه هي الدقة النهائية للنموذج. محظوظ لنا من التعديل الخصائص أو النموذج للتقليل من خطأ الاختبار؛ فعل ذلك سيسخونا من انتهاك قانون الاختبار إلى بيانات تتحقق. بدلاً من ذلك، يجب علينا جمع بيانات جديدة للاختبار بعد القيام بالتعديلات على الخصائص أو النموذج.

تسمح لنا هذه الخطوات بشكل دقيق من تحديد النموذج الذي نريد استخدامه بدلاً من استخدام خطأ التدريب وحده. باستخدام التتحقق المتقاطع، يمكننا اختبار النموذج على بيانات لم يتم ضبطه عليها، محاكاة خطأ الاختبار دون استخدام بيانات الاختبار. يسمح لنا ذلك بمعرفة قدرة النموذج على التعامل مع بيانات لم يرها من قبل.

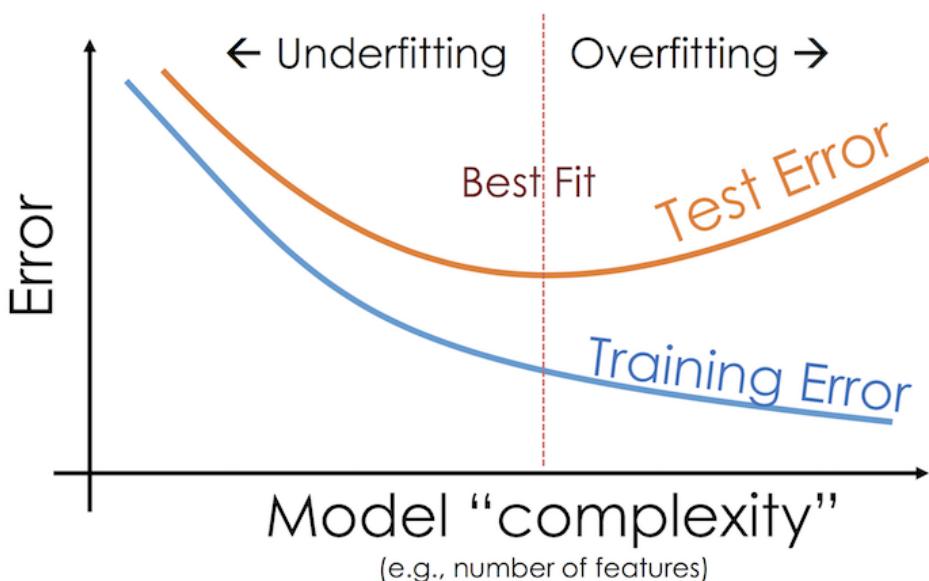
## حجم تقسيم بيانات التدريب والتحقق والاختبار

تقسيم بيانات التدريب والتحقق والاختبار عادة ما يكون فيه 70% بيانات تدريب، 15% بيانات تتحقق والـ 15% الباقية بيانات اختبار. الزيادة في عدد بيانات التدريب يساعد على رفع دقة النموذج ولكنه يسبب مزيداً من الاختلاف في بيانات التتحقق والاختبار. ذلك بسبب أن بيانات التتحقق والاختبار ذات الحجم الصغير غير كافية لتمثيل البيانات.

## خطأ التدريب و خطأ الاختبار

النموذج يكون غير مفيد لنا إذا فشل في التعامل مع بيانات من المجتمع الإحصائي لم يرها من قبل. خطأ الاختبار يقدم لنا أدق تمثيل لأداء النموذج على بيانات جديدة كوننا لا نستخدم بيانات الاختبار في تدريب النموذج أو اختبار الخصائص.

يشكل عام، يقل خطأ التدريب كلما أضفنا عقيداً أكثر للنموذج بالإضافة المزيد من الخصائص أو خطوات معقدة في التوقع. خطأ الاختبار، يقل حتى نقطة معينة ثم يزيد إلى أن يتم ضبطه على بيانات التدريب. ذلك بسبب أنه في البداية، الانحياز يقل أكثر من زيادة التباين. في النهاية، تتجاوز الزيادة في التباين النزول في الانحياز.

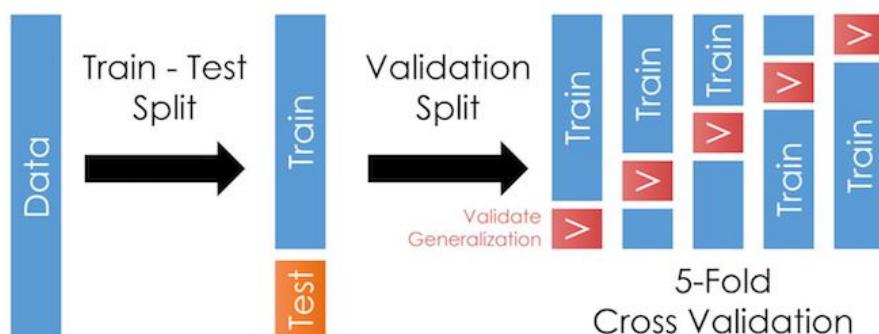


## K-Fold التتحقق المتقاطع

طريقة تقسيم بيانات التدريب والتحقق والاختبار جيدة لمحاكاة نتيجة خطأ الاختبار باستخدام بيانات التتحقق. ولكن، عند التقسيم سيكون حجم البيانات أقل في التدريب. أيضاً، بهذه الطريقة قد يكون خطأ التتحقق يميل إلى الزيادة في التباين بسبب أن تقييم الخطأ قد يعتمد بشكل كبير على مكان تواجد القيم في بيانات التدريب أو التتحقق.

لمواجهة هذه المشكلة، يمكننا تطبيق تقييم التدريب والتحقق أكثر من مرة على نفس البيانات. يتم تقسيم البيانات إلى تقسيمات بعدد  $k$  متساوية في الحجم ( $k$ -تقسيمات)، ويتم إعادة تقسيم التدريب والتحقق بعدد  $k$  مرات. في كل مرة، إحدى التقسيمات في  $k$  ستستخدم كبيانات تحقق، والقيم المتبقية  $k-1$  ستستخدم كبيانات تدريب. تقوم بتحديد النتيجة النهائية لخطأ التتحقق للنموذج بإيجاد متوسط خطأ التتحقق في كل تقسيم. يطلق على هذه الطريقة **K-Fold التتحقق المتقاطع**.

الرسم التالي يشرح الطريقة عند استخدامها التقسيم 5 مرات:



ما يميز هذه الطريقة أن كل نكعة في البيانات تستخدم مرة واحدة فقط في بيانات التتحقق وفي بيانات التدريب  $k-1$  مرات. عادةً، تكون  $k$  بين 5 و 10، ولكن تبقى قيمة  $k$  غير ثابتة. عندما تكون  $k$  رقمًا صغيرًا، الخطأ يكون تباينه قليلاً (الكثير من بيانات التتحقق) ولكن لديه انحياز عالي (القليل من بيانات التدريب). على العكس، عندما تكون قيمة  $k$  عالية قيمة الخطأ تكون أقل تحيزاً ولكن تباينها أعلى.

التحقق المتقاطع  $k$ -fold يأخذ وقتاً أطول من تقسيم بيانات التدريب والتحقق في عملية الحساب لأننا نحتاج لإعادة ضبط كل نموذج مع كل عملية تقسيم. ولكن، عملية الحساب تعطي نتائج أكثر دقة لخطأ التتحقق عن طريق حساب متوسط أكثر من قيمة خطأ لكل نموذج.

مكتبة scikit-learn توفر طريقة جاهزة `sklearn.model_selection.KFold` لتطبيق التتحقق المتقاطع .

### مقاييس الانحياز والتباين

يساعدنا التتحقق المتقاطع في التحكم بمقاييس الانحياز والتباين بشكل أكثر دقة. حسبياً، خطأ التتحقق يقيم خطأ الاختبار عن طريق التتحقق من أداء النموذج على بيانات لم تستخدم في التدريب؛ يسمح لنا ذلك بتوقع انحياز وبيان النموذج. التتحقق المتقاطع K-fold يظهر أيضاً حقيقة أن التشويش في بيانات الاختبار فقط تأثر على التشويش في مصطلح الانحياز والتباين بينما التشويش في بيانات التدريب يؤثر على الانحياز وبيان النموذج. لاختبار النموذج النهائي للبدء باستخدامه، نختار النموذج ذو قيمة خطأ تتحقق أقل.

### مثال: اختبار النموذج لبيانات تقييم الآيس كريم

سنعرف على عملية اختبار النموذج الكاملة، بالإضافة للتحقق المتقاطع، لاختبار نموذج يتوقع تقييم الآيس كريم بناءً على حالة نكهة الآيس كريم. جميع بيانات الآيس كريم إضافة لمخطط التشتت والتقييم العام بالإضافة إلى حالة نكهة الآيس كريم هي كالتالي:

لتحميل البيانات [icecream.csv](#) اضغط هنا.

```

</>
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures

ice = pd.read_csv('icecream.csv')
transformer = PolynomialFeatures(degree=2)
X = transformer.fit_transform(ice[['sweetness']])

clf = LinearRegression(fit_intercept=False).fit(X, ice[['overall']])
xs = np.linspace(3.5, 12.5, 300).reshape(-1, 1)
rating_pred = clf.predict(transformer.transform(xs))

temp = pd.DataFrame(xs, columns = ['sweetness'])
temp['overall'] = rating_pred

np.random.seed(42)
x_devs = np.random.normal(scale=0.2, size=len(temp))
y_devs = np.random.normal(scale=0.2, size=len(temp))
temp['sweetness'] = np.round(temp['sweetness'] + x_devs, decimals=2)
temp['overall'] = np.round(temp['overall'] + y_devs, decimals=2)

ice = pd.concat([temp, ice])
ice

```

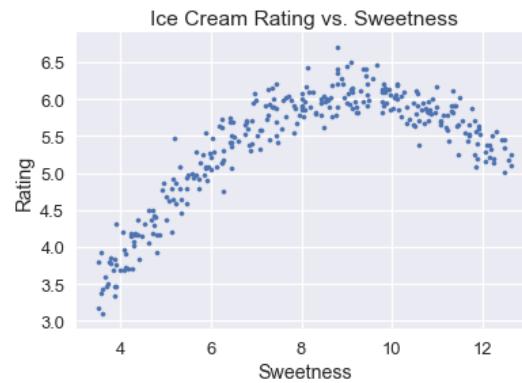
	sweetness	overall
0	3.6	3.09

	sweetness	overall
1	3.5	3.17
2	3.69	3.46
...	...	...
6	11	5.9
7	11.7	5.5
8	11.9	5.4

309 rows × 2 columns

في الكود البرمجي السابق قام الكاتب بـتوليد بيانات عشوائية مقاربة لبيانات الأصلية في ملف ice.csv

```
</>
plt.scatter(ice['sweetness'], ice['overall'], s=10)
plt.title('Ice Cream Rating vs. Sweetness')
plt.xlabel('Sweetness')
plt.ylabel('Rating');
```



باستخدام خصائص متعددة الحدود من الدرجة العاشرة على 9 مدخلات في ملف البيانات تكون لنا نموذج مثالي لتلك النقاط. للأسف، سيفشل هذا النموذج في التعميم لبيانات لم يراها من قبل في المجتمع الإحصائي:

```
</>
ice2 = pd.read_csv('icecream.csv')
trans_ten = PolynomialFeatures(degree=10)
X_ten = trans_ten.fit_transform(ice2[['sweetness']])
y = ice2['overall']

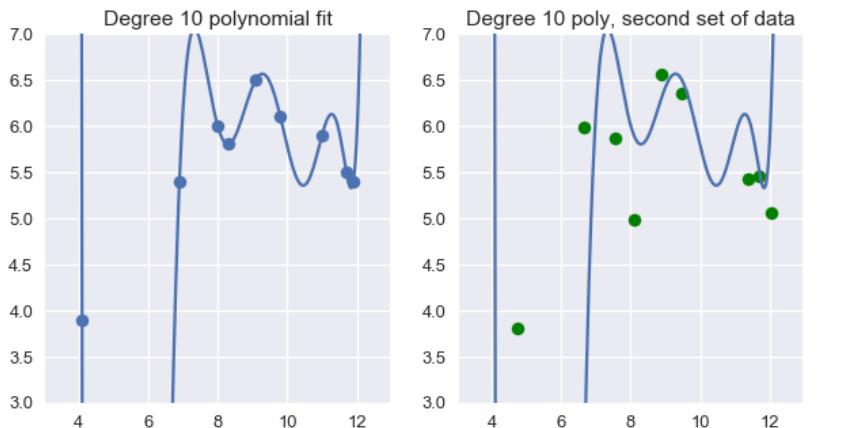
clf_ten = LinearRegression(fit_intercept=False).fit(X_ten, y)
```

```
</>
np.random.seed(1)
x_devs = np.random.normal(scale=0.4, size=len(ice2))
y_devs = np.random.normal(scale=0.4, size=len(ice2))

plt.figure(figsize=(10, 5))

plt.subplot(121)
plt.scatter(ice2['sweetness'], ice2['overall'])
xs = np.linspace(3.5, 12.5, 1000).reshape(-1, 1)
ys = clf_ten.predict(trans_ten.transform(xs))
plt.plot(xs, ys)
plt.title('Degree 10 polynomial fit')
plt.ylim(3, 7);

plt.subplot(122)
ys = clf_ten.predict(trans_ten.transform(xs))
plt.plot(xs, ys)
plt.scatter(ice2['sweetness'] + x_devs,
           ice2['overall'] + y_devs,
           c='g')
plt.title('Degree 10 poly, second set of data')
plt.ylim(3, 7);
```



بدلاً من الطريقة السابقة، أولاً نقسم البيانات إلى تدريب، تحقق واختبار باستخدام الدالة `sklearn.model_selection.train_test_split` من مكتبة scikit-learn ل القيام بفصل يساوي 70/30% تدريب-اختبار.

```
</>
from sklearn.model_selection import train_test_split
test_size = 92

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    ice[['sweetness']], ice['overall'], test_size=test_size, random_state=0)

print(f' Training set size: {len(X_train)}')
print(f'     Test set size: {len(X_test)}')
```

```
Training set size: 217
Test set size: 92
```

نقوم الآن بضبط نماذج الانحدار متعددة الحدود باستخدام بيانات التدريب، واحد لكل درجة في متعددة الحدود من 1 إلى 10.

```
</>
# أولاً، نظيف خصائص متعددة الحدود إلى X_train
transformers = [PolynomialFeatures(degree=deg)
               for deg in range(1, 11)]
X_train_polys = [transformer.fit_transform(X_train)
                 for transformer in transformers]

# عرض X_train
# مع متوجه خصائص من الدرجة الخامسة
X_train_polys[4]
```

```
array([[ 1. ,  8.8 ,  77.44,  681.47,  5996.95,  52773.19],
       [ 1. , 10.74, 115.35, 1238.83, 13305.07, 142896.44],
       [ 1. ,  9.98,  99.6 , 994.01, 9920.24, 99003.99],
       ...,
       [ 1. ,  6.79,  46.1 , 313.05, 2125.59, 14432.74],
       [ 1. ,  5.13,  26.32, 135.01, 692.58, 3552.93],
       [ 1. ,  8.66,   75. , 649.46, 5624.34, 48706.78]])
```

ثم نقوم بتطبيق التحقق المتقاطع ب 5 تقسيمات على البيانات العشرة. للقيام بذلك، سنقوم بتعريف دالة تقوم بالتالي:

- استخدام `KFold.split` للحصول على 5 تقسيمات في بيانات التدريب. لاحظ أن `split` تعود لنا بمؤشرات `indices` للبيانات في ذلك الفصل.
- لكل عملية فصل، استخرج لنا الأسطر والأعمدة بناءً على مؤشرات الفصل `indices` والخصائص.
- اضبط التمودج الخطى على بيانات التدريب المقسمة.
- احسب متوسط الخطأ التربيعي في بيانات التحقق المقسمة.
- أوجد لنا متوسط الخطأ لكل تقسيمات التتحقق المتقاطع.

```
</>
from sklearn.model_selection import KFold

def mse_cost(y_pred, y_actual):
    return np.mean((y_pred - y_actual) ** 2)

def compute_cv_error(model, X_train, Y_train):
    kf = KFold(n_splits=5)
    validation_errors = []
```

```

for train_idx, valid_idx in kf.split(X_train):
    # تقسيم البيانات
    split_X_train, split_X_valid = X_train[train_idx], X_train[valid_idx]
    split_Y_train, split_Y_valid = Y_train.iloc[train_idx], Y_train.iloc[valid_idx]

    # ضبط النموذج على قسمة التدريب
    model.fit(split_X_train, split_Y_train)

    # حساب متوسط الخطأ التربيعي على بيانات التحقق
    error = mse_cost(split_Y_valid, model.predict(split_X_valid))

    validation_errors.append(error)

# متوسط خطأ بيانات التتحقق جميعها
return np.mean(validation_errors)

```

```

</>

قمنا بتدريب نموذج إنحدار خطى لكل البيانات وطبقنا التتحقق المقاطع
# fit_intercept=False
# في نموذج الإنحدار الخطى لأن محول PolynomialFeatures يقوم بإضافة عمود الانحراف بدلاً عنا
# cross_validation_errors = [compute_cv_error(LinearRegression(fit_intercept=False), X_train_poly, y_train)
for X_train_poly in X_train_polys]

```

```

cv_df = pd.DataFrame({'Validation Error': cross_validation_errors}, index=range(1, 11))
cv_df.index.name = 'Degree'
pd.options.display.max_rows = 20
display(cv_df)
pd.options.display.max_rows = 7

```

Validation Error	
Degree	
1	0.32482
2	0.04506
3	0.045418
4	0.045282
5	0.046272
6	0.046715
7	0.04714
8	0.04754
9	0.048055
10	0.047805

يمكن أن نلاحظ أنه عندما نرفع قيمة درجة متعددة الحدود، تقل قيمة خطأ التتحقق وتزيد مرة أخرى:

```

</>

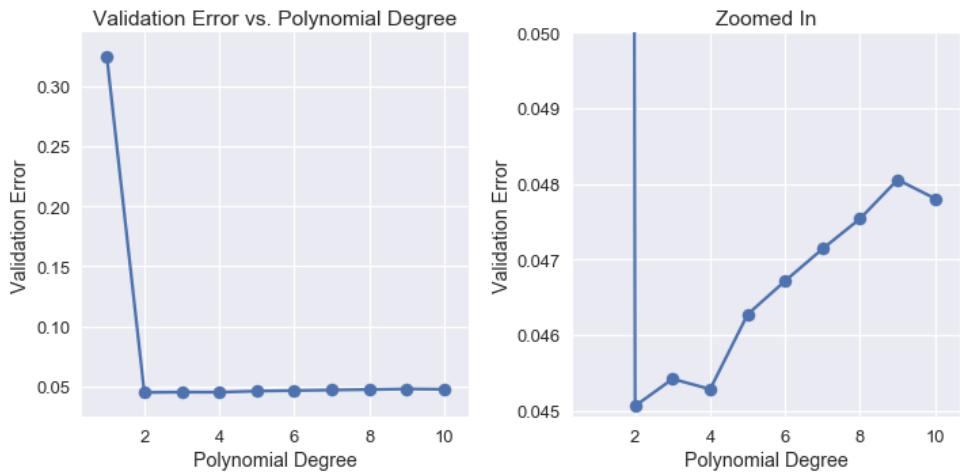
plt.figure(figsize=(10, 5))

plt.subplot(121)
plt.plot(cv_df.index, cv_df['Validation Error'])
plt.scatter(cv_df.index, cv_df['Validation Error'])
plt.title('Validation Error vs. Polynomial Degree')
plt.xlabel('Polynomial Degree')
plt.ylabel('Validation Error');

plt.subplot(122)
plt.plot(cv_df.index, cv_df['Validation Error'])
plt.scatter(cv_df.index, cv_df['Validation Error'])
plt.ylim(0.044925, 0.05)
plt.title('Zoomed In')
plt.xlabel('Polynomial Degree')
plt.ylabel('Validation Error')

plt.tight_layout();

```



عند مراجعة نتائج خطأ التحقق يظهر لنا أن النموذج المثالى أستخدم خصائص متعددة الحدود من الدرجة الثانية. لذا، نختار نموذج متعددة الحدود من الدرجة الثانية كنموذجنا النهائي وضبطه على جميع بيانات التدريب. ثم نقوم بحساب خطأ النموذج على بيانات الاختبار:

```
best_trans = transformers[1]
best_model = LinearRegression(fit_intercept=False).fit(X_train_polys[1], y_train)

training_error = mse_cost(best_model.predict(X_train_polys[1]), y_train)
validation_error = cross_validation_errors[1]
test_error = mse_cost(best_model.predict(best_trans.transform(X_test)), y_test)

print('Degree 2 polynomial')
print('Training error: {training_error:0.5f}')
print('Validation error: {validation_error:0.5f}')
print('Test error: {test_error:0.5f}')
```

```
Degree 2 polynomial
Training error: 0.04409
Validation error: 0.04506
Test error: 0.04698
```

للتطبيق مستقبلاً، توفر مكتبة scikit-learn طريقة `cross_val_predict` للقيام أوتوماتيكياً بالتحقق المقاطع، لذا لا نحتاج أن نقوم بأنفسنا بفصل بيانات التدريب والتحقق.

أيضاً، لاحظ أن خطأ الاختبار أعلى من خطأ التتحقق والذي أيضاً أعلى من خطأ التدريب. خطأ التدريب يجب أن يكون الأقل لأن النموذج تم ضبطه على بيانات التدريب. ضبط النموذج يقلل من متوسط الخطأ التدريبي للبيانات. خطأ التتحقق والاختبار عادةً ما تكون أعلى من خطأ التدريب لأن حساب الخطأ فيها تم على بيانات غير معروفة ولم يسبق أن رأها في النموذج.

## ملخص التحقق المقاطع

استخدمنا الوسيلة المفيدة دائمًا التتحقق المقاطع للتحكم بمقاييس الانحياز والتباين. بعد حساب فصل بيانات التدريب، التتحقق والاختبار على البيانات الأصلية، نستخدم الخطوات التالية لتدريب واختبار النموذج:

- لكل مجموعة من الخصائص، نقوم بضبط بيانات التدريب عليها. خطأ النموذج على بيانات التدريب هو خطأ التدريب .*Training Error*
- تحقق من الخطأ لكل نموذج في بيانات التتحقق باستخدام التتحقق المقاطع k-fold cross validation . الخطأ هنا هو خطأ التتحقق
- اختار النموذج الذي حقق أقل قيمة في خطأ التتحقق. هنا تكون قد اختبرنا خياراتنا النهائية لخصوصيات النموذج.
- نحسب خطأ الاختبار *Test Error*، خطأ النموذج النهائي على بيانات الاختبار. هذه آخر خطوه لمعرفة دقة النموذج. يجب ألا نقوم بأى تعديل في النموذج لزيادة خطأ الاختبار؛ القيام بذلك يجعل بيانات الاختبار إلى بيانات تتحقق. عند القيام بذلك، نحتاج لجمع بيانات اختبار جديدة بعد القيام بأى تعديلات في النموذج.

## الضبط

## مقدمة

يمكن لهندسة الخصائص أن تقدم لنا معلومات مهمة عن خطوات توليد البيانات في النموذج. ولكن، إضافة الخصائص إلى البيانات عادةً ما يزيد من التباين في نموذجنا ويمكن لذلك أن يسيء من أداءه بشكل عام. بدلاً من إنشاء الخصائص بشكل عشوائي، يمكننا استخدام طريقة تسمى بالضبط **Regularization** للنطقيل من التباين في نموذجنا مع الاستمرار بتقديم أكبر قدر من المعلومات عن البيانات.

## فكرة الضبط

لنبدأ النقاش عن الضبط باستخدام المثال التالي لتوضيح أهميته.

### بيانات سد المياه

البيانات التالية توضح كمية المياه باللتر التي تتدفق من سد المياه في اليوم وقيمة التغير في مستوى المياه في نفس اليوم بالمتر.

لتحميل البيانات water\_large.csv [اضغط هنا](#).

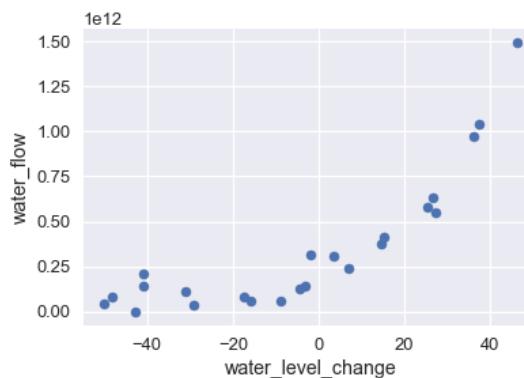
```
df = pd.read_csv('water_large.csv')  
df
```

	water_level_change	water_flow
0	15.936758-	6.04E+10
1	29.152979-	3.32E+10
2	36.189549	9.73E+11
...	...	...
20	7.08548	2.36E+11
21	46.282369	1.49E+12
22	14.612289	3.78E+11

23 rows × 2 columns

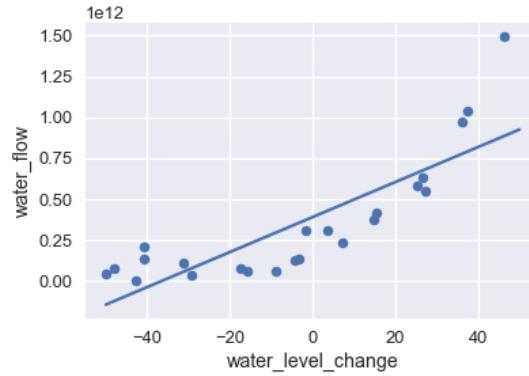
عند رسم البيانات نلاحظ الاتجاه التصاعدي لتدفق المياه كلما كانت مستويات المياه إيجابية:

```
df.plot.scatter(0, 1, s=50);
```



لنمذجة هذا النمط، يمكننا استخدام نموذج الانحدار الخطي للربعات الصغرى Least Square Linear Regression. يظهر في الرسم البياني التالي البيانات وتوقعات النموذج:

```
df.plot.scatter(0, 1, s=50);  
plot_curve(curves[0])
```



في الكود البرمجي السابق يستخدم الكاتب الدالة `plot_curve` والمصفوفة `curves` للمساعدة في الرسم، وعرفها كالتالي مع دالة مساعدة أخرى `:make_curve`

```
</>

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn.pipeline import Pipeline
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from collections import namedtuple

Curve = namedtuple('Curve', ['xs', 'ys'])

def make_curve(clf, x_start=-50, x_end=50):
    xs = np.linspace(x_start, x_end, num=100)
    ys = clf.predict(xs.reshape(-1, 1))
    return Curve(xs, ys)

def plot_curve(curve, ax=plt, **kwargs):
    ax.plot(curve.xs, curve.ys, **kwargs)

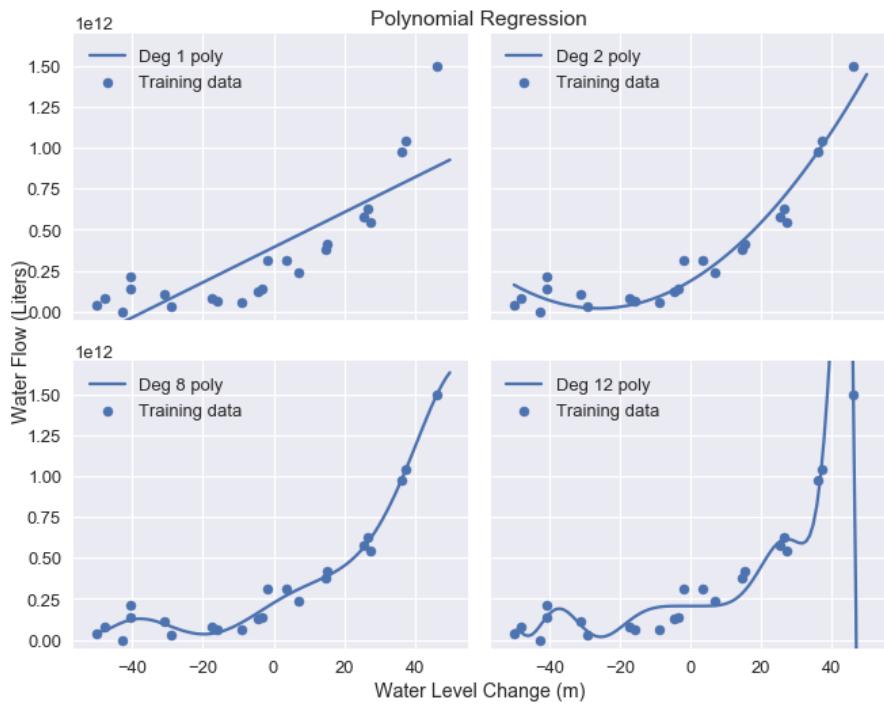
X = df.iloc[:, [0]].values
y = df.iloc[:, 1].values

degrees = [1, 2, 8, 12]
clfs = [Pipeline([('poly', PolynomialFeatures(degree=deg, include_bias=False)),
                  ('reg', LinearRegression())])
        .fit(X, y)
        for deg in degrees]

curves = [make_curve(clf) for clf in clfs]
```

يظهر في الرسم البياني السابق أن هذا النموذج لا يغطي كامل النقاط في نمط هذه البيانات؛ والنموذج لديه انحياز عالي. كما فعلنا في السابق، يمكننا حل هذه المشكلة بإضافة خصائص متعددة الحدود للبيانات. نقوم بإضافة خصائص من الدرجة 2، 8 و 12؛ الرسوم البيانية التالية تظهر نتائج تدريب البيانات لكل نموذج:

```
</>
plot_curves(curves)
```



يستخدم الكاتب دالة `plot_curves` لنفس المصفوفة المستخدمة في المثال السابق `curves` للمساعدة في رسم النماذج، وعرفها كالتالي مع مزيد من الدوال المساعدة:

```

</>

def flatten(seq): return [item for subseq in seq for item in subseq]

def plot_data(df=df, ax=plt, **kwargs):
    ax.scatter(df.iloc[:, 0], df.iloc[:, 1], s=50, **kwargs)

def plot_curves(curves, cols=2):
    rows = int(np.ceil(len(curves) / cols))
    fig, axes = plt.subplots(rows, cols, figsize=(10, 8),
                           sharex=True, sharey=True)
    for ax, curve, deg in zip(flatten(axes), curves, degrees):
        plot_data(ax=ax, label='Training data')
        plot_curve(curve, ax=ax, label=f'Deg {deg} poly')
        ax.set_yscale(-5e10, 170e10)
        ax.legend()

    # إضافة الرسوم الكبيرة وإخفاء الإطارات
    fig.add_subplot(111, frameon=False)
    # إخفاء الحدود والعلامات والعنوان في الرسم
    plt.tick_params(labelcolor='none', top='off', bottom='off',
                    left='off', right='off')
    plt.grid(False)
    plt.title('Polynomial Regression')
    plt.xlabel('Water Level Change (m)')
    plt.ylabel('Water Flow (Liters)')
    plt.tight_layout()

```

كما هو متوقع، متعددة الحدود من الدرجة 12 طابقت بيانات التدريب بشكل مناسب ولكن يبدو أن النموذج مضبوط بمنط زائف على البيانات بسبب الشوшиش. يظهر ذلك نموذج آخر للمقاييس بين الانحياز والتباين؛ النموذج الخطي لديه انحياز عالي وتباين قليل بينما متعددة الحدود من الدرجة 12 لديها انحياز قليل وتباين عالي.

## التحقق من المعاملات

عند التحقق من معاملات نموذج متعددة الحدود من الدرجة 12 يظهر لنا أن النموذج يقوم بالتوقع بناءً على المعادلة التالية:

$$207097470825 + 1.8x + 482.6x^2 + 601.5x^3 + 872.8x^4 + 150486.6x^5 \\ + 2156.7x^6 - 307.2x^7 - 4.6x^8 + 0.2x^9 + 0.003x^{10} - 0.00005x^{11} + 0x^{12}$$

فيها  $x$  هي قيمة تغير مستوى المياه في ذلك اليوم.

معاملات النموذج كبيرة جدًا، خاصة لمتعددات الحدود ذات الدرجات العالية والتي تساهم بشكل عالي في تباين النموذج (مثلاً  $x^5$  و  $x^6$ ).

لنتذكر أن النموذج الخطى يقوم بالتوقعات بناءً على التالي،  $\theta$  هي وزن النموذج و  $x$  هي متوجهة الخصائص:

$$f_{\hat{\theta}}(x) = \hat{\theta} \cdot x$$

لضبط النموذج، نقوم بقليل دالة التكلفة لمتوسط الخطأ التربيعي، فيها  $X$  تمثل مصفوفة البيانات و  $y$  هي النتائج التي اطلعنا عليها:

$$L(\hat{\theta}, X, y) = \frac{1}{n} \sum_i (y_i - f_{\hat{\theta}}(X_i))^2$$

لتقليل التكلفة في المعادلة السابقة، نقوم بضبط  $\hat{\theta}$  حتى نصل لأفضل قيم للأوزان Weights أياً كان حجمها. لكن، وجدنا أن كلما كان الوزن عالي وبخصائص أكثر تعقيداً ينتج لنا تباين عالي للنموذج. على العكس، إذا كان بإمكاننا التعديل في دالة التكلفة لمعاقبة الأوزان العالية، سيكون النموذج الناتج ذو تباين قليل. نستخدم الضبط للقيام بذلك.

## الضبط L2: انحدار Ridge

في هذا الجزء سنعرف على طريقة الضبط  $L_2$ ، طريقة لمعاقبة الأوزان الكبيرة في دوال التكلفة للتقليل من تباين النموذج. راجعنا بشكل مبسط الانحدار الخطى، ثم تعرفنا على الضبط كاداة للتعديل في دالة التكلفة.

لتطبيق الانحدار الخطى للمربعات الصغرى، نستخدم النموذج:

$$f_{\hat{\theta}}(x) = \hat{\theta} \cdot x$$

نقوم بضبط النموذج عن طريق التقليل دالة تكلفة متوسط الخطأ التربيعي:

$$L(\hat{\theta}, X, y) = \frac{1}{n} \sum_i (y_i - f_{\hat{\theta}}(X_i))^2$$

في المعادلة السابقة،  $X$  تمثل مصفوفة البيانات  $p \times n$ ، و  $x$  تمثل سطر من أسطر  $X$ ، و  $y$  تمثل النتائج التي أطلع عليها، و  $\hat{\theta}$  هي وزن النموذج.

### التعريف

إضافة الضبط  $L_2$  إلى النموذج، نقوم بتعديل دالة التكلفة السابقة:

$$L(\hat{\theta}, X, y) = \frac{1}{n} \sum_i (y_i - f_{\hat{\theta}}(X_i))^2 + \lambda \sum_{j=1}^p \hat{\theta}_j^2$$

نلاحظ أن دالة التكلفة مشابهة للسابقة مع إضافة الضبط  $L_2$  في المعادلة  $\lambda \sum_{j=1}^p \hat{\theta}_j^2$ . المجموع ( $\sum$ ) في هذه المعادلة يقوم بجمع تربيع كل وزن في النموذج  $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_p$ . يظهر لنا في المعادلة أيضاً رمز جديد لمتغير رقمي في النموذج  $\lambda$  والذي يتم تعديله لتحديد قيمة عقوبة الضبط .Regularization Penalty

معادلة الضبط الذى أضافناها تسبب زيادة في التكلفة إذا كانت القيم في  $\hat{\theta}$  بعيدة عن صفر. مع إضافة الضبط، الوزن للنموذج المثالي يقلل من الخسارة و معاقبة الضبط بدلاً من الخسارة فقط. بما أن تباين النموذج عادة ما تكون قليلة، فسيكون النموذج ذو تباين قليل وانحياز عالي.

استخدام الضبط  $L_2$  مع نموذج خطى ودالة التكلفة لمتوسط الخطأ التربيعي يطلق عليه انحدار Ridge.

### متغيرات الضبط

يتحكم متغير الضبط  $\lambda$  بعقوبة الضبط. عندما تكون  $\lambda$  قليلة ينتج قيمة عقاب قليل، إذا كانت  $0 = \lambda$  تكون قيمة معاقبة الضبط أيضاً 0 وبالتالي لم يتم ضبط دالة التكلفة.

عندما تكون  $\lambda$  عالية ينتج لنا قيمة عقاب عالية وبالتالي يكون النموذج بسيط. الزيادة في  $\lambda$  تقلل من التباين وتزيد من الانحياز في النموذج. نستخدم التحقق المقاطع لاختيار قيمة  $\lambda$  التي تقلل من خطأ التتحقق.

ملاحظة عن الضبط في مكتبة scikit-learn

توفر مكتبة scikit-learn نموذج الانحدار ومضاف إليها بشكل تلقائي الضبط. مثلاً، لتطبيق انحدار Ridge يمكننا استخدام النموذج الخطى sklearn.linear\_model.Ridge

توفر مكتبة scikit-learn ملحوظة تقويم بتطبيق التحقق المقاطع لاختبار قيمة مناسبة لـ  $\lambda$ . مثلاً، يمكننا استخدام دخل قيم متغيرات الضبط وبشكل أوتوماتيكي تقوم بتطبيق التتحقق المقاطع لاختبار sklearn.linear\_model.RidgeCV أفضل قيمة للمتغير والذي يحصل على أقل خطأ في بيانات التتحقق.

### استبعاد مصطلح الانحياز

لاحظ أن رمز الانحياز  $\theta_0$  لم يتم ضممه لعملية الجمع في معادلة الضبط. لا نقوم بمعاقبة الانحياز لأن الزيادة في انحياز النموذج لا تؤدي للزيادة في التباين؛ ببساطة يقوم الانحياز بتغيير جميع التوقعات إلى قيم ثابتة.

لاحظ أن معادلة الضبط  $\lambda \sum_{j=1}^p \hat{\theta}_j^2$  تعاقب كل  $\hat{\theta}$  بشكل متكافئ، ولكن، تأثير كل قيمة من  $\hat{\theta}$  يختلف بناءً على البيانات نفسها. لذا نأخذ مثلاً هذه الجزء من بيانات تدفق المياه بعد إضافة متغيرات متعددة الحدود من الدرجة الثامنة:

```
</>
pd.DataFrame(clfs[2].named_steps['poly'].transform(X[:5]),
             columns=[f'deg_{n}_feat' for n in range(8)])
```

	<b>deg_0_feat</b>	<b>deg_1_feat</b>	...	<b>deg_6_feat</b>	<b>deg_7_feat</b>
0	15.94-	253.98	...	261095791.08-	4161020472.12
1	29.15-	849.9	...	17897014961.65-	521751305227.70
2	36.19	1309.68	...	81298431147.09	2942153527269.12
3	37.49	1405.66	...	104132296999.30	3904147586408.71
4	48.06-	2309.65	...	592123531634.12-	28456763821657.70

5 rows × 8 columns

نلاحظ أن متعددة الحدود من الدرجة السابعة حصلت على قيم أعلى بكثير عن متعددة الحدود من الدرجة الأولى. يعني ذلك أن الوزن العالي في نموذج متعددة الحدود من الدرجة السابعة أثر على التوقعات أكثر من الوزن عالي لنموذج متعددة الحدود من الدرجة الأولى. إذا قمنا بتطبيق الضبط على هذه البيانات مباشرةً، ستقوم معاقبة الضبط بتقليل الوزن لنموذج بشكل غير مناسب للخصائص في الدرجات الصغرى. بشكل عملي، ينتج عن ذلك تباين عالي لنموذج حتى بعد تطبيق الضبط لأن الخصائص ذات التأثير الأكبر على التوقعات لن تتأثر.

لحل ذلك، نقوم بـ**التسوية** **Normalization** جميع الأعمدة عن طريق طرح المتوسط منها وتغيير القيم فيها إلى شكل مدرج Scale بين -1 و 1. في مكتبة scikit-learn أغلب نماذج الانحدار تسمح بتطبيق التسوية باستخدام المتغير normalize=True للقيام بتسوية البيانات قبل الضبط.

طريقة أخرى مشابهة للتسوية هي **التوحيد Standardization** لأعمدة البيانات عن طريق طرح المتوسط وتقسيمه على الانحراف المعياري لكل عمود.

### استخدام انحدار Ridge

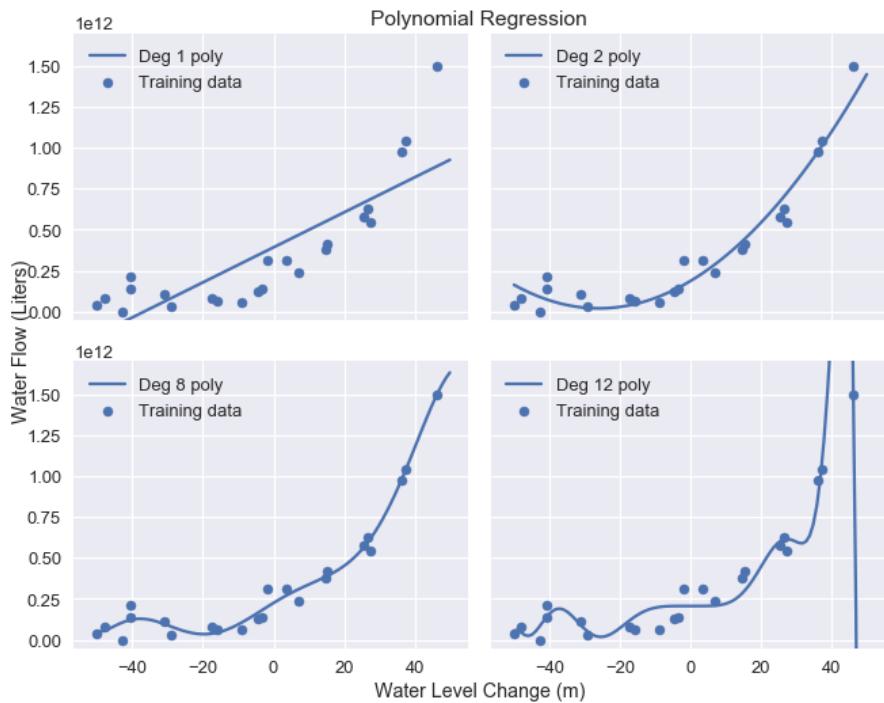
استخدمنا سابقاً خصائص متعددة الحدود لضبط متعددات الحدود من الدرجة 2، 8 و 12 لبيانات تدفق المياه. البيانات الأساسية ونتائج توقعات النموذج كالتالي:

df

	<b>water_level_change</b>	<b>water_flow</b>
0	15.94-	60422330445.52
1	29.15-	33214896575.60
2	36.19	972706380901.06
...	...	...
20	7.09	236352046523.78
21	46.28	1494256381086.73
22	14.61	378146284247.97

23 rows × 2 columns

plot\_curves(curves)



لتطبيق انحدار Ridge، نقوم أولاً باستخراج مصفوفة البيانات و متجهة النتائج من البيانات:

```
X = df.iloc[:, 0].values
y = df.iloc[:, 1].values
print('X: ')
print(X)
print()
print('y: ')
print(y)
```

```
X:
[[ -15.94]
 [ -29.15]
 [ 36.19]
 ...
 [ 7.09]
 [ 46.28]
 [ 14.61]]

y:
[6.04e+10 3.32e+10 9.73e+11 ... 2.36e+11 1.49e+12 3.78e+11]
```

ثم نقوم بتحويل القيم في X إلى متعددة الحدود من الدرجة 12 :

```
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
# نريد include_bias=False
# لأن مصففات sklearn
# تقوم بشكل تلقائي بإضافة قيم الانحراف
X_poly_8 = PolynomialFeatures(degree=8, include_bias=False).fit_transform(X)
print('First two rows of transformed X:')
print(X_poly_8[0:2])
```

```
First two rows of transformed X:
[[-1.59e+01  2.54e+02 -4.05e+03  6.45e+04 -1.03e+06  1.64e+07 -2.61e+08
 4.16e+09]
 [-2.92e+01  8.50e+02 -2.48e+04  7.22e+05 -2.11e+07  6.14e+08 -1.79e+10
 5.22e+11]]
```

نقوم بتحديد قيمة alpha التي ستختارها مكتبة scikit-learn باستخدام التحقق المتقاطع، ثم نستخدم نموذج RidgeCV لضبط البيانات بعد التحويل:

```
from sklearn.linear_model import RidgeCV
```

```

from sklearn.linear_model import RidgeCV
alphas = [0.01, 0.1, 1.0, 10.0]
# نذكر أن تحدد normalize=True
# يتم تسوية البيانات
clf = RidgeCV(alphas=alphas, normalize=True).fit(X_poly_8, y)
# إظهار قيمة Alpha
clf.alpha_

```

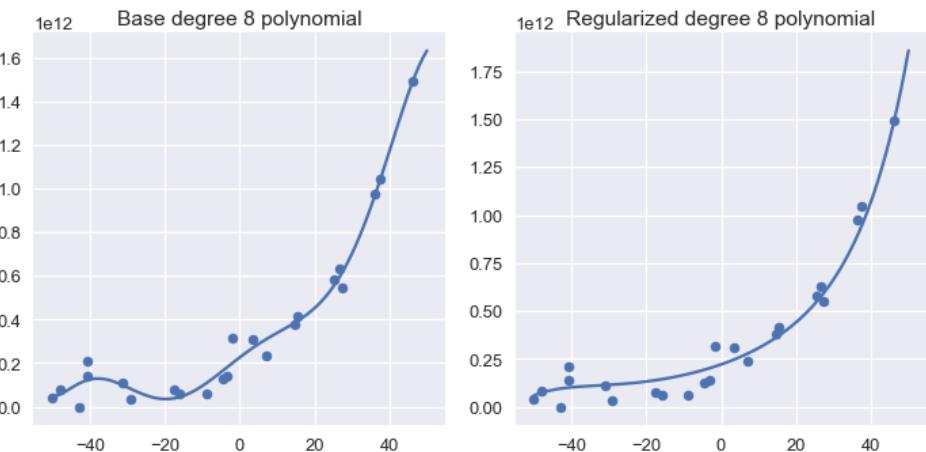
0.1

أخيراً، نقوم برسم نتائج التوقعات لنموذج متعدد الحدود من الدرجة الثامنة بجانب النموذج من الدرجة الثامنة الذي تم ضبطه:

```

fig = plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.subplot(121)
plot_data()
plot_curve(curves[2])
plt.title('Base degree 8 polynomial')
plt.subplot(122)
plot_data()
plot_curve(ridge_curves[2])
plt.title('Regularized degree 8 polynomial')
plt.tight_layout()

```



يستخدم الكاتب نفس الطريقة السابقة لرسم انحدار Ridge، عن طريق إنشاء مصفوفة أسماء ridge\_curves وعرفها كالتالي:

```

from sklearn.linear_model import Ridge
ridge_clfs = [Pipeline([('poly', PolynomialFeatures(degree=deg, include_bias=False)),
                      ('reg', Ridge(alpha=0.1, normalize=True))])
              .fit(X, y)
              for deg in degrees]
ridge_curves = [make_curve(clf) for clf in ridge_clfs]

```

نلاحظ أن متعدد الحدود الذي تم ضبطها منحناها أكثر سلاسة وتتم على أغلب نقاط البيانات.

بمقارنة المعاملات للنموذج الذي تم ضبطه والذي لم يتم ضبطه نلاحظ أن انحدار Ridge يفضل وضع وزن للنموذج على متعددات الحدود ذو الدرجات الدنيا:

```

base = coef_table(clfs[2]).rename(columns={'Coefficient Value': 'Base'})
ridge = coef_table(ridge_clfs[2]).rename(columns={'Coefficient Value': 'Regularized'})
pd.options.display.max_rows = 20
display(base.join(ridge))
pd.options.display.max_rows = 7

```

	Base	Regularized
degree		
0	225782472111.94	221063525725.23
1	13115217770.78	6846139065.96
2	144725749.98-	146158037.96
3	10355082.91-	1930090.04
4	567935.23	38240.62
5	9805.14	564.21
6	249.64-	7.25
7	2.09-	0.18
8	0.03	0.00

استخدم الكاتب دالتين `coefs` و `coef_table` تقومان بإنشاء المعاملات على شكل جدول في DataFrame، وتعرّيفها كالتالي:

```
</>

def coefs(clf):
    reg = clf.named_steps['reg']
    return np.append(reg.intercept_, reg.coef_)

def coef_table(clf):
    vals = coefs(clf)
    return (pd.DataFrame({'Coefficient Value': vals})
            .rename_axis('degree'))
```

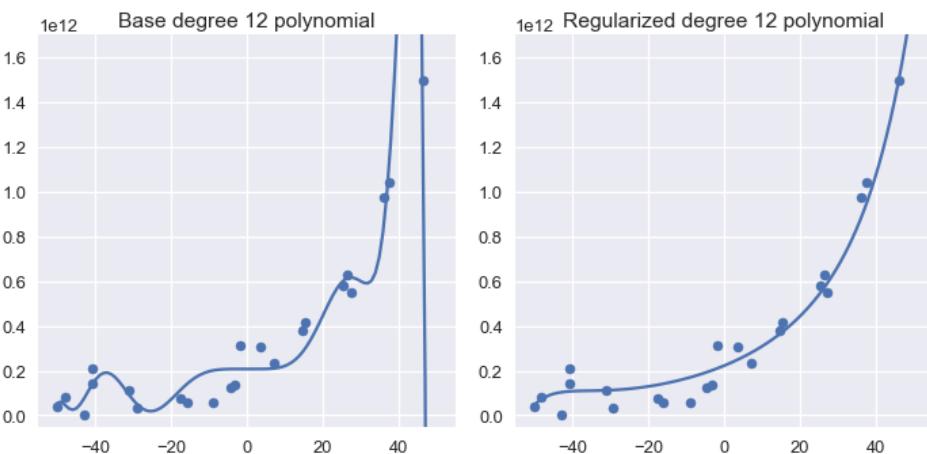
إعادة تطبيق نفس العملية على متعددة الحدود من الدرجة 12 يظهر نتائج مماثلة:

```
</>

fig = plt.figure(figsize=(10, 5))

plt.subplot(121)
plot_data()
plot_curve(curves[3])
plt.title('Base degree 12 polynomial')
plt.ylim(-5e10, 170e10)

plt.subplot(122)
plot_data()
plot_curve(ridge_curves[3])
plt.title('Regularized degree 12 polynomial')
plt.ylim(-5e10, 170e10)
plt.tight_layout()
```



نحصل على نموذج أكثر بساطة كلما قمنا في الزيادة في متغير الضبط. الرسم البياني التالي يوضح تأثير الزيادة في قيمة الضبط من 0.001 حتى 100.0:

```
</>

alphas = [0.001, 0.01, 0.1, 1.0, 10.0, 100.0]

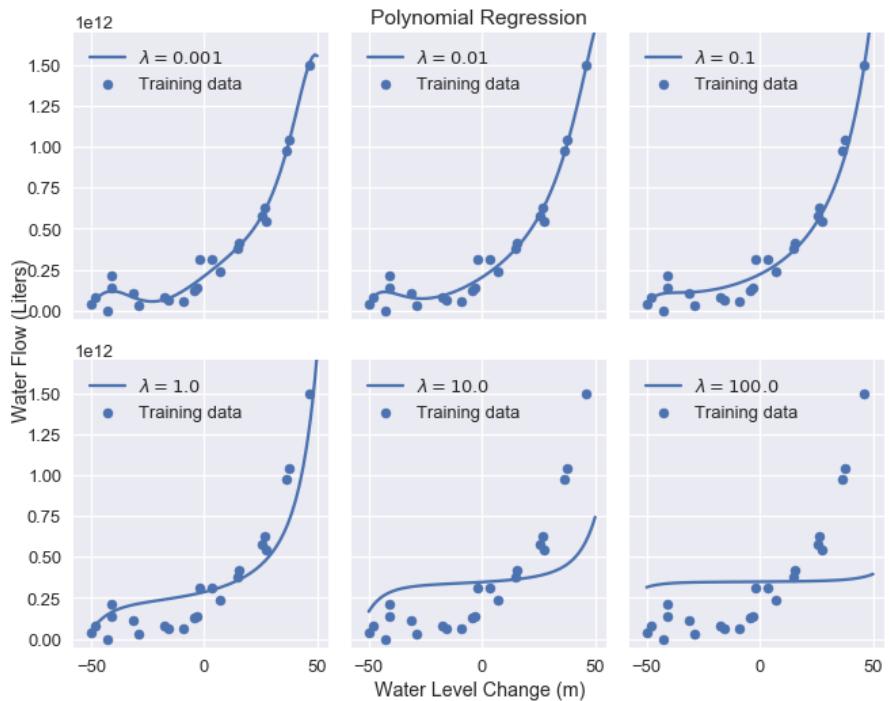
alpha_clfs = [Pipeline([
    ('poly', PolynomialFeatures(degree=12, include_bias=False)),
    ('reg', Ridge(alpha=alpha, normalize=True))])
    .fit(X, y) for alpha in alphas]

alpha_curves = [make_curve(clf) for clf in alpha_clfs]
```

```

alphas_curves = [make_curve(deg) for deg in alphas]
labels = [f'$\lambda = {alpha}$' for alpha in alphas]
plot_curves(alphas_curves, cols=3, labels=labels)

```



استخدمت الدالة `plot_curves` للمساعدة على رسم المنحنيات، وتعريفها كالتالي:

```

def plot_curves(curves, cols=2, labels=None):
    if labels is None:
        labels = [f'Deg {deg}' for deg in degrees]
    rows = int(np.ceil(len(curves) / cols))
    fig, axes = plt.subplots(rows, cols, figsize=(10, 8),
                           sharex=True, sharey=True)
    for ax, curve, label in zip(flatten(axes), curves, labels):
        plot_data(ax=ax, label='Training data')
        plot_curve(curve, ax=ax, label=label)
        ax.set_yscale('log')
        ax.legend()
# إضافة الرسوم الكبيرة وإخفاء الإطارات
fig.add_subplot(111, frameon=False)
# إخفاء الحدود والعلامات والعنوانين في الرسم
plt.tick_params(labelcolor='none', top='off', bottom='off',
                left='off', right='off')
plt.grid(False)
plt.title('Polynomial Regression')
plt.xlabel('Water Level Change (m)')
plt.ylabel('Water Flow (Liters)')
plt.tight_layout()

```

كما نرى، الزيادة في متغير الضبط تزيد من انحصار النموذج. إذا كان متغير الضبط عالي جداً، يصبح النموذج نموذجاً ثابتاً لأن أي قيمة لوزن النموذج غير صفر ينتج عنها عقاب عالي.

## ملخص انحدار Ridge

استخدام ضبط  $L_2$  يسمح لنا بضبط انحصار وبيان النموذج عن طريق عقاب أوزان النموذج العالية. ضبط  $L_2$  للانحدار الخطى للمربعات الصغرى يعرف أيضاً باسم انحدار Ridge. استخدام الضبط يضيف متغير إضافي للنموذج يرمز له  $\lambda$  والذي يقوم بضبطه باستخدام التحقق المتقاطع.

## الضبط L1: انحدار Lasso

في هذا الجزء سنعرف على طريقة الضبط  $L_1$ ، طريقة أخرى من طرق الضبط تفيدنا في اختيار الخصائص.

سنبدأ بمراجعة بسيطة للضبط  $L_2$  للانحدار الخطى. استخدمنا النموذج:

$$f_{\theta}(x) = \hat{\theta} \cdot x$$

قمنا بضبط النموذج عن طريق تقليل دالة التكلفة لمتوسط الخطأ التربيعي وأضفنا إليها الضبط:

$$L(\hat{\theta}, X, y) = \frac{1}{n} \sum_i (y_i - f_{\hat{\theta}}(X_i))^2 + \lambda \sum_{j=1}^p \hat{\theta}_j^2$$

في المعادلة السابقة،  $X$  تمثل مصفوفة البيانات  $n \times p$ ، و  $x$  تمثل سطر من أسطر  $X$ ، و  $y$  تمثل النتائج التي أطلع عليها، و  $\hat{\theta}$  هي وزن النموذج، و  $\lambda$  تمثل قيمة متغير الضبط.

## تعريف الضبط

إضافة الضبط  $L_1$  إلى النموذج، نقوم بتعديل دالة التكلفة السابقة إلى:

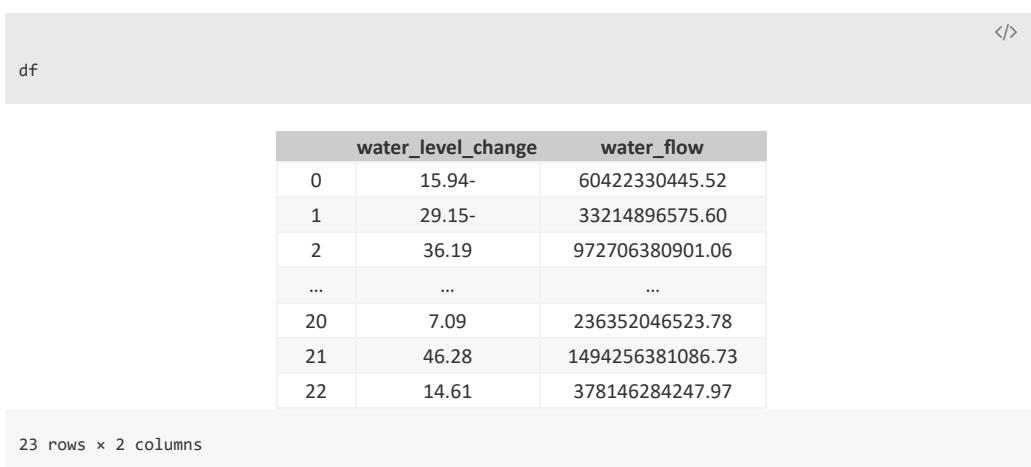
$$L(\hat{\theta}, X, y) = \frac{1}{n} \sum_i (y_i - f_{\hat{\theta}}(X_i))^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\hat{\theta}_j|$$

لاحظ أن الفرق بين المعادلين فقط في جزئية الضبط. الضبط  $L_1$  يعاقب مجموع الأوزان المطلقة بدلاً من مجموع التربع.

استخدام الضبط  $L_2$  مع نموذج خطى ودالة التكلفة لمتوسط الخطأ التربيعي يطلق عليه انحدار Lasso. Least Absolute Lasso هي اختصار لـ  Shrinkage and Selection Operator

## المقارنة بين انحدار Lasso و Ridge

لتطبيق انحدار Lasso، سنستخدم النموذج [LassoCV](#) من مكتبة scikit-learn، وهي نسخة من نموذج [Lasso](#) التي تطبق التحقق المتقاطع لاختيار متغيرات الضبط. في الأسفل، نستعرض بيانات تدفق المياه من السد:



	water_level_change	water_flow
0	15.94-	60422330445.52
1	29.15-	33214896575.60
2	36.19	972706380901.06
...	...	...
20	7.09	236352046523.78
21	46.28	1494256381086.73
22	14.61	378146284247.97

23 rows x 2 columns

بما أن الخطوات في كلا الطريقتين متطابقة، سنستعرض النتائج لجميع النماذج معًا مع متعددة الحدود من الدرجة 12:

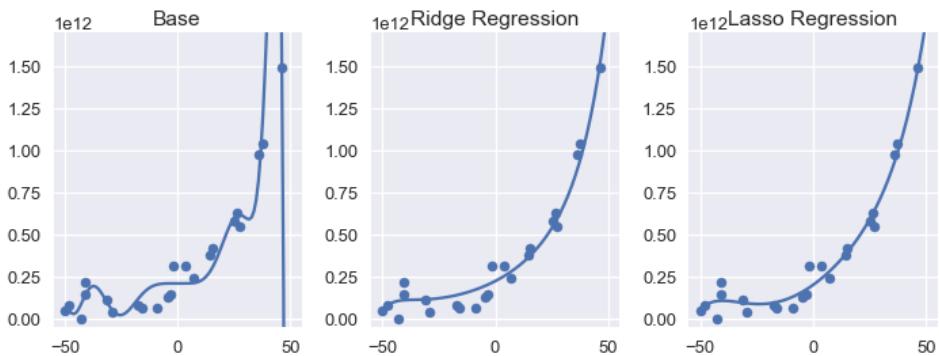


```
fig = plt.figure(figsize=(10, 4))

plt.subplot(131)
plot_data()
plot_curve(curves[3])
plt.title('Base')
plt.ylim(-5e10, 170e10)

plt.subplot(132)
plot_data()
plot_curve(ridge_curves[3])
plt.title('Ridge Regression')
plt.ylim(-5e10, 170e10)

plt.subplot(133)
plot_data()
plot_curve(lasso_curves[3])
plt.title('Lasso Regression')
plt.ylim(-5e10, 170e10)
plt.tight_layout()
```



يستخدم الكاتب نفس الطريقة السابقة لرسم انحدار Lasso، عن طريق إنشاء مصفوفة أسمها `lasso_curves` وعرفها كالتالي:

```
</>
from sklearn.linear_model import LassoCV
lasso_clfs = [Pipeline([('poly', PolynomialFeatures(degree=deg, include_bias=False)),
                      ('reg', LassoCV(normalize=True, precompute=True, tol=0.001))])
              .fit(X, y)
              for deg in degrees]
lasso_curves = [make_curve(clf) for clf in lasso_clfs]
```

نلاحظ أن كل النماذجين المضبوطة لديها تباين قليل مقارنة مع متعددة الحدود من الدرجة 12. نلاحظ أن استخدام الضبط  $L_2$  أو  $L_1$  ينتج لنا نتائج قريبة جدًا أن تكون متطابقة. لكن، عند مقارنة المعاملات لنماذجي انحدار Ridge و Lasso، يظهر لنا أهم الفروقات بين النوعين من الضبط: نموذج انحدار Lasso حدد بعض من أوزان النموذج إلى القيمة صفر.

```
</>
ridge = coef_table(ridge_clfs[3]).rename(columns={'Coefficient Value': 'Ridge'})
lasso = coef_table(lasso_clfs[3]).rename(columns={'Coefficient Value': 'Lasso'})

pd.options.display.max_rows = 20
pd.set_option('display.float_format', '{:.10f}'.format)
display(ridge.join(lasso))
pd.options.display.max_rows = 7
pd.set_option('display.float_format', '{:.2f}'.format)
```

degree	Ridge	Lasso
0	221303288116	198212062407
1	6953405308	9655088668
2	142621063.9	198852674.2
3	1893283.057	0
4	38202.15203	34434.34589
5	484.4262914	975.6965959
6	8.152512652	0
7	0.1197232472	0.0887942172
8	0.0012506185	0
9	0.0000289599	0
10	0.0000000004-	0
11	0.0000000069	0
12	0.0000000001-	0

عند العودة للنتائج في الجدول، نلاحظ أن انحدار Ridge كانت نتائجه غير صفرية للأوزان في جميع خصائص متعددة الحدود. بينما انحدار Lasso، كانت لديه نتائج تساوي صفر في سبعة من الخصائص.

بعض آخر، أن نموذج انحدار Lasso تجاهل بشكل كامل الكثير من الخصائص عند القيام بالتوقعات. ولكن، الرسم البياني السابق أظهر أن نموذج انحدار Lasso قام بتوقعات مطابقة بشكل كبير لنماذج انحدار Ridge.

## اختيار الخصائص مع انحدار Lasso

عندما يقوم انحدار Lasso بتطبيق اختيار الخصائص **Feature Selection**، يتجاهل أجزاء من الخصائص الأصلية عند ضبط الخصائص بالنموذج. هذه الطريقة مفيدة عندما نعمل على بيانات عالية الأبعاد بخصائص كثيرة. نموذج يستخدم القليل من الخصائص للقيام بالتوقعات سيعمل بشكل

أسرع من نموذج آخر يحتاج الكثير من عمليات الحساب. بما أن الخصائص غير المرغوب فيها تزيد من تباين النموذج دون التقليل من الانحياز، يمكننا أحياناً زيادة دقة النماذج عن طريق استخدام انحدار Lasso ليقوم باختيار جزء من الخصائص لاستخدامها.

## عملياً Ridge × Lasso

إذا كان هدفنا فقط الوصول إلى أعلى دقة في التوقع، يمكننا تجربة كلا النوعين من الضبط مع التحقق المتقاطع والاختيار بينهما.

أحياناً نفضل نوع من الضبط عن الآخر لأنها يطابق بشكل كبير المجال الذي نعمل عليه. مثلاً، إذا كنا نعرف أن ظاهره ما والتي تحاول أن نبني لها نموذج تنت من العديد من العوامل الصغيرة، فربما نفضل استخدام انحدار Ridge لأنه لن يتتجاهل أحد هذه العوامل الصغيرة. من ناحية أخرى، بعض النتائج تأتي جزء الخصائص شديدة التاثير. نفضل استخدام انحدار Lasso في تلك الحالات لأنه يتتجاهل الخصائص غير المرغوب فيها.

## ملخص انحدار Lasso

استخدام الضبط  $L_1$ ، كما في الضبط  $L_2$ ، يساعدنا على ضبط انحياز وتبالن النموذج عن طريق معاقبة الأوزان العالية في النموذج. الضبط  $L_1$  لانحدار خطي ودالة التكلفة لمتوسط الخطأ التربيعي يطلق عليه بالمعصطل الشائع انحدار Lasso. يمكن أن يستخدم انحدار Lasso في اختيار الخصائص بما أنه يتتجاهل الخصائص غير المهمة.

## التصنيف

### مقدمة

حتى الآن ألقينا نظرة على نماذج لانحدار، طريقة للقيام بتوقعات مستمرة وبالأرقام بناءً على البيانات. الآن ننتقل إلى التصنيف Classification، وهي طريقة للقيام بتوقعات تصنيفية بناءً على البيانات. مثلاً، قنوات توقعات الطقس مهتمة بتوقع ما إذا سيكون غداً يوم ماطر أو غير ذلك بناءً على حال الطقس اليوم.

معاً، التصنيف والانحدار تعتبر من النماذج الأولية والتي يتجه لها في التعليم الموجه Supervised Learning، والذي فيه يتعلم النموذج عن طريق تمرير البيانات ونتائجها عليه.

يمكننا إعادة تشكيل التصنيف على أنه نوع من أنواع الانحدار. بدلاً من أن نبني نموذج ليتوقع أرقاماً، ننشأ نموذج ليتوقع احتمالية أن قيمة من البيانات تتسمى بصفة ما. يسمح لنا ذلك بإعادة استخدام تقنيات الانحدار الخطي في الانحدار على الاحتمالات أو ما يسمى الانحدار الوجستي Logistic Regression

## الانحدار في الاحتمالات

في كرة السلة، تحسب نقاط المباريات عندما يقوم اللاعب بإدخال الكرة في السلة. أحد اللاعبين، ليبرون جيمس، يُعرف بأنه أحد أفضل من لعب كرة السلة بسبب قدراته في تسجيل النقاط.



يلعب ليبرون في الدوري الأمريكي لكرة السلة للمحترفين NBA). قمنا بجمع جميع محاولات التسجيل لليبرون في المباريات الإقصائية لعام 2017 باستخدام موقع stats.nba.com

```

import numpy as np
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import seaborn as sns
sns.set()
sns.set_context('talk')
np.set_printoptions(threshold=20, precision=2, suppress=True)
pd.options.display.max_rows = 7
pd.options.display.max_columns = 8
pd.set_option('precision', 2)

lebron = pd.read_csv('lebron.csv')
lebron

```

	game_date	minute	opponent	action_type	shot_type	shot_distance	shot_made
0	20170415	10	IND	Driving Layup Shot	2PT Field Goal	0	0
1	20170415	11	IND	Driving Layup Shot	2PT Field Goal	0	1
2	20170415	14	IND	Layup Shot	2PT Field Goal	0	1
...	...	...	...	...	...	...	...
381	20170612	46	GSW	Driving Layup Shot	2PT Field Goal	1	1
382	20170612	47	GSW	Turnaround Fadeaway shot	2PT Field Goal	14	0
383	20170612	48	GSW	Driving Layup Shot	2PT Field Goal	2	1

384 rows × 7 columns

كل سطر في هذه البيانات يحتوي على المعلومات التالية عن محاولات التسجيل لليبرون جيمس:

- game\_date: تاريخ المباراة.
- minute: الدقيقة التي حاول فيها التسجيل (مدة كل مباراة في كرة السلة الأمريكية 48 دقيقة).
- opponent: اختصار اسم الفريق المنافس.
- action\_type: الطريقة التي تمت فيها محاولة التسجيل.
- shot\_type: نوع الرمية (إما رمية نقطتين أو ثلاثة نقاط).
- shot\_distance: مسافة ليبرون عن السلة عندما قام بمحاولة التسجيل.
- shot\_made: تكون 0 عندما تكون محاولة التسجيل فاشلة و 1 عندما تكون محاولة التسجيل ناجحة.

نريد أن نستخدم هذه البيانات لإجراء التوقعات عن احتمالية تسجيل ليبرون للمزيد من النقاط. تعتبر هذه مشكلة تصنيف Classification؛ نتوقع صنف، وليس رقم كما فعل في الانحدار <math>\rightarrow</math>

يمكننا إعادة صياغة مشكلة التصنيف هذه إلى مشكلة انحدار نتوقع فيها الاحتمالية Probability إذا كانت الكرة ستدخل في السلة أم لا. مثلاً، نتوقع أن محاولات ليبرون للتسجيل ستخطأ السلة عندما تكون المحاولة من المسافة بعيدة.

نقوم برسم محاولات التسجيل، نظهر فيها المسافة عن السلة في المحور  $x$  و ما إذا تم تسجيل تلك المحاولة أو لا في المحور  $y$ .

```

sns.lmplot(x='shot_distance', y='shot_made',
            data=jitter_df(lebron, 'shot_distance', 'shot_made'),
            fit_reg=False,
            scatter_kws={'alpha': 0.3})
plt.title('LeBron Shot Make vs. Shot Distance');

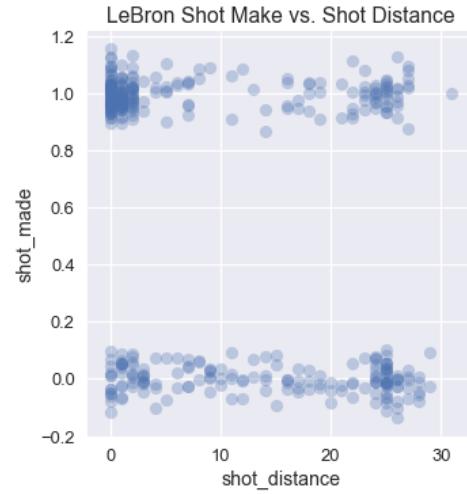
```

استخدم الكاتب الدالة jitter\_df لتحويل البيانات إلى قيم عشوائية عن طريق إضافة قيمة عشوائية لها، وعرفها كالتالي:

```

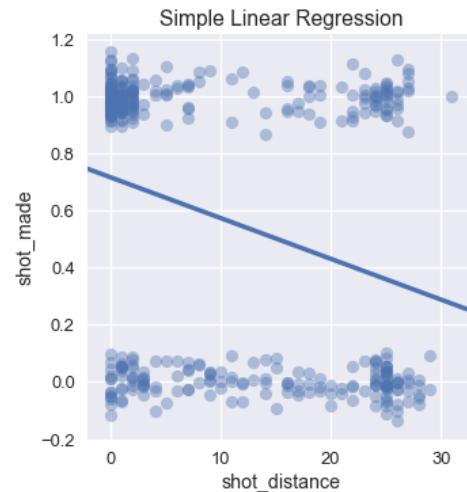
def jitter_df(df, x_col, y_col):
    x_jittered = df[x_col] + np.random.normal(scale=0, size=len(df))
    y_jittered = df[y_col] + np.random.normal(scale=0.05, size=len(df))
    return df.assign(**{x_col: x_jittered, y_col: y_jittered})

```



يمكن أن نرى أن ليبرون يسجل أكثر عندما يكون بحوالي 5 أقدام أو أقل إلى السلة. عند ضبط نموذج بسيط للانحدار الخطي في المربعات الصغرى على هذه البيانات ينتج لنا التوقعات التالية:

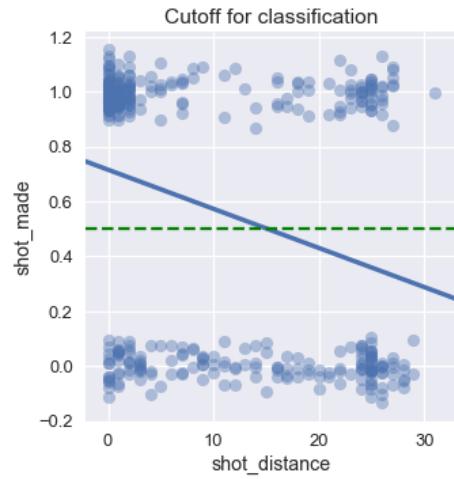
```
</>
sns.lmplot(x='shot_distance', y='shot_made',
            data=jitter_df(lebron, 'shot_distance', 'shot_made'),
            ci=None,
            scatter_kws={'alpha': 0.4})
plt.title('Simple Linear Regression');
```



يستخدم الانحدار الخطي لتوقع قيم رقمية. ولكن عندما نريد تطبيقه على التصنيف، نريد تحويل هذه القيم الرقمية إلى تصنيف: تسجيل الكرة أو لا. يمكننا تطبيق ذلك عن طريق تحديد خط للقطع، أو حد **فصل التصنيف**. إذا توقع الانحدار قيمة أكبر من 0.5، فيعني ذلك أن التوقع هو أن الكرة ستدخل السلة. على عكس ذلك، إذا توقع أقل من 0.5 فإن الكرة ستخطا السلة.

رسمنا حد الفصل في الرسم البياني باللون الأخضر المتقطع. بناءً على هذا الحد الفاصل، فإن نموذجنا يتوقع أن ليبرون سيسجل الكرة إذا كان على بعد 15 قدم أو أقل عن السلة.

```
</>
sns.lmplot(x='shot_distance', y='shot_made',
            data=jitter_df(lebron, 'shot_distance', 'shot_made'),
            ci=None,
            scatter_kws={'alpha': 0.4})
plt.axhline(y=0.5, linestyle='--', c='g')
plt.title('Cutoff for Classification');
```



في الخطوات السابقة، حاولنا تطبيق الانحدار لتوقع احتمالية أن كرة ستتصيب الهدف. إذا كان انحدارنا ينتج احتمالية، فإن تحديد الحد الفاصل على 0.5 يعني أن الكرة ستتصيب الهدف عندما يتوقع النموذج قيمة أعلى من ذلك. سنعود لموضوع حد فصل التصنيف في جزء آخر في هذا الفصل.

### مشاكل الانحدار الخطي في الاحتمالات

للأسف، لا يمكننا اعتناد نتائج نموذجنا الخطي على أنها احتمالات. الاحتمالات الصحيحة يجب أن تكون بين 0 و 1، ولكن نموذجنا الخطي يخالف هذا الشرط. مثلاً، احتمالية أن يسجل ليرون كرها من على بعد 100 قدم عن السلة يجب أن تكون أقرب إلى الصفر. ولكن، في حالتنا هنا، النموذج سيتوقع قيمة سلبية.

إذا قمنا بالتعديل على نموذجنا الخطي لتكون توقعاته عبارة عن احتمالات، لن نواجه مشكلة في استخدام توقعاته في التصنيف. يمكننا القيام بذلك باستخدام دالة توقع دالة خسارة جديدة. يطلق على هذا النموذج **بالانحدار اللوجستي**.

## النموذج اللوجستي

في هذا الجزء، سنتعرف على الانحدار اللوجستي، نموذج خطى نستخدمه لتوقع الاحتمالات.

لنذكر أن لضبط نموذج يحتاج لثلاث عناصر: نموذج يقوم بالتوقع، دالة خسارة، وطريقة لتحسين نتائج النموذج. سنستخدم النموذج الذي نعرفه الآن، الانحدار الخطي للمربعات الصغرى:

$$f_{\hat{\theta}}(\mathbf{x}) = \hat{\theta} \cdot \mathbf{x}$$

دالة الخسارة:

$$L(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{X}, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_i (y_i - f_{\boldsymbol{\theta}}(\mathbf{X}_i))^2$$

سنستخدم النزول الاشتتاقي كأداة لتحسين النتائج. في التعريف السابق،  $\mathbf{X}$  تمثل مصفوفة البيانات  $n \times p$  (وهي  $n$  هي عدد البيانات و  $p$  عدد العناصر / الأعمدة)، تتمثل  $\mathbf{x}$  سطر من  $\mathbf{X}$ ، و  $y$  متوجه للنتائج التي سبق أن أطلع عليها. المتجه  $\hat{\boldsymbol{\theta}}$  الوزن المثالي للنموذج و  $\boldsymbol{\theta}$  تمثل الوزن المتوسط الذي أنشأه محاولة تحسين النموذج.

### الأعداد الحقيقية إلى احتمالات

لنزى أن نموذجنا  $\mathbf{x} \cdot \hat{\boldsymbol{\theta}} = f_{\hat{\boldsymbol{\theta}}}(\mathbf{x})$  يمكن أن يتوقع أي رقم حقيقي  $\mathbb{R}$  بما أنه ينتج مجموعة من الأرقام خطية في  $\mathbf{x}$ ، والتي بنفسها يمكن أن تحتوي على أي رقم من  $\mathbb{R}$ .

يمكينا بسهولة رسم ذلك بيانياً عندما تكون  $\mathbf{x}$  رقم متدرج. إذا كانت  $0.5 = \hat{\boldsymbol{\theta}}$  فإن النموذج سيكون  $f_{\hat{\boldsymbol{\theta}}}(\mathbf{x}) = 0.5x$ . يمكن لتقعات هذا النموذج أن تكون أي رقم من سالب مالا نهاية حتى موجب مالا نهاية:

```
</>
xs = np.linspace(-100, 100, 100)
ys = 0.5 * xs
plt.plot(xs, ys)
plt.xlabel('$x$')
plt.ylabel(r'$f_{\hat{\boldsymbol{\theta}}}(\mathbf{x})$')
plt.title(r'Model Predictions for $\hat{\boldsymbol{\theta}} = 0.5$');
```



لهمان التصنيف، نريد تقييد  $(x) f_{\theta}$  بحيث تكون نتائجها عبارة عن احتمالية. يعني ذلك أن نتائجها تكون في المدى  $[0, 1]$ . أيضاً، نريد أن تتطابق القيم الكبيرة في  $(x) f_{\theta}$  مع قيم كبيرة في الاحتمالية والعكس للقيم الصغرى مع قيمة احتمالية صغيرة.

### الدالة اللوجستية

إنجاز ذلك، سنتعرف على الدالة اللوجستية **Sigmoid Function**، ويطلق عليها في بعض الأحيان الدالة السينية

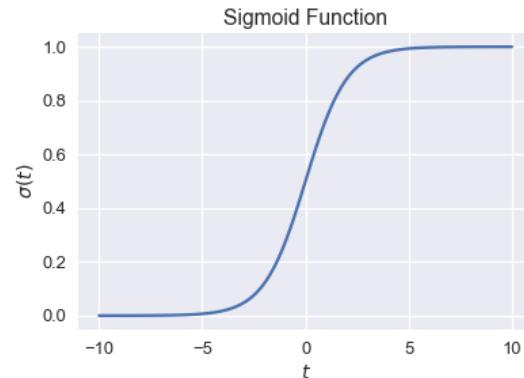
$$\sigma(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

لتسهيل القراءة، عادة ما نقوم بتغيير  $e^x$  إلى  $\exp(x)$

$$\sigma(t) = \frac{1}{1 + \exp(-t)}$$

قمنا برسم الدالة السينية لقيم التالية  $t \in [-10, 10]$

```
</>
from scipy.special import expit
xs = np.linspace(-10, 10, 100)
ys = expit(xs)
plt.plot(xs, ys)
plt.title('Sigmoid Function')
plt.xlabel('$ t $')
plt.ylabel(r'$ \sigma(t) $');
```



نلاحظ أن الدالة السينية  $(t) \sigma$  تأخذ رقم حقيقي  $\mathbb{R}$  وتكون نتائجها فقط أرقام بين 0 و 1. تقوم الدالة تدريجياً بالاصطدام بناءً على القيم المدخلة  $t$ ؛ القيم الكبيرة في  $t$  هي القيم القريبة من 1، كما رغبناها أن تعمل. لم يتم ذلك بالصدفة؛ الدالة السينية يمكن اشتقاقها من نسبة لوغاریتميات الاحتمالات، ولكن قمنا بإخفاء الاشتقاد لتسهيل الشرح

### تعريف النموذج اللوجستي

يمكننا الآنأخذ النموذج الخطى  $x \cdot \hat{\theta}$  واستخدامه كمدخل للدالة السينية لإنشاء النموذج اللوجستي:

$$f_{\theta}(x) = \sigma(\hat{\theta} \cdot x)$$

بمعنى آخر، نأخذ نتيجة الانحدار الخطى، أي رقم حقيقي  $\mathbb{R}$ ، ونستخدمه في الدالة السينية لتقييد نتائج النموذج النهائية لتكون نتيجة احتمالية صحيح كرقم بين صفر وواحد.

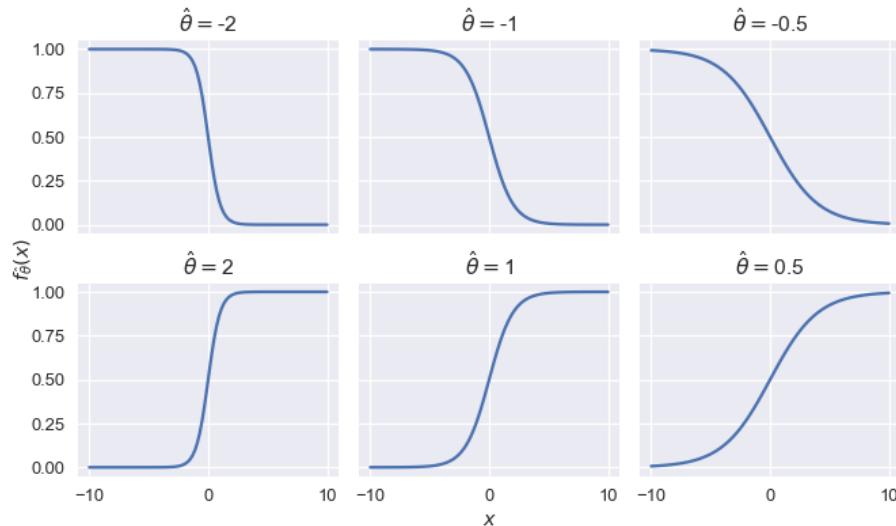
لمعرفة طريقة عمل النموذج اللوجستي بشكل بسيط، سنقوم بتقييد قيمة  $x$  لتكون رقم متدرج ورسم نتيجة النموذج اللوجستي لعدة قيم  $\hat{\theta}$ :

```
</>
 لا حاجة لفهم الكود البرمجي لأن الكاتب استخدمه لبناء الرسم البياني التوضيحي #
def flatten(li): return [item for sub in li for item in sub]

thetas = [-2, -1, -0.5, 2, 1, 0.5]
xs = np.linspace(-10, 10, 100)

fig, axes = plt.subplots(2, 3, sharex=True, sharey=True, figsize=(10, 6))
for ax, theta in zip(flatten(axes), thetas):
    ys = expit(theta * xs)
    ax.plot(xs, ys)
    ax.set_title(r'$\hat{\theta} = ' + str(theta) + '$')

fig.add_subplot(111, frameon=False)
plt.tick_params(labelcolor='none', top='off', bottom='off',
                left='off', right='off')
plt.grid(False)
plt.xlabel('$x$')
plt.ylabel(r'$f_{\hat{\theta}}(x)$')
plt.tight_layout()
```



نلاحظ أن التغير في قيمة  $\hat{\theta}$  يغير من حدة المنحنى؛ كلما أبعدنا عن 0، كلما زادت حدة المنحنى. تغير الإشارة في  $\hat{\theta}$  مع الإبقاء على نفس القيمة الرقمية ينتج لنا نفس النتائج لكن بشكل عكسي.

### ملخص النموذج اللوجستي

تعرفنا على النموذج اللوجستي، طريقة جديدة للتوقع التي تُنْتَجُ لنا توقعات كاحتمالات. لبناء النموذج، نستخدم مخرجات النموذج الخطى كمدخلات إلى الدالة اللوجستية غير الخطية.

### دالة الخسارة للنموذج اللوجستي

قمنا بتعريف النموذج الخطى للاحتمالات، النموذج اللوجستي:

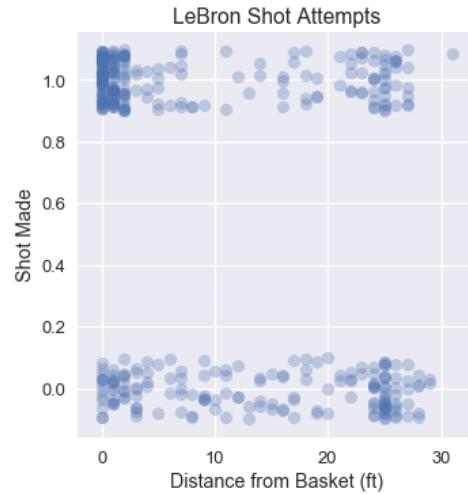
$$f_{\hat{\theta}}(x) = \sigma(\hat{\theta} \cdot x)$$

كما في النموذج الخطى، يحتوى النموذج على متغيرات  $\hat{\theta}$ ، مصفوفة تحتوى على متغير واحد لكل خاصية فى  $x$ . سنقوم الآن بحل مشكلة تعريف دالة الخسارة لهذا النموذج والتي ستسمح لنا بضبط متغيرات النموذج لهذه البيانات.

ما نريد هو أن يقوم النموذج بتوقعات مطابقة بشكل كبير للبيانات. في الأسفل قمنا برسم بياني لمحاولات التسجيل لليبرون في المباريات الإقصائية لعام 2017 باستخدام بعد كل تسديدة عن السلة:

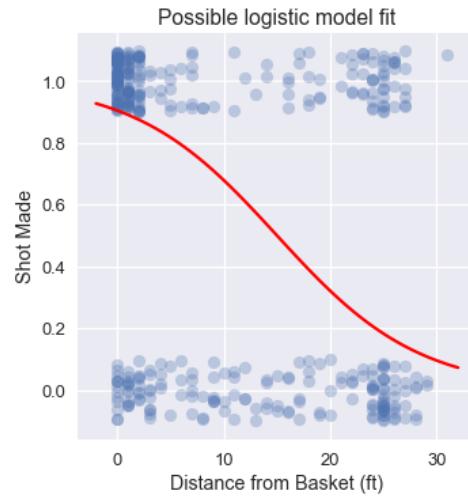
```
</>
sns.lmplot(x='shot_distance', y='shot_made',
            data=lebron,
            fit_reg=False, ci=False,
            y_jitter=0.1,
            scatter_kws={'alpha': 0.3})
plt.title('LeBron Shot Attempts')
```

```
plt.xlabel('Distance from Basket (ft)')
plt.ylabel('Shot Made');
```



نلاحظ التجمع لكثير من المحاولات التي تم تسجيلها والتي كانت قريبة من السلة وتحمّل قليل من البيانات لمحاولات تم تسجيلها من مسافات بعيدة عن السلة، نتوقّع عندما نضبط النموذج اللوجستي على هذه البيانات أن النتيجة سيكون كالتالي:

```
</>
from scipy.special import expit
sns.lmplot(x='shot_distance', y='shot_made',
            data=lebron,
            fit_reg=False, ci=False,
            y_jitter=0.1,
            scatter_kws={'alpha': 0.3})
xs = np.linspace(-2, 32, 100)
ys = expit(-0.15 * (xs - 15))
plt.plot(xs, ys, c='r', label='Logistic model')
plt.title('Possible logistic model fit')
plt.xlabel('Distance from Basket (ft)')
plt.ylabel('Shot Made');
```



على الرغم أن بإمكاننا استخدام دالة خسارة الخطأ التربيعي المتوسط كما فعلنا في نموذج الانحدار الخطى، هي ليست ملائمة للنموذج اللوجستي للنتائج التي سبق أن أطلع عليها، و  $(x_i\theta)^2$  تمثل النموذج اللوجستي. تحتوي  $\theta$  على قيم المتغيرات الحالية. باستخدام هذا التعريف، يمكننا تعريف معادلة متوسط خسارة الانتروبيا التقاطعية كالتالي:

### خسارة الانتروبيا التقاطعية

بدلاً من الخطأ التربيعي المتوسط، سنستخدم خسارة الانتروبيا التقاطعية **Cross-Entropy Loss**. تمثل  $\mathbf{X}$  مصفوفة البيانات  $\times n$ ، و  $\mathbf{y}$  متوجه للنتائج التي سبق أن أطلع عليها، و  $(x_i\theta)^2$  تمثل النموذج اللوجستي. تحتوي  $\theta$  على قيم المتغيرات الحالية. باستخدام هذا التعريف، يمكننا تعريف

$$L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_i (-y_i \ln(f_\theta(\mathbf{X}_i)) - (1 - y_i) \ln(1 - f_\theta(\mathbf{X}_i)))$$

يمكن أن تلاحظ، كما فعلنا مسبقاً، أنتا أخذنا متوسط الخسارة لكل نقطة معينة في البيانات. ما في داخل التعريف السابق يمثل الخسارة لنقطة معينة  $(\mathbf{X}_i, y_i)$ :

$$\ell(\theta, \mathbf{X}_i, y_i) = -y_i \ln(f_\theta(\mathbf{X}_i)) - (1 - y_i) \ln(1 - f_\theta(\mathbf{X}_i))$$

لنتذكر أن كل قيمة  $y_i$  ستكون إما 0 أو 1. إذا كانت  $y_i = 0$ ، فأول مصطلح في الخسارة يساوي صفر. إذا كانت  $y_i = 1$ ، فإن ثانى مصطلح في التعريف السابق يساوى صفر. لذا، لكل نقطة في بياناتنا، فإن فقط جزء واحد من تعريف دالة خسارة الانتروبيا التقاطعية يساهم في حساب قيمة الخسارة النهائية.

لنفترض أن  $0 = y_i$  والاحتمالية المتوقعة كانت  $0 = f_\theta(\mathbf{X}_i)$ ، فإن نموذجنا كان توقعه صحيح. ستكون الخسارة لهذه النقطة كالتالي:

$$\begin{aligned}\ell(\theta, \mathbf{X}_i, y_i) &= -y_i \ln(f_\theta(\mathbf{X}_i)) - (1 - y_i) \ln(1 - f_\theta(\mathbf{X}_i)) \\ &= -0 - (1 - 0) \ln(1 - 0) \\ &= -\ln(1) \\ &= 0\end{aligned}$$

كما هو متوقع، الخسارة للتوقع الصحيح هي 0. يمكنك التأكد من ذلك عندما تكون نتائج توقع الاحتمالية أبعد من القيمة الحقيقة، فإن الخسارة تكون عالية.

القليل من خسارة الانتروبيا التقاطعية يحتاج أن يقوم النموذج  $(\mathbf{x}) f_\theta$  بأدق التوقعات الصحيحة الممكنة. لذلك، فإن دالة الخاسرة هذه مُحدبة، مما يجعل النزول الاشتقaci مناسب لتحسين النتائج.

### مشتق خسارة الانتروبيا التقاطعية

لتطبيق النزول الاشتقaci على خسارة الانتروبيا التقاطعية للنموذج يجب علينا حساب مشتق الدالة السينية بما أنها سنسخدمها في عملية حساب الاشتقaci:

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= \frac{1}{1 + e^{-t}} \\ \sigma'(t) &= \frac{e^{-t}}{(1 + e^{-t})^2} \\ \sigma'(t) &= \frac{1}{1 + e^{-t}} \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + e^{-t}}\right) \\ \sigma'(t) &= \sigma(t)(1 - \sigma(t))\end{aligned}$$

يمكننا وصف مشتق الدالة السينية من الدالة السينية نفسها.

للأخصار، نقوم بتعريف  $\sigma(\mathbf{X}_i \cdot \theta) = f_\theta(\mathbf{X}_i) = \sigma(\mathbf{X}_i \cdot \theta) \cdot \sigma_i$ . سنحتاج قريباً إلى مشتق  $\sigma_i$  للمتجهة  $\theta$  لهذا سنقوم بحسابه الآن باستخدام قاعدة السلسلة:

$$\begin{aligned}\nabla_\theta \sigma_i &= \nabla_\theta \sigma(\mathbf{X}_i \cdot \theta) \\ &= \sigma(\mathbf{X}_i \cdot \theta)(1 - \sigma(\mathbf{X}_i \cdot \theta)) \nabla_\theta (\mathbf{X}_i \cdot \theta) \\ &= \sigma_i(1 - \sigma_i)\mathbf{X}_i\end{aligned}$$

والآن، سنوجد مشتق خسارة الانتروبيا التقاطعية لمتغيرات النموذج  $\theta$ . في تفصيل حل المشتق في الأسفل، جعلنا  $\sigma_i = f_\theta(\mathbf{X}_i) = \sigma(\mathbf{X}_i \cdot \theta)$

$$\begin{aligned}L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) &= \frac{1}{n} \sum_i (-y_i \ln(f_\theta(\mathbf{X}_i)) - (1 - y_i) \ln(1 - f_\theta(\mathbf{X}_i))) \\ &= \frac{1}{n} \sum_i (-y_i \ln \sigma_i - (1 - y_i) \ln(1 - \sigma_i)) \\ \nabla_\theta L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) &= \frac{1}{n} \sum_i \left( -\frac{y_i}{\sigma_i} \nabla_\theta \sigma_i + \frac{1 - y_i}{1 - \sigma_i} \nabla_\theta \sigma_i \right) \\ &= -\frac{1}{n} \sum_i \left( \frac{y_i}{\sigma_i} - \frac{1 - y_i}{1 - \sigma_i} \right) \nabla_\theta \sigma_i \\ &= -\frac{1}{n} \sum_i \left( \frac{y_i}{\sigma_i} - \frac{1 - y_i}{1 - \sigma_i} \right) \sigma_i(1 - \sigma_i)\mathbf{X}_i \\ &= -\frac{1}{n} \sum_i (y_i - \sigma_i)\mathbf{X}_i\end{aligned}$$

التعريف البسيط للمشتقة يسمح لنا بضبط النموذج اللوجستي لخسارة الانتروبيا التقاطعية باستخدام النزول الاشتقaci:

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y})$$

لاحقاً سنتعمق ونحدث في المعادلة لأنواع مختلفة من النزول الاشتقaci الدفعات، العشوائي والدفعات الصغيرة.

## ملخص خسارة الانحدار التقطاعية

بما أن دالة خسارة الانحدار التقطاعية مُحدبة، تقوم بقليلها باستخدام النزول الاشتقافي لضبط النموذج اللوجستي على البيانات. لدينا الآن العناصر المهمة للانحدار اللوجستي: النموذج، دالة الخسارة وطريقة لتحسين النتائج. في جزء لاحق سنتعمق أكثر لمعرفة سبب استخدامنا لمتوسط خسارة الانحدار التقطاعية في الانحدار اللوجستي

## استخدام الانحدار اللوجستي

تعرفنا على جميع العناصر المطلوبة في الانحدار اللوجستي، أولًا، النموذج اللوجستي المستخدم لإجراء توقعات الاحتماليات:

$$f_{\theta}(\mathbf{x}) = \sigma(\hat{\theta} \cdot \mathbf{x})$$

ثم دالة خسارة الانحدار التقطاعية:

$$L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) = -\frac{1}{n} \sum_i (-y_i \ln \sigma_i - (1 - y_i) \ln(1 - \sigma_i))$$

وأخيرًا، مشتقة خسارة الانحدار التقطاعية للنزول الاشتقافي:

$$\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) = -\frac{1}{n} \sum_i (y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i$$

في المعادلة السالفة، جعلنا  $\mathbf{X}$  تمثل مصفوفة البيانات  $p \times n$  ، تمثل  $\mathbf{x}$  سطر من  $\mathbf{X}$  ، و  $y$  متوجه للنتائج التي سبق أن أطلع عليها. و  $f_{\hat{\theta}}(\mathbf{x})$  هي النموذج اللوجستي المثالي ذو متغيرات مئالية  $\hat{\theta}$ . للاختصار نعرف  $(\mathbf{X}_i \cdot \hat{\theta}) = \sigma(\mathbf{X}_i)$ .

## الانحدار اللوجستي على محاولات التسجيل لليبرون

لنعود للمشكلة التي واجهناها في بداية هذا الفصل: لتنويع أي محاولات التسجيل لليبرون جيمس ستتصيب الهدف. أولًا نحمل بيانات محاولات التصويب لليبرون في المباريات الإقصائية لعام 2017:

```
</>  
lebron = pd.read_csv('lebron.csv')  
lebron
```

	game_date	minute	opponent	action_type	shot_type	shot_distance	shot_made
0	20170415	10	IND	Driving Layup Shot	2PT Field Goal	0	0
1	20170415	11	IND	Driving Layup Shot	2PT Field Goal	0	1
2	20170415	14	IND	Layup Shot	2PT Field Goal	0	1
...	...	...	...	...	...	...	...
381	20170612	46	GSW	Driving Layup Shot	2PT Field Goal	1	1
382	20170612	47	GSW	Turnaround Fadeaway shot	2PT Field Goal	14	0
383	20170612	48	GSW	Driving Layup Shot	2PT Field Goal	2	1

384 rows × 7 columns

للتقي نظرة بشكل تفاعلي على هذه البيانات:

```
</>  
df_interact(lebron)
```



```
(384 rows, 7 columns) total
```

ُسرحت هذه الدالة في فصل سابق ووظيفتها هي تمكين المستخدم من تصفح البيانات بشكل تفاعلي وتم تعريفها كالتالي:

```
</>
%matplotlib inline
import ipywidgets as widgets
from ipywidgets import interact, interactive, fixed, interact_manual

def df_interact(df, nrows=7, ncols=7):
    def peek(row=0, col=0):
        return df.iloc[row:row + nrows, col:col + ncols]
    if len(df.columns) <= ncols:
        interact(peek, row=(0, len(df) - nrows, nrows), col=fixed(0))
    else:
        interact(peek,
                  row=(0, len(df) - nrows, nrows),
                  col=(0, len(df.columns) - ncols))
    print('{0} rows, {1} columns) total'.format(df.shape[0], df.shape[1]))
```

نبدأ أولاً باستخدام مسافة محاولة التسجيل لتوقع ما إذا تم تسجيل المحاولة أم لا. توفر لنا مكتبة scikit-learn النموذج اللوجستي بشكل سهل عبر الكلاس [sklearn.linear\\_model.LogisticRegression](#).

```
</>
X = lebron[['shot_distance']].values
y = lebron['shot_made'].values
print('X:')
print(X)
print()
print('y:')
print(y)
```

```
X:
[[ 0]
 [ 0]
 [ 0]
 ...
 [ 1]
 [14]
 [ 2]]

y:
[0 1 1 ... 1 0 1]
```

وكالمعتاد، سنقسم بياناتنا إلى بيانات تدريب و اختبار:

```
</>
from sklearn.model_selection import train_test_split
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X, y, test_size=40, random_state=42
)
print(f'Training set size: {len(y_train)})')
print(f'Test set size: {len(y_test)})')
```

```
Training set size: 344
Test set size: 40
```

تجعل مكتبة scikit-learn إنشاء وضبط النموذج على `X_train` و `y_train` عملية سهلة جداً:

```
</>
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
simple_clf = LogisticRegression()
simple_clf.fit(X_train, y_train)
```

```
LogisticRegression(C=1.0, class_weight=None, dual=False, fit_intercept=True,
                   intercept_scaling=1, max_iter=100, multi_class='ovr', n_jobs=1,
                   penalty='l2', random_state=None, solver='liblinear', tol=0.0001,
                   verbose=0, warm_start=False)
```

عرض أداء النموذج في رسم بياني، سنعرض النقاط الأصلية وتوقعات النموذج للاحتمالية:

```
</>
sns.lmplot(x='shot_distance', y='shot_made',
            data=lebron,
            fit_reg=False, ci=False,
            y_jitter=0.1,
            scatter_kws={'alpha': 0.3})

xs = np.linspace(-2, 32, 100)
ys = simple_clf.predict_proba(xs.reshape(-1, 1))[:, 1]
plt.plot(xs, ys)

plt.title('LeBron Training Data and Predictions')
plt.xlabel('Distance from Basket (ft)')
plt.ylabel('Shot Made');
```



## تقييم المصنف

إحدى الطرق لتقدير أداء النموذج هي بقياس دقة التوقعات: ما هي نسبة التوقعات الصحيحة؟

```
</>
simple_clf.score(X_test, y_test)
```

0.6

يبين أن أداء النموذج متذبذب قليلاً بدقة 0.6 على بيانات الاختبار. إذا قام نموذجنا بالتوقع على كل النقاط بشكل عشوائي، سنتوقع نتيجة الدقة ستكون 0.50. بالأصل، إذا قام نموذجنا ببساطة بتوقع كل محاولة لليبرون، سنحصل على نفس نسبة الدقة:

```
# حساب الدقة إذا كان التوقع 1
np.count_nonzero(y_test == 1) / len(y_test)
```

0.6

لهذا النموذج، استخدمنا متغير واحد من عدد مختلف من المتغيرات في هذه البيانات. في النموذج اللوجستي متعدد المتغيرات، سنحصل على نتائج أكثر دقة باستخدام أكثر من متغير.

## نموذج لوجستي متعدد المتغيرات

الزيادة في عدد المتغيرات الرقمية في النموذج سهل جدًا. على العكس، للمتغيرات من النوع النوعي/التصنيفية، تحتاج لتطبيق One-hot encoding. في الكود البرمجي التالي، أضفنا المزيد من المتغيرات للنموذج وهي `shot_type`, `action_type`, `opponent`, `minute` و `shot_type` باستخدام كلاس `DictVectorizer` في مكتبة scikit-learn لتطبيق `One-hot encoding`:

```
</>
from sklearn.feature_extraction import DictVectorizer
columns = ['shot_distance', 'minute', 'action_type', 'shot_type', 'opponent']
rows = lebron[columns].to_dict(orient='row')
onehot = DictVectorizer(sparse=False).fit(rows)
X = onehot.transform(rows)
y = lebron['shot_made'].values
X.shape
```

(384, 42)

سنقوم مرة أخرى بتقسيم البيانات إلى بيانات تدريب و اختبار:

```
</>
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X, y, test_size=40, random_state=42
)
print(f'Training set size: {len(y_train)}')
print(f'Test set size: {len(y_test)}')
```

Training set size: 344  
Test set size: 40

أخيرًا، نقوم بضبط النموذج مرة أخرى ونتحقق من الدقة:

```
</>
clf = LogisticRegression()
clf.fit(X_train, y_train)
print(f'Test set accuracy: {clf.score(X_test, y_test)}')
```

Test set accuracy: 0.725

دقة هذا النموذج أكثر بـ 12% من النموذج السابق الذي يستخدم متغير واحد. في جزء لاحق، سنستخدم مزيدًا من الأدوات لتقييم أداء النموذج.

## ملخص الانحدار اللوجستي

قمنا بتطوير عمليات حسابية رياضية وحاسوبية لاستخدام الانحدار اللوجستي في التصنيف. يستخدم الانحدار اللوجستي بشكل كبير لسهولة توقعاته وفعاليته في التوقعات.

## تقريب التوزيع الاحتمالي التجاري

في هذا الجزء من الفصل، سنتعرف على تباعد KL (KL divergence) [KL] في التصنيف ذو النتائج الثنائية (Binary 0/1) مماثل لاستخدام تقليل متوسط خسارة الاتروروبا التقاطعية.

بما أن النتائج في الانحدار اللوجستي عبارة عن احتمالات، النموذج اللوجستي ينتج لنا نوعاً معيناً من توزيع الاحتمالات. بشكل خاص، بناءً على المتغيرات المثلالية  $\hat{\theta}$ ، فإنه يقوم بتقييم احتمالية أن النتيجة  $y$  ستكون 1 لقيمة ادخلناها للنموذج  $x$ .

مثلاً، لنفترض أن  $x$  قيمه رقمية تسجل احتمالية سقوط أمطار اليوم و  $y = 1$  تعني أن السيد دو يحتاج لأخذ مظلته معه للعمل. النموذج اللوجستي ذو المتغيرات الرقمية  $\theta$  يتوقع احتمالية إحتياج السيد دو لأخذ مظلته معه إلى العمل بناءً على توقع سقوط الأمطار هذا اليوم:  $\hat{P}_\theta(y = 1|x)$

جمع بيانات استخدام السيد دو لمظلته يوفر لنا طريقة لبناء توزيع احتمالي تجريبي  $P(y = 1|x)$ . مثلاً، إذا كان هناك خمس أيام كانت فيها احتمالية أن حالة الطقس ستكون ماطر هي  $x = 0.60$  وقام السيد دو بأخذ مظلته مره واحدة، فإن  $P(y = 1|x = 0.60) = 0.20$ . يمكننا حساب توزيع مماثل للاحتمالية لكل قيمة  $x$  تظهر في بيانتنا. بشكل طبيعي، بعد ضبط النموذج اللوجستي نزيد أن تكون توقعات نموذجنا قريبة جداً إلى التوزيع الاحتمالي التجاري في البيانات. يعني ذلك، لكل القيم  $x$  في البيانات، نزيد:

$$\hat{P}_\theta(y = 1|x) \approx P(y = 1|x)$$

أحد طرق القياس الأكثر استخداماً لتحديد مدى قرب نتائج توزيعات الاحتمالان هو تباعد كولباك - ليبيلر Kullback–Leibler divergence أو تباعد KL.

## تعريف متوسط تباعد KL

يقوم تباعد KL بحساب الفرق بين توزيع احتمالية  $\hat{P}_\theta$  التي قام بحسابها النموذج اللوجستي بالمتغيرات  $\theta$  مع التوزيع الحقيقي لل نقاط  $P$  في البيانات. يقوم بحساب مدى عدم دقة توقعات النموذج اللوجستي لتوزيعات البيانات.

تباعد KL لتصنيف ثنائي لتوزيعين  $P$  و  $\hat{P}_\theta$  لنقطة واحدة  $(x, y)$  هي:

$$D(P||\hat{P}_\theta) = P(y = 0|x) \ln \left( \frac{P(y = 0|x)}{\hat{P}_\theta(y = 0|x)} \right) + P(y = 1|x) \ln \left( \frac{P(y = 1|x)}{\hat{P}_\theta(y = 1|x)} \right)$$

تباعد KL ليس منتج، مثلاً تباعد  $\hat{P}_\theta$  عن  $P$  ليس نفس تباعد  $P$  عن  $\hat{P}_\theta$ :

$$D(P||\hat{P}_\theta) \neq D(\hat{P}_\theta||P)$$

بما أن هدفنا هو استخدام  $\hat{P}_\theta$  للتوقع التقريبي  $P$ ، فنحن مهتمون بـ  $D(P||\hat{P}_\theta)$ .

القيم المثلية  $\hat{\theta}$ ، والتي أشرنا لها بـ  $\hat{\theta}$ ، تقلل من متوسط تباعد KL لجميع نقاط البيانات  $n$ :

$$\text{Average KL Divergence} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( P(y_i = 0|\mathbf{X}_i) \ln \left( \frac{P(y_i = 0|\mathbf{X}_i)}{\hat{P}_\theta(y_i = 0|\mathbf{X}_i)} \right) + P(y_i = 1|\mathbf{X}_i) \ln \left( \frac{P(y_i = 1|\mathbf{X}_i)}{\hat{P}_\theta(y_i = 1|\mathbf{X}_i)} \right) \right)$$

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} (\text{Average KL Divergence})$$

في المعادلة السابقة، النقطة  $i^{th}$  من نقاط البيانات أشير لها بـ  $(\mathbf{X}_i, y_i)$  فيها  $\mathbf{X}_i$  هي السطر  $i^{th}$  من البيانات  $p \times n$  في مصفوفة البيانات  $\mathbf{X}$  و  $y_i$  هي النتائج التي سبق أن أطلع عليها.

لا يعاقب تباعد KL القيم الشاذة والنادر حدوثها في  $P$ . إذا توقع النموذج احتمالية عالية لحدث نادر الحدوث، فإن كليهما ( $P(k)$  و  $\hat{P}_\theta(k)$ ) التباعد بينهما قليل. ولكن، إذا توقع النموذج احتمالية ضئيلة لحدث كثير الحدوث، فإن التباعد فيه عالي. يمكن أن نستنتج أن النموذج اللوجستي الذي يقوم بتوقعات صحيحة لأحداث كثيرة الحدوث لديه تباعد قليل من  $P$  على عكس نموذج يتوقع أحداث نادرة الحدوث ولكن يختلف بشكل كبير في الأحداث كثيرة الحدوث.

## استنتاج خسارة الانتروربيا التقاطعية من تباعد KL

تشابه بشكل كبير المعادلة السابقة لتباعد KL مع خسارة الانتروربيا التقاطعية. سنعرض الآن في بعض العمليات الرياضية الجبرية أن تقليل متوسط تباعد KL يشابه تقليل متوسط خسارة الانتروربيا التقاطعية.

باستخدام خصائص اللوغاريتمات، يمكننا إعادة كتابة، يمكننا إعادة الكتابة كالتالي:

$$P(y_i = k|\mathbf{X}_i) \ln \left( \frac{P(y_i = k|\mathbf{X}_i)}{\hat{P}_\theta(y_i = k|\mathbf{X}_i)} \right) = P(y_i = k|\mathbf{X}_i) \ln P(y_i = k|\mathbf{X}_i) - P(y_i = k|\mathbf{X}_i) \ln \hat{P}_\theta(y_i = k|\mathbf{X}_i)$$

لاحظ بما أن المصطلح الأول لا يعتمد على  $\theta$ ، فإنه لا يؤثر على  $\arg \min_{\theta}$  ويمكن حذفه من المعادلة. المعادلة الناتجة بعد ذلك هي خسارة الانتروربيا التقاطعية للنموذج  $\hat{P}_\theta$ :

$$\text{Average Cross-Entropy Loss} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n -P(y_i = 0|\mathbf{X}_i) \ln \hat{P}_\theta(y_i = 0|\mathbf{X}_i) - P(y_i = 1|\mathbf{X}_i) \ln \hat{P}_\theta(y_i = 1|\mathbf{X}_i)$$

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} (\text{Average Cross-Entropy Loss})$$

بما أن  $y_i$  هي قيمه معروفة، فإن احتمالية أن:

$$P(y_i = 1|\mathbf{X}_i) = 1$$

تساوي

$$P(y_i = 0 | \mathbf{X}_i) \text{ و } y_i$$

$$\cdot 1 - y_i$$

توزيع احتماليات النموذج  $\hat{P}_{\theta}$  معطية من نتائج الدالة السينية التي سبق أن تعرفنا عليها في جزئية سابقة. بعد القيام بتلك التعويضات في المعادلة، نصل إلى معادلة متوسط خسارة الانتروبيا التقاطعية:

$$\text{Average Cross-Entropy Loss} = \frac{1}{n} \sum_i (-y_i \ln(f_{\theta}(\mathbf{X}_i)) - (1 - y_i) \ln(1 - f_{\theta}(\mathbf{X}_i)))$$

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} (\text{Average Cross-Entropy Loss})$$

### التبير الإحصائي لخسارة الانتروبيا التقاطعية

لدى خسارة الانتروبيا التقاطعية أيضاً أساساً أساسية في علم الإحصاء. بما أن الانحدار اللوجستي يتوقع احتمالات، لو سلمنا لها نموذج لوجستي يمكننا أن نسأل، "ما هي احتمالية أن هذا النموذج يكون لنا تلك المجموعة من البيانات التي سبق أن أطلع عليها؟" يمكننا بشكل طبيعي التعديل في المتغيرات للنموذج حتى تكون احتمالية حصولنا على بياناتنا كنتائج من النموذج عالية جداً. على الرغم من أنها لن ثبت ذلك في هذا الفصل، ولكن تطبيق ذلك مشابه للتقليل من خسارة الانتروبيا التقاطعية، هذا التفسير الإحصائي هو أقصى احتمال *maximum likelihood* لخسارة الانتروبيا التقاطعية.

### ملخص تبیر خسارة الانتروبيا التقاطعية

يمكن القول إن متوسط تباعد KL هو متوسط الفرق اللوغاريتمي بين توزيعان  $P$  و  $\hat{P}_{\theta}$  تم وزنها باستخدام  $P$ . التقليل من متوسط تباعد KL أيضاً يقلل من متوسط خسارة الانتروبيا التقاطعية. يمكننا التقليل من تباعد نموذج الانحدار اللوجستي عن طريق اختيار المتغيرات التي تصنف البيانات الشائعة بشكل صحيح.

## ضبط النموذج اللوجستي

تحدثنا في جزء سابق عن التزول الاشتتقاقي بدفعات **Batch Gradient Descent**، إحدى الخوارزميات التي تقوم بتحديث قيمة  $\theta$  بشكل متكرر حتى قيمة المتغير  $\theta$  التي تقلل من الخسارة. وأيضاً تحدثنا عن التزول الاشتتقاقي العشوائي **Stochastic Gradient Descent** و التزول الاشتتقاقي بدفعات صغيرة **Mini-Batch Gradient Descent** من النظرية الإحصائية والحوسبة المتوازية للتقليل من الوقت لتدريب خوارزمية التزول الاشتتقاقي. في هذا الجزء، سنطبق هذه المفاهيم في الانحدار اللوجستي ونأخذ مثلاً على ذلك باستخدام دوال مكتبة `scikit-learn`.

### التزول الاشتتقاقي بدفعات

دالة التحديث العامة في التزول الاشتقاقي بدفعات معطية كالتالي:

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \cdot \nabla_{\theta} L(\theta^{(t)}, \mathbf{X}, \mathbf{y})$$

في الانحدار الخطى، نستخدم خسارة الانتروبيا التقاطعية كدالة خسارة:

$$L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (-y_i \ln(f_{\theta}(\mathbf{X}_i)) - (1 - y_i) \ln(1 - f_{\theta}(\mathbf{X}_i)))$$

الاشتقاق لخسارة الانتروبيا التقاطعية هو  $\nabla_{\theta} L(\theta, \mathbf{X}, \mathbf{y}) = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i$ . تعويض ذلك في دالة التحديث يسمح لنا بإيجاد خوارزمية التزول الاشتقاقي الخاصة للانحدار اللوجستي. يجعل  $\theta$  :

$$\begin{aligned} \theta^{(t+1)} &= \theta^{(t)} - \alpha \cdot \left( -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i \right) \\ &= \theta^{(t)} + \alpha \cdot \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i \right) \end{aligned}$$

\*  $\theta$  هي القيمة الحالية المقدرة لـ  $\theta$  في التكرار  $t$ .

\*  $\alpha$  هي معدل التعلم.

\*  $\sum_{i=1}^n (y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i$  هي مشتقة خسارة الانتروبيا التقاطعية.

\*  $\theta^{(t+1)}$  هي القيمة المقدرة التالية لـ  $\theta$  والتي تم حسابها بطرح نتيجة ضرب  $\alpha$  و خسارة الانتروبيا التقاطعية التي تم حسابها في  $\theta^{(t)}$ .

### التزول الاشتقاقي العشوائي

يقرب التزول الاشتقاقي العشوائي من مشتقة دالة الخسارة في جميع النقاط باستخدام مستشفى الخسارة لنقطة واحدة. دالة التحديث العامة كالتالي، وفيها  $\ell(\theta, \mathbf{X}_i, y_i)$  هي دالة الخسارة لنقطة واحدة:

$$\boldsymbol{\theta}^{(t+1)} = \boldsymbol{\theta}^{(t)} - \alpha \nabla_{\boldsymbol{\theta}} \ell(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{X}_i, y_i)$$

بالعودة للمثال في الانحدار اللوجسي، نقوم بتقريب مشتقة خسارة الانتروبيا التقاطعية لجميع النقاط باستخدام خسارة الانتروبيا التقاطعية لنقطة واحدة. يظهر ذلك في المعادلة التالية، والتي فيها ( $\sigma_i = f_{\boldsymbol{\theta}}(\mathbf{X}_i) = \sigma(\mathbf{X}_i \cdot \boldsymbol{\theta})$ ):

$$\begin{aligned}\nabla_{\boldsymbol{\theta}} L(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{X}, \mathbf{y}) &\approx \nabla_{\boldsymbol{\theta}} \ell(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{X}_i, y_i) \\ &= -(y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i\end{aligned}$$

عندما نقوم بتعويض التقريب إلى المعادلة العامة للنزول الاشتقaci العشوائي للنزول الاشتقaci العشوائي للانحدار اللوجسي:

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\theta}^{(t+1)} &= \boldsymbol{\theta}^{(t)} - \alpha \nabla_{\boldsymbol{\theta}} \ell(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{X}_i, y_i) \\ &= \boldsymbol{\theta}^{(t)} + \alpha \cdot (y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i\end{aligned}$$

### النزول الاشتقaci بدفعات صغيرة

بشكل مماثل، يمكننا تقريب مشتقة خسارة الانتروبيا التقاطعية لجميع النقاط باستخدام عينة عشوائية من البيانات، تعرف أيضاً بـ الدفعات الصغيرة.



$$\nabla_{\boldsymbol{\theta}} L(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{X}, \mathbf{y}) \approx \frac{1}{|\mathcal{B}|} \sum_{i \in \mathcal{B}} \nabla_{\boldsymbol{\theta}} \ell(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{X}_i, y_i)$$

نقوم بتعويض هذا التقريب لمشتقة خسارة الانتروبيا التقاطعية، ينتج عن ذلك دالة التحديث للنزول الاشتقaci بدفعات صغيرة للانحدار اللوجسي:

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\theta}^{(t+1)} &= \boldsymbol{\theta}^{(t)} - \alpha \cdot \frac{1}{|\mathcal{B}|} \sum_{i \in \mathcal{B}} (y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i \\ &= \boldsymbol{\theta}^{(t)} + \alpha \cdot \frac{1}{|\mathcal{B}|} \sum_{i \in \mathcal{B}} (y_i - \sigma_i) \mathbf{X}_i\end{aligned}$$

### التطبيق في مكتبة Scikit-learn

الكلas `SGDClassifier` في مكتبة scikit-learn يساعد على تنفيذ النزول الاشتقaci العشوائي، يمكننا استخدامه بتحديد `loss='log'`. بما أن `LogisticRegression` لا تحتوي على نموذج لتطبيق النزول الاشتقaci بدفعات صغيرة، سنقوم بمقارنة أداء `SGDClassifier` مع `LogisticRegression` على بيانات البريد الإلكتروني emails\_sgd.csv. سنتختصر جزئياً اختبار الخصائص ولن نشرحها:

لتحميل البيانات emails\_sgd.csv [اضغط هنا](#).

```
</>

from sklearn.feature_extraction.text import CountVectorizer
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.linear_model import SGDClassifier

# تحميل البيانات
emails = pd.read_csv('emails_sgd.csv').sample(frac=0.5)

# اختيار الخصائص ثم تحويلها لقيم رقمية
X, y = emails['email'], emails['spam']
X_tr = CountVectorizer().fit_transform(X)

# تقسيم البيانات لتدريب وإختبار
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_tr, y, random_state=42)

y_train = y_train.reset_index(drop=True)
y_test = y_test.reset_index(drop=True)

# ضبط النموذج
log_reg = LogisticRegression(tol=0.0001, random_state=42)
stochastic_gd = SGDClassifier(tol=0.0001, loss='log', random_state=42)
```

```
</>

%%time

from sklearn.metrics import accuracy_score, precision_score, recall_score

log_reg.fit(X_train, y_train)
log_reg_pred = log_reg.predict(X_test)
print('Logistic Regression')
print(' Accuracy: ', accuracy_score(y_test, log_reg_pred))
print(' Precision: ', precision_score(y_test, log_reg_pred))
print(' Recall: ', recall_score(y_test, log_reg_pred))
print()
```

```

Logistic Regression
Accuracy:  0.9913793103448276
Precision: 0.974169741697417
Recall:    0.9924812030075187

CPU times: user 3.2 s, sys: 0 ns, total: 3.2 s
Wall time: 3.26 s

```

```

</>

%%time

stochastic_gd.fit(X_train, y_train)
stochastic_gd_pred = stochastic_gd.predict(X_test)
print('Stochastic GD')
print(' Accuracy: ', accuracy_score(y_test, stochastic_gd_pred))
print(' Precision: ', precision_score(y_test, stochastic_gd_pred))
print(' Recall:    ', recall_score(y_test, stochastic_gd_pred))
print()

```

```

Stochastic GD
Accuracy:  0.9808429118773946
Precision: 0.9392857142857143
Recall:    0.9887218045112782

CPU times: user 93.8 ms, sys: 31.2 ms, total: 125 ms
Wall time: 119 ms

```

النتائج السابقة تظهر أن النموذج `SGDClassifier` استطاع إيجاد نتيجة في وقت أقل من `LogisticRegression`. على الرغم من أن نتائج تقييم النموذج `SGDClassifier` أسوأ قليلاً، إلا أنها تستطيع تحسين أداء النموذج `SGDClassifier` عبر ضبط الخصائص. أيضاً، هذه من المقاييسات التي عادة ما يواجهها عالم البيانات. بناءً على الوضع، يقوم عالم البيانات بإعطاء قيمة أعلى لسرعة إيجاد النتائج عن أداء

### ملخص ضبط النموذج اللوجستي

يستخدم علماء البيانات التزول الاشتقافي العشوائي للتقليل من تكلفة التشغيل والوقت. يمكننا مشاهدة ذلك في الانحدار اللوجستي، بما أن علينا فقط حساب مشتقة خسارة الانتروبيا التقاطعية لقيمة واحدة في كل تكرار بدلاً من كل القيم في التزول الاشتقافي بدقائق. في المثال السابق عند استخدام `SGDClassifier` والنموذج `scikit-learn`، رأينا أن التزول الاشتقافي العشوائي كانت نتائج أداءه أسوأ بعض الشيء، ولكن كان أفضل من ناحية الوقت والسرعة بشكل كبير. في بيانات بحجم كبير ونماذج أكثر تعقيداً، الفرق في الوقت وسرعة إيجاد النتائج قد يكون أكبر وبذلك يكون أكثر أهمية.

### تقييم النموذج اللوجستي

على الرغم من استخدامنا للدقة `Accuracy` لتقدير أداء النموذج اللوجستي في الجزء السابق، استخدام الدقة فقط يسبب بعض المشاكل التي سنطرق لها في هذا الجزء من الفصل. للبدء في التحدث عن هذه المشاكل، سنتعرف على أداء آخر لقياس أداء النموذج: المساحة أسفل المنحنى  (`AUC`). **(Under Curve (AUC))**

لنفترض أن لدينا بيانات 1000 بريد إلكتروني وتم تحديدها إذا كانت رسائل بريد مزعجة أم لا وهدفنا هو بناء نموذج ليفرق بين الرسائل الجديدة التي تصل لنا إذا كانت مزعجة أو لا. لنستعرض البيانات:

لتحميل البيانات `selected_emails.csv` اضغط هنا [\[here\]](#).

```

from sklearn.feature_extraction import DictVectorizer
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.metrics import accuracy_score
from sklearn.metrics import confusion_matrix
import pandas as pd

emails=pd.read_csv('selected_emails.csv', index_col=0)

emails

```

	body	spam
0	...n Hi Folks,\n \n I've been trying to set a bu\	0
1	...Hah. I guess she doesn't want everyone to kno	0
2	...This article from NYTimes.com \n has been sent	0
...	...	...

	body	spam
997	...html>\n<head>\n<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8"/>\n<title>Subject</title>\n<body>\n\n	1
998	...html>\n<head>\n</head>\n<body>\n\n	1
999	...n <html>\n\n<head>\n<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8"/>\n<title>Subject</title>\n<body>\n\n	1

1000 rows x 2 columns

كل سطر يحتوي على محتوى رسالة البريد الإلكتروني في العمود body وما إذا كانت رسالة البريد مزعجة أو لا في العمود spam، فيه 0 يعني أن الرسالة سلية و 1 يعني أن الرسالة مزعجة.

لنبدأ بتقييم أداء 3 نماذج مختلفة:

- ham\_only: يقيم كل رسالة بريد بأنها غير مزعجة "ham".
- spam\_only: يقيم كل رسالة بريد بأنها مزعجة "spam".
- words\_list\_model: يتوقع الرسالة مزعجة أو لا بناءً على توفر كلمات معينة في محتواها.

لنفترض أن لدينا مصفوفة الكلمات words\_list تتوقع أنها تستخدم كثيراً في الرسائل المزعجة: "رجاءً", "please", "أضغط", "click", "مال", "business", "تجارة", "و", "remove". نبني نموذج "ham\_only" باستخدام الخطوات التالية: تحويل كل رسالة بريد إلى مصفوفة من الخصائص، بعد فصل الكلمات نحدد القيمة إلى 1 في حال وجدت الكلمة في قائمة الكلمات words\_list و 0 إذا لم تكن موجودة. مثلاً، عندما نستخدم الخمس كلمات السابقة وإذا وصلت لنا رسالة بريد إلكتروني محتواها "please remove by tomorrow" فإن مصفوفة الخصائص الناتجة ستكون [1, 0, 0, 0, 1]. تطبيق ذلك ينتج لنا مصفوفة خصائص X ذات حجم 5 × 1.

ال코드 البرمجي التالي يظهر دقة النماذج. تم تجاهل شرح جزئية إنشاء النماذج وتدربيها للاختصار:

```
</>
# تعريف كلمات الرسائل المزعجة
words_list = ['please', 'click', 'money', 'business', 'remove']

X = pd.DataFrame(words_in_texts(words_list, emails['body'].str.lower())).values
y = emails['spam'].values

# فصل البيانات لتدريب وإختبار
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X, y, random_state=42, test_size=0.2
)

# ضبط النموذج
words_list_model = LogisticRegression(fit_intercept=True)
words_list_model.fit(X_train, y_train)

y_prediction_words_list = words_list_model.predict(X_test)
y_prediction_ham_only = np.zeros(len(y_test))
y_prediction_spam_only = np.ones(len(y_test))

print(f'ham_only test set accuracy: {np.round(accuracy_score(y_prediction_ham_only, y_test), 3)}')
print(f'spam_only test set accuracy: {np.round(accuracy_score(y_prediction_spam_only, y_test), 3)}')
print(f'words_list_model test set accuracy: {np.round(accuracy_score(y_prediction_words_list, y_test), 3)}')
```

```
ham_only test set accuracy: 0.96
spam_only test set accuracy: 0.04
words_list_model test set accuracy: 0.96
```

في المثال السابق، عرف الكاتب الدالة words\_in\_texts والتي تستقبل الكلمات والنص كمتغيرات على شكل مصفوفات، ونتيجتها مصفوفة من 0 و 1، 0 في حال لم تكن الكلمة موجودة في النص، و 1 في حال كانت موجودة:

```
</>
def words_in_texts(words, texts):
    indicator_array = np.array([texts.str.contains(word) * 1 for word in words]).T
    return indicator_array
```

النموذج words\_list\_model كان تصنيفه صحيح بنسبة 96% على بيانات الاختبار، على الرغم من أن الدقة لهذا النموذج تبدو عالية، إلا أن النموذج ham\_only حصل على نفس النتيجة عن طريق تحديد كل الرسائل كرسائل غير مزعجة. بسبب ذلك بعض المشاكل لأن النتائج هذه توضح أن بإمكاننا الحصول على نفس النتائج دون استخدام نموذج وفتلة الرسائل.

كما تظهر نتائج الدقة السابقة، قد تضللنا بعض نتائج أداء النماذج. يمكننا التأكد من دقة توقعات النموذج بشكل أدق باستخدام مصفوفة الدقة Confusion Matrix. مصفوفة الدقة لنموذج ثالث النتائج (0/1) هي خريطة حرارية heatmap ذات مقاسات 2×2 تحتوي على نتائج التوقعات في محور و النتائج الحقيقة في المحور الآخر.

كل قيمة في مصفوفة الدقة عبارة عن النتائج المحتملة للنموذج. إذا تم إدخال رسالة بريد إلكتروني مزعجة إلى النموذج، فإن لدينا احتمالان:

- True Positive (TP) (القيمة اليسار في الأعلى): توقع النموذج كان صحيح للرسالة بتحديدها كمزعجة.

- **القيمة البائنة في الأعلى (False Negative FN)**: توقع النموذج كان خاطئ بتوقعها كرسالة غير مزعجة، كونها من المفترض أن يتم تصنيفها كرسالة مزعجة. في حالتنا، توقع خاطئ يعني أن رسالة مزعجة تم تحديدها كرسالة غير مزعجة ووصلت إلى صندوق بريدنا الرئيسي **Inbox**. بنفس الطريقة، إذا تم إدخال رسالة بريد إلكتروني غير مزعجة إلى النموذج، سيكون لدينا احتمالان:

- **القيمة اليسار في الأسفل (False Positive FP)**: توقع النموذج كان خاطئ بتحديد الرسالة كرسالة مزعجة وهي عكس ذلك كونها مصنفة غير مزعجة. في حالتنا، هذا التصنيف يعني أن الرسالة ستصل إلى البريد المزعج في بريدنا الإلكتروني ولن تصل للبريد الرئيسي **Inbox**.
- **القيمة اليمين في الأسفل (True Negative TN)**: توقع النموذج كان صحيح للرسالة بتحديدها كغير مزعجة.

سبق أن شرحت هذه المفاهيم في تدوينة على الرابط التالي: [هذا](#)، يمكن اختصار الشرح في الجدول التالي:

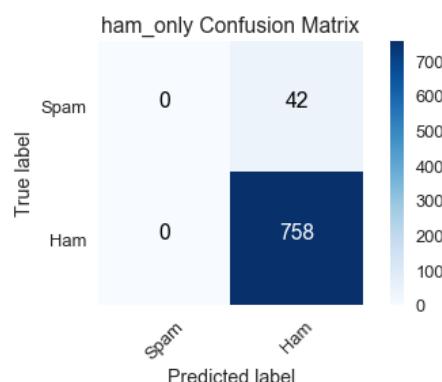
Example of a confusion matrix		Predicted		التوقع
		Yes	No	
Actual	Yes	<b>True Positive</b> Yes توقع Yes والنتيجة الحقيقة	<b>False Negative</b> No توقع Yes والنتيجة الحقيقة	<a href="#">alioh.com</a>
	No	<b>False Positive</b> Yes توقع No والنتيجة الحقيقة	<b>True Negative</b> No توقع No والنتيجة الحقيقة	

مع الأخذ بالإعتبار أن الشكل النهائي قد يختلف ويتم عكس الأعمدة Yes/No مثلاً.

تكلفة التوقع الخاطئ **False Positive** و **False Negative** تعتمد على ما نعمل عليه. في تصنيف رسائل البريد الإلكتروني، التصنيف الخاطئ **False Positive** يقوم بتحديد رسائل بريد إلكترونية مهمة كمزعجة وبالتالي يتم تجاهلها وعدم وضعها في البريد الرئيسي، لذا هي أسوأ من **False Negative** والذي فيه توضع الرسائل المزعجة في البريد الرئيسي. في المجال الطبي مثلاً، التوقع الخاطئ **False Negative** في تشخيص اختبار ما قد يكون أكثر أهمية من التوقع الخاطئ **False Positive**.

سنستخدم دالة **confusion\_matrix** في مكتبة **scikit-learn** لإنشاء مصفوفة الدقة للنماذج الثلاثة باستخدام بيانات التدريب. نتائج النموذج **ham\_only** كالتالي:

```
from sklearn.metrics import confusion_matrix
class_names = ['Spam', 'Ham']
ham_only_cnf_matrix = confusion_matrix(y_train, ham_only_y_pred, labels=[1, 0])
plot_confusion_matrix(ham_only_cnf_matrix, classes=class_names,
                      title='ham_only Confusion Matrix')
```



استخدم الكاتب الدالة **plot\_confusion\_matrix** للمساعدة على الرسم والمتغير **ham\_only\_y\_pred** لتحديد جميع القيم كغير مزعجة وعرفهما كالتالي:

&lt;/&gt;

```

def plot_confusion_matrix(cm, classes,
                        normalize=False,
                        title='Confusion matrix',
                        cmap=plt.cm.Blues):
    """
    ترسم هذه الدالة مصفوفة الدقة
    يمكن تبسيط النتائج باستخدام المتغير
    `normalize=True` .
    """
    import itertools
    if normalize:
        cm = cm.astype('float') / cm.sum(axis=1)[:, np.newaxis]

    plt.imshow(cm, interpolation='nearest', cmap=cmap)
    plt.title(title)
    plt.colorbar()
    tick_marks = np.arange(len(classes))
    plt.xticks(tick_marks, classes, rotation=45)
    plt.yticks(tick_marks, classes)

    fmt = '.2f' if normalize else 'd'
    thresh = cm.max() / 2.
    for i, j in itertools.product(range(cm.shape[0]), range(cm.shape[1])):
        plt.text(j, i, format(cm[i, j], fmt),
                 horizontalalignment="center",
                 color="white" if cm[i, j] > thresh else "black")

    plt.tight_layout()
    plt.ylabel('True label')
    plt.xlabel('Predicted label')
    plt.grid(False)

ham_only_y_pred = np.zeros(len(y_train))
spam_only_y_pred = np.ones(len(y_train))
words_list_model_y_pred = words_list_model.predict(X_train)

```

نجمع من الرسم البياني السابق مجموع النتائج في الصنف لبيانات التدريب ونرى إذا تم تصنفيها في التصنيف الذي تنتهي إليه:

- **True label = spam** (السطر الأول): مجموع الرسائل التي تم توقعها كمزعجة وهي فعلاً مزعجة (0) (True Positive)، والناتج التي تم توقعها كغير مزعجة وهي في الحقيقة مزعجة (42) (False Negative)، يظهر لذلك أن هناك 42 رسالة بريد إلكتروني مزعجة في بيانات التدريب.
- **True label = ham** (السطر الثاني): مجموع الرسائل التي توقعها كمزعجة وهي في الحقيقة غير مزعجة (0) (False Positive)، وبليها توقعات الرسائل التي كانت غير مزعجة وهي فعلاً غير مزعجة (758) (True Negative)، يعني ذلك أن هناك 758 رسالة بريد غير مزعجة في بيانات التدريب.

نجمع من الرسم البياني السابق مجموع النتائج في الأعمدة لبيانات التدريب ونرى أداء النموذج في توقع تصنفيها الذي تنتهي إليه:

- **Predicted label = spam** (العمود الأول): مجموع توقعات الرسائل التي تم توقعها كمزعجة وهي فعلاً مزعجة (0) (True Positive)، مجموع توقعات الرسائل التي توقعها كغير مزعجة وهي في الحقيقة غير مزعجة (0) (False Positive) يظهر أن توقعات ham\_only أنه لا يوجد أي رسالة بريد إلكتروني مزعجة في بيانات التدريب.
- **Predicted label = ham** (العمود الثاني): مجموع التوقعات التي تم توقعها كغير مزعجة وهي في الحقيقة مزعجة (42) (False Negative)، مجموع توقعات الرسائل التي كانت غير مزعجة وهي فعلاً غير مزعجة (758) (True Negative) يظهر أن توقعات ham\_only أن هناك 800 رسالة بريد إلكتروني غير مزعجة في بيانات التدريب.

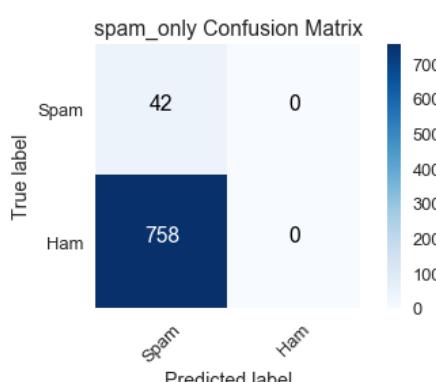
نرى أن النموذج ham\_only لديه دقة عالية ( $\frac{758}{800} \approx .95$ ) لأن هناك 758 رسالة بريد إلكتروني غير مزعجة في بيانات التدريب من أصل 800.

&lt;/&gt;

```

spam_only_cnf_matrix = confusion_matrix(y_train, spam_only_y_pred, labels=[1, 0])
plot_confusion_matrix(spam_only_cnf_matrix, classes=class_names,
                      title='spam_only Confusion Matrix')

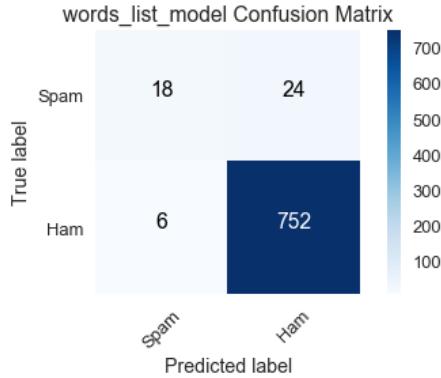
```



في الجانب الآخر، النموذج `spam_only` كانت توقعاته أن بيانات التدريب لا تحتوي على أي رسالة بريد إلكتروني غير مزعجة `ham`، وكما هو واضح في مصفوفة الدقة النتائج أبعد ما تكون عن الحقيقة والتي فيها 758 رسالة بريد إلكتروني غير مزعجة.

لنلقي نظرة على النموذج الذي يهمنا `words_list_model` ونتيجة مصفوفة الدقة:

```
</>
words_list_model_cnf_matrix = confusion_matrix(y_train, words_list_model_y_pred, labels=[1, 0])
plot_confusion_matrix(words_list_model_cnf_matrix, classes=class_names,
                      title='words_list_model Confusion Matrix')
```



مجموع الصنفوف مطابق لتلك في النتائج في مصفوفات الدقة للنماذج `spam_only` و `ham_only` كما هو متوقع لأن النتائج الحقيقية للمجموع في بيانات التدريب لن تتغير مهما تغير النموذج.

من بين الـ 42 رسالة بريد مزعج، توقع النموذج `words_list_model` بشكل صحيح 18 رسالة، وهذا أداء سيء. دقته العالية كانت بسبب العدد الكبير المتوقع للنتائج الصحيحة للرسائل غير مزعجة `True Negative`. يعتبر ذلك غير كافٍ لأنه لا يفي بالغرض في قائمة رسائل البريد المزعجة.

بيانات رسائل البريد الإلكتروني هي مثال على بيانات ذات تصميف غير المتوازن **Class-imbalanced dataset**، فيها الكثير من التصنيفات تتبع لتصنيف أكثر من الآخر. في حالة بيانات البريد الإلكتروني، فإن الكثير من الرسائل تم تصنيفها كغير مزعجة. مثل آخر منتشر هو في بيانات اكتشاف الأمراض عندما يكون انتشار المرض في المجتمع الإحصائي قليل. نسبة الحصول على نتيجة أن المريض ليس لديه المرض عند إجراء الفحص الطبي أعلى سبب أن الكثير من المرضى ليس لديهم المرض، عدم قدرته على كشف المرضي بذلك المرض يظهر عدم فائدة النموذج.



تننتقل الآن إلى الحساسية والنوعية، طرق قياس مناسبة لبيانات ذات التصنيف غير المتوازن.

## الحساسية

تسمى الحساسية **Sensitivity** أيضاً بـ **Mعدل التوقع والنتيجة الإيجابيان True Positive Rate** يقيس نسبة البيانات التي تتبع إلى التصنيف الإيجابي وتوقعها النموذج بشكل صحيح:

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN}$$

في حديثنا السابق عن مصفوفات الدقة، فيجب عليك الآن أن تكون قد تعرفت على المصطلحات  $TP + FN$  وهي مجموع القيم في الصفر الأول، وهي تساوي المجموع الحقيقي للبيانات التي تتبع إلى التصنيف الإيجابي **Positive Class**. استخدام مصفوفات الدقة يسهل علينا مقارنة الحساسية في النماذج:

$$\begin{aligned} \frac{0}{0+42} &= 0 : \text{ham\_only} & \bullet \\ \frac{42}{42+0} &= 1 : \text{spam\_only} & \bullet \\ \frac{18}{18+24} &\approx .429 : \text{words\_list\_model} & \bullet \end{aligned}$$

بما أن النموذج `ham_only` لم يكون فيه أي قيمة صحيحة في العمود `True Positive`، فحصل على أسوأ النتائج 0 في الحساسية. على الجانب الآخر، النموذج `spam_only` كانت الدقة فيه قليلة جداً إلا أنه حسب على أفضل النتائج في الحساسية 1 لأنه توقع جميع رسائل البريد المزعجة بشكل صحيح. النتيجة المتدنية للنموذج `words_list_model` تعني أنه عادة ما يفشل في توقع رسائل البريد الإلكتروني كمزعجة؛ ولكن على العكس، النموذج أفضل بكثير من النموذج `.ham_only`.

## النوعية

تسمى النوعية **Specificity** أيضاً بـ **Mعدل التوقع والنتيجة السلبية True Negative Rate** يقيس نسبة البيانات التي تتبع إلى التصنيف السلبي وتتوقعها النموذج بشكل صحيح:

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP}$$

المصطلح  $TN + FP$  يساوي المجموع الحقيقي للبيانات التي تتبع إلى التصنيف السلبي **Negative Class**. مرة أخرى، استخدام مصفوفات الدقة يسهل علينا مقارنة النوعية في النماذج:

$$\begin{aligned} \frac{758}{758+0} &= 1 : \text{ham\_only} & \bullet \\ \frac{0}{0+758} &= 0 : \text{spam\_only} & \bullet \\ \frac{752}{752+6} &\approx .992 : \text{words\_list\_model} & \bullet \end{aligned}$$

كما في الحساسية، النتائج من 0 إلى 1 من الأسوأ إلى الأفضل. لاحظ أن `ham_only` حصل على أفضل النتائج في النوعية وأسوأ النتائج في الحساسية، بينما `spam_only` حصل على أسوأ النتائج في النوعية والأفضل في الحساسية. بما أن هذه النتائج تتوقع نتيجة واحدة فقط، فإنها تميّز جميع القيم من التصنيف الآخر بشكل خاطئ، يظهر ذلك في القيم العالية للنوعية والحساسية. الفرق في النتائج في النموذج `words_list_model` أقل.

على الرغم أن الحساسية والتصنّيف تعرّفنا على خصائص مختلفة في النموذج، نحتاج أن نربط تلك النتائج في أدوات التقييم مع بعضها البعض باستخدام حد فصل التصنّيف

## حد فصل التصنّيف

قيمة حد فصل التصنّيف **Classification Threshold** تحدّد أي تصنيف تنتهي إليه قيمة ما؛ القيم على الجانبين المختلفين من حد الفصل يتم يختلف تصنيفها عن بعضها. لنذكر أن النتائج في الانحدار اللوجستي عبارة عن احتماليات إذا كانت النقطة تنتهي إلى التصنّيف الإيجابي. إذا كانت الاحتمالية أكبر من حد الفصل، فإنها تنتهي إلى التصنّيف الإيجابي، إذا كانت أقل من حد الفصل، فإنها تنتهي إلى التصنّيف السلبي. في مثالنا، نجعل  $f_{\theta}(x)$  نموذجنا اللوجستي و  $C$  هو حد الفصل. إذا كانت  $f_{\theta}(x) > C$ ، فإن  $x$  تصنّف رسالة بريد مزعجة؛ إذا كانت  $f_{\theta}(x) < C$ ، فإن  $x$  تصنّف كرسالة غير مزعجة. تفصيل مكتبة scikit-learn عند تعادل النتيجة مع حد الفصل للتصنّيف السلبي، إذاً عندما تكون  $f_{\theta}(x) = C$ ، فإن  $x$  يتم تصنيفها كرسالة غير مزعجة.



يمكّنا تقييم أداء النموذج مع حد الفصل  $C$  باستخدام مصفوفة الدقة. مصفوفة الدقة للنموذج `words_list_model` التي سبق أن عرضناها تستخدم القيمة الافتراضية لحد الفصل في مكتبة scikit learn.

الرُّفع من حد الفصل إلى  $C = 0.70$ . يعني أننا نصنّف رسالة البريد الإلكتروني  $x$  كمزعجة عندما تكون الاحتمالية  $f_{\theta}(x)$  أعلى من 0.70. النتائج لمصفوفة الدقة عندما يكون حد الفصل 0.70. كالتالي:

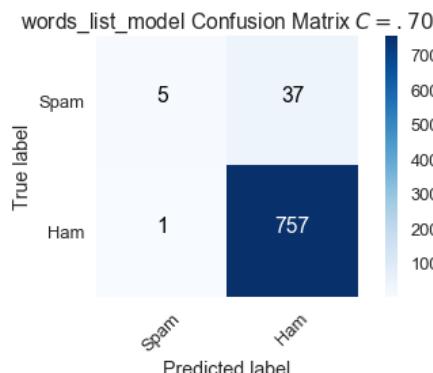
```
</>

# إيجاد احتماليات التوقع
words_list_prediction_probabilities = words_list_model.predict_proba(X_train)[:, 1]

# عندما تكون الاحتمالية أكبر من .70 محدد رسالة البريد كرسالة مزعجة، والعكس غير ذلك
words_list_predictions = [1 if pred >= .70 else 0 for pred in words_list_prediction_probabilities]

# إنشاء مصفوفة الدقة
high_classification_threshold = confusion_matrix(y_train, words_list_predictions, labels=[1, 0])

# رسم مصفوفة الدقة
plot_confusion_matrix(high_classification_threshold, classes=class_names,
                      title='words_list_model Confusion Matrix $C = .70$')
```



عند رفع حد الفصل لتحديد ما إذا كانت رسالة البريد الإلكتروني مزعجة أم لا، يوجد 13 رسالة بريد مزعجة تم تحديدها بشكل صحيح عندما كانت  $C = 0.50$  والآن هي مصنفة بشكل خطأ.

$$\begin{aligned} \text{Sensitivity } (C = .70) &= \frac{5}{42} \approx .119 \\ \text{Specificity } (C = .70) &= \frac{757}{758} \approx .999 \end{aligned}$$

عند المقارنة بالقيمة الافتراضية، قيمة حد فصل أعلى عند  $C = 0.70$  تزيد من النوعية وتقلل من الحساسية.

التقليل من حد الفصل إلى  $C = 0.30$ . يعني أن أي رسالة بريد إلكتروني  $x$  تصنّف كمزعجة عندما تكون الاحتمالية  $f_{\theta}(x)$  أكبر من 0.30. نتيجة مصفوفة الدقة كالتالي:

```
</>

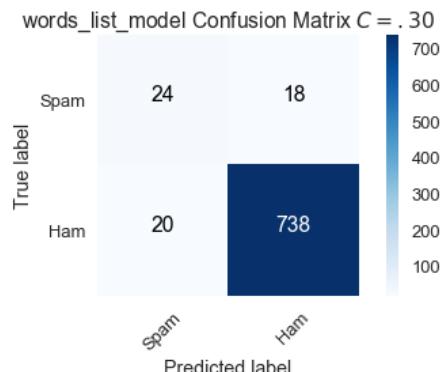
# عندما تكون الاحتمالية أكبر من .30. محدد رسالة البريد كرسالة مزعجة، والعكس غير ذلك
words_list_predictions = [1 if pred >= .30 else 0 for pred in words_list_prediction_probabilities]
```

```

إنشاء مصفوفة الدقة
low_classification_threshold = confusion_matrix(y_train, words_list_predictions, labels=[1, 0])

رسم مصفوفة الدقة
plot_confusion_matrix(low_classification_threshold, classes=class_names,
                      title='words_list_model Confusion Matrix $C = .30$')

```



عند التقليل من حد الفصل لرسائل البريد الإلكتروني المزعجة، تم تصنيف 6 رسائل بريد إلكتروني مزعجة كانت مصنفة بشكل خاطئ عندما كانت  $C = .50$ . وهي الآن مصنفة بشكل صحيح. ولكن، هناك عدد أكبر من القيم السلبية في الحقيقة وتم توقعها إيجابياً :False Positive

$$\text{Sensitivity } (C = .30) = \frac{24}{42} \approx .571$$

$$\text{Specificity } (C = .30) = \frac{738}{758} \approx .974$$

بالمقارنة مع القيمة الافتراضية، حد فصل أقل عند  $C = .30$ . زاد من الحساسية وقلل من النوعية.

نقوم بالتعديل من نتائج الحساسية والنوعية للنموذج عن طريق تعديل حد الفصل. على الرغم أننا نرغب في الحصول على أفضل النتائج في الحساسية والنوعية، يمكن أن نرى من مصفوفات الدقة بحدود فصل مختلفة أن هناك مقايسة تحدث. الزيادة في الحساسية تؤدي إلى النقص في النوعية والعكس.

## منحنى ROC

يمكننا حساب الحساسية والنوعية أياً كانت قيمة حد الفصل بين 0 و 1 ورسمها. كل قيمة لحد الفصل  $C$  مرتبطة بالحساسية والنوعية معاً. منحنى خصائص تشغيل المستقيّل ROC (Receiver Operating Characteristic Curve) يختلف بعض الشيء؛ بدلاً من رسم النقطة (الحساسية والنوعية)، يرسم (الحساسية، 1-النوعية)، وفيها 1-النوعية معرفة بمعدل القيم السلبية التي تم توقعها إيجابياً :False Positive

$$\text{False Positive Rate} = 1 - \frac{TN}{TN + FP} = \frac{TN + FP - TN}{TN + FP} = \frac{FP}{TN + FP}$$

نقطة في منحنى ROC تمثل الحساسية ومعدل القيم السلبية التي تم توقعها إيجابياً False Positive المرتبطة بقيمة حد الفصل.

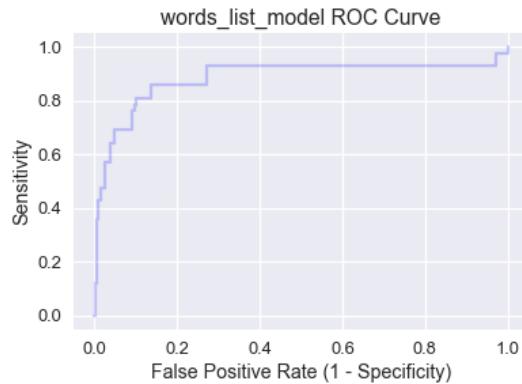
منحنى ROC لنموذج scikit-learn يمكن حسابها باستخدام دالة `roc_curve` في مكتبة scikit-learn

```

from sklearn.metrics import roc_curve

words_list_model_probabilities = words_list_model.predict_proba(X_train)[:, 1]
false_positive_rate_values, sensitivity_values, thresholds = roc_curve(y_train, words_list_model_probabil:
plt.step(false_positive_rate_values, sensitivity_values, color='b', alpha=0.2,
          where='post')
plt.xlabel('False Positive Rate (1 - Specificity)')
plt.ylabel('Sensitivity')
plt.title('words_list_model ROC Curve')

```



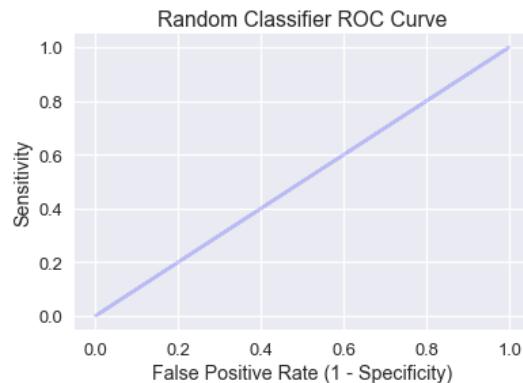
لاحظ أنتاً كلما انتقلنا من اليسار إلى اليمين عبر المنحنى، تزيد الحساسية وتقل النوعية. بشكل عام، أفضل حد للفصل تتفاوت عندما تكون الحساسية والنوعية عالية (قيمة أقل لمعدل القيم السلبية التي تم توقعها إيجابياً False Positive)، لذا النقط في الأعلى يساراً هي النقاط المثالية.

لتنظر بشكل أكبر للزوايا الأربع في الرسم البياني السابق:

- (0, 0): النوعية = 1، يعني أن جميع البيانات في التصنيف السلبي تم تصنيفها بشكل صحيح، ولكن الحساسية = 0، إذاً النموذج لا يحتوي على قيم إيجابية وتم توقعها إيجابياً True Positive. حد الفصل عند النقطة (0,0) فيه  $C = 1.0$ ، وهو مطابق لنتائج النموذج ham\_only بما أنه لا يمكن لأي رسالة بريد إلكتروني أن تحصل على احتمالية أعلى من 1.0.
- (1, 0)، النوعية = 0، يعني أن النموذج لا يحتوي توقعات سلبية وتم توقعها سليباً True Negative، ولكن الحساسية = 1، يعني أن جميع البيانات في التصنيف الإيجابي تم تصنيفها بشكل صحيح. الفصل عند النقطة (1,0) فيه  $C = 0.0$ ، وهو مطابق لنتائج النموذج spam\_only بما أنه لا يمكن لأي رسالة بريد إلكتروني أن تحصل على احتمالية أعلى من 0.0.
- (1, 1): كلاهما النوعية والحساسية = 1، يعني عدم وجود توقعات إيجابية ونتائج سلبية أو توقعات سلبية ونتائج إيجابية False Positive. نموذج ذو منحنى ROC يساوي (1,0) لديه قيمة مثالية لحد فصل النموذج.
- (0, 1): كلاهما النوعية والحساسية = 0، يعني عدم وجود توقعات إيجابية ونتائج إيجابية True Positive أو توقعات سلبية ونتائج سلبية False Negative. نموذج ذو منحنى ROC يساوي (0,1) لديه قيمة لحد فصل  $C$  يتوقع دائمًا نتائج خاطئة لجميع البيانات.

النموذج الذي يتوقع التصنيف بشكل عشوائي يكون فيه المنحنى ROC خط مستقيم مثل تكون فيه النقاط فيها الحساسية ومعدل القيم السلبية التي تم توقعها إيجابياً متساوية: False Positive

```
</>
plt.step(np.arange(0, 1, 0.001), np.arange(0, 1, 0.001), color='b', alpha=0.2,
          where='post')
plt.xlabel('False Positive Rate (1 - Specificity)')
plt.ylabel('Sensitivity')
plt.title('Random Classifier ROC Curve')
```



النموذج العشوائي الذي يتوقع الاحتمالية  $p$  لقيمة مدخلة  $x$  سيتوقع توقعات إيجابية ونتائج إيجابية True Positive أو توقعات إيجابية ونتائج سلبية False Positive لـ  $p$ ، لذا الحساسية و معدل التوقعات الإيجابية والنتائج السلبية متساويان.

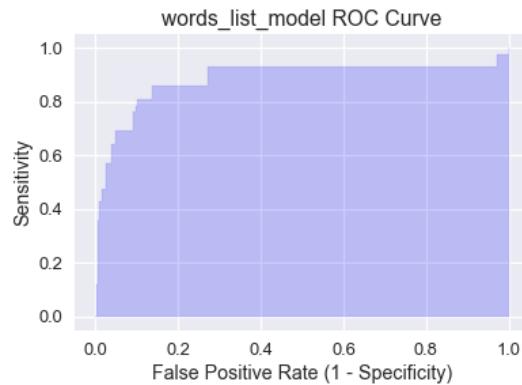
نريد أن يكون منحنى ROC في النموذج أعلى من خط النموذج العشوائي، ونصل الآن لمفهوم AUC.

## AUC

المساحة أسفل المنحنى (Area Under Curve (AUC)) هي المساحة أسفل منحنى ROC وتعمل كأداة لتلخيص أداء النموذج. المساحة أسفل المنحنى للنموذج تم رسمها في الأسفل ويمكن حسابها باستخدام دالة [AUC](#) في مكتبة scikit-learn

```
</>
plt.fill_between(false_positive_rate_values, sensitivity_values, step='post', alpha=0.2,
                  color='b')
plt.xlabel('False Positive Rate (1 - Specificity)')
plt.ylabel('Sensitivity')
```

```
plt.title('words_list_model ROC Curve')
```



```
</>
from sklearn.metrics import roc_auc_score
roc_auc_score(y_train, words_list_model_probabilities)
```

```
0.9057984671441136
```

يمكن تفسير AUC على أنها احتمالية أن يقوم النموذج بتعيين قيمة عالية للاحتمالية لنقطة مختارة بشكل عشوائي تتنبئ للتصنيف الإيجابي من نقطة مختارة بشكل عشوائي تتنبئ للتصنيف السلبي. القيمة المثلية لـAUC هي 1 يكون فيها النموذج مثالي (منحنى ROC سيكون (1,0)). حصول النموذج على مساحة أسفل المنحنى AUC تساوي 0.906 يعني أن النموذج من المحتمل أن يتوقع الرسائل المزعجة كمزعجة بنسبة 90.6% أكثر من توقعه الرسائل السليمة كمزعجة.

عندتحقق من ذلك، المساحة أسفل المنحنى AUC للنموذج العشوائي تساوي 0.5، على الرغم أن ذلك أيضاً قابل للتغير بشكل قليل بناءً على العشوائية. النموذج الفعال والمفيد تكون فيه AUC أعلى بكثير من 0.5، والتي حققها النموذج words\_list\_model. إذا كانت المساحة أسفل المنحنى أقل من 0.5، فإن النموذج أداءه أسوأ من أداء التوقعات العشوائية.

## ملخص تقييم النموذج اللوجستي

المساحة أسفل المنحنى AUC هي أداة لتقييم النماذج في البيانات ذات التصنيف الغير متوازن. بعد تدريب النموذج، من الممارسات الممتازة هي إيجاد منحنى ROC وحساب AUC لتحديد الخطوة التالية. إذا كان AUC عالي، نستخدم منحنى ROC لتحديد أفضل قيمة لحد الفصل. ولكن، إذا كانت قيمة AUC غير مرغوبية، فمن الأفضل القيام بالمزيد من التحليل الاستكشافي للبيانات و اختيار قيم أفضل للخصائص للتحسين من أداء النموذج.

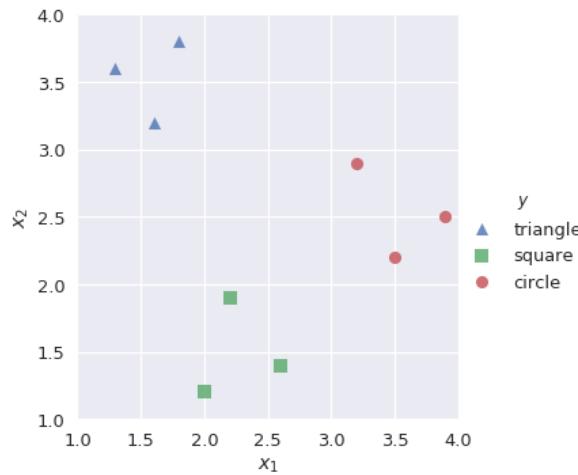
## التصنيف متعدد التصنيفات

حتى الآن يقوم النموذج بتصنيف ثنائي فيها النتائج واحد من نتيجتين؛ مثلاً، صنفتنا الرسائل كمزعجة أو غير مزعجة. ولكن، الكثير من مشاكل في علم البيانات تحتوي على **تصنيفات متعددة للتصنيفات**، **Multiclass Classification**، فيه نريد أن نصنف نتائج البريد الإلكتروني إلى واحد من عدة تصنيفات. مثلاً، تحديد رسائل البريد ما إذا كانت عائلية، من الأصدقاء، خاص بالعمل أو الإعلانات والعروض. لحل هذا النوع من المشاكل، نستخدم طريقة جديدة يطلق عليها **تصنيف واحد ضد البقية** **OvR classification**.

## تصنيف واحد ضد البقية

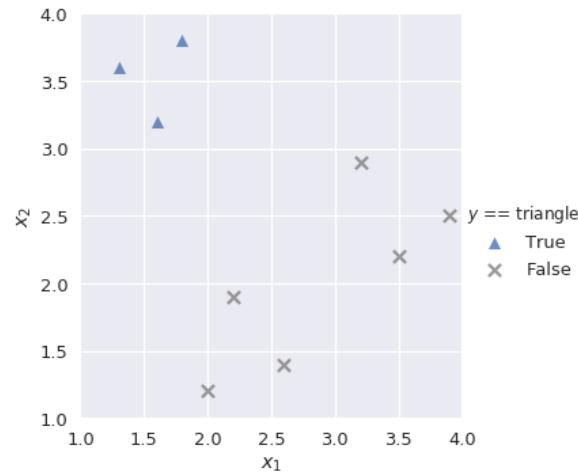
في هذا النوع من التصنيف (يطلق عليه أيضاً واحد ضد الجميع All-vs-One)، نقوم بتقسيم مشكلة التصنيف المتعدد للتصنيفات إلى مشكلة من عدة تصنيفات ثنائية النتائج. مثلاً، يمكن أن تظهر لنا نتائج بيانات التدريب كالتالي:

```
</>
shapes = pd.DataFrame(
    [[1.3, 3.6, 'triangle'], [1.6, 3.2, 'triangle'], [1.8, 3.8, 'triangle'],
     [2.0, 1.2, 'square'], [2.2, 1.9, 'square'], [2.6, 1.4, 'square'],
     [3.2, 2.9, 'circle'], [3.5, 2.2, 'circle'], [3.9, 2.5, 'circle']],
    columns=['$x_1$', '$x_2$', '$y$']
)
sns.lmplot('$x_1$', '$x_2$', data=shapes, hue='$y$', markers=['^', 's', 'o'], fit_reg=False)
plt.xlim(1.0, 4.0)
plt.ylim(1.0, 4.0);
```



هدفنا هو رسم نموذج متعدد التصنيف يقوم بتوقع النتائج من ثلاث `triangle`, `square`, `circle` عند تمرير القيم  $x_1$  و  $x_2$  إليه. أولاً نقوم ببناء نموذج ثانٍ بأسم `lr_triangle` يقوم بتوقع النتائج ما إذا كانت مثلثات `triangle` أم لا:

```
plot_binary(shapes, 'triangle')
```



استعن الكاتب بدالة عرفها بأسم `plot_binary` لمساعدته على إظهار النتائج في رسم بياني، وعرفها كالتالي:

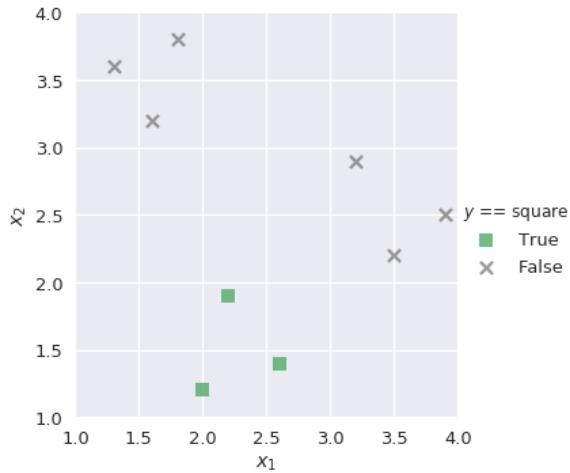
```
markers = {'triangle':['^', sns.color_palette()[0]],
           'square':['s', sns.color_palette()[1]],
           'circle':['o', sns.color_palette()[2]]}

def plot_binary(data, label):
    data_copy = data.copy()
    data_copy['$y$ == ' + label] = (data_copy['$y$'] == label).astype('category')

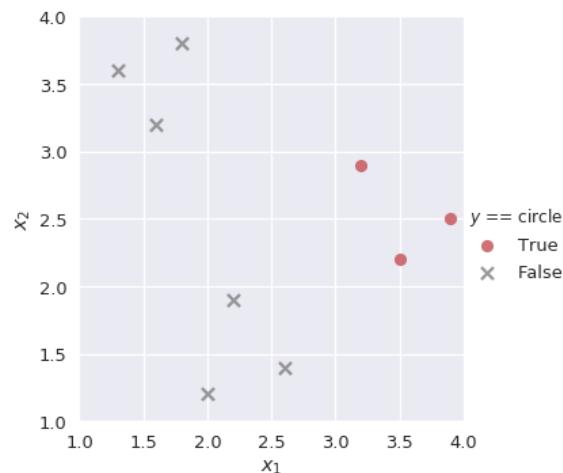
    sns.lmplot('$x_1$', '$x_2$', data=data_copy, hue='$y$ == ' + label, hue_order=[True, False],
              markers=[markers[label][0], 'x'], palette=[markers[label][1], 'gray'],
              fit_reg=False)
    plt.xlim(1.0, 4.0)
    plt.ylim(1.0, 4.0);
```

بنفس الطريقة، نقوم ببناء نموذج `lr_circle` و `lr_square` للتصنيفات الأخرى:

```
plot_binary(shapes, 'square')
```



```
</>
plot_binary(shapes, 'circle')
```



نعلم أن النتائج من الدالة السينية في الانحدار اللوجستي هي عبارة عن احتمالية قيمة بين 0 و 1. حل التصنيف متعدد التصنيفات لدينا، نبحث عن احتمالية الجانب الإيجابي في كل نموذج ونختار التصنيف الأعلى إيجابية. مثلاً، لو إذا أطلعنا على القيم التالية:

$x_1$	$x_2$
3.2	2.5

سيقوم النموذج بـإدخال هذه القيم إلى كل النماذج السابقة lr\_triangle، lr\_square، lr\_circle. نقوم بإيجاد القيمة الاحتمالية الإيجابية لكل من النماذج الثلاثة:

```
</>
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
lr_triangle = LogisticRegression(random_state=42)
lr_triangle.fit(shapes[['x_1$', '$x_2$']], shapes['$y$'] == 'triangle')
proba_triangle = lr_triangle.predict_proba([[3.2, 2.5]])[0][1]

lr_square = LogisticRegression(random_state=42)
lr_square.fit(shapes[['x_1$', '$x_2$']], shapes['$y$'] == 'square')
proba_square = lr_square.predict_proba([[3.2, 2.5]])[0][1]

lr_circle = LogisticRegression(random_state=42)
lr_circle.fit(shapes[['x_1$', '$x_2$']], shapes['$y$'] == 'circle')
proba_circle = lr_circle.predict_proba([[3.2, 2.5]])[0][1]
```

lr_triangle	lr_square	lr_circle
0.145748	0.285079	0.497612

بما أن الاحتمالية الإيجابية الأعلى هي لدى lr\_circle، فإن النموذج متعدد التصنيفات سيتوقع أن القيمة التي اطلع عليها تنتهي إلى التصنيف .circle

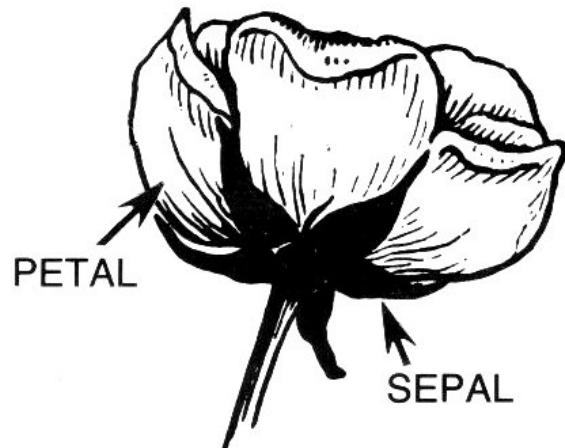
## تطبيق عملی: بيانات Iris

تعتبر [بيانات Iris](#) إحدى أشهر البيانات المستخدمة في علم البيانات لتعلم مقاهم تعلم الآلة. هناك ثلاث تصنيفات، كل واحدة تمثل أحد أنواع أزهار Iris.

- Iris-setosa
- Iris-versicolor
- Iris-virginica

هناك أربع خصائص متوفرة في البيانات:

- طول كأس الزهرة (بالسنتيمتر).
- عرض كأس الزهرة (بالسنتيمتر).
- طول بتلة الزهرة (بالسنتيمتر).
- عرض بتلة الزهرة (سنتيمتر).



سنقوم بإنشاء نموذج متعدد التصنيفات يقوم بتوقع نوع الزهرة بناءً على الخصائص الأربع. أولًا، نقوم بقراءة البيانات:

```
iris = pd.read_csv('https://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/iris/iris.data',
                   header=None, names=['sepal_length', 'sepal_width', 'petal_length', 'petal_width', 'species'])
```

	sepal_length	sepal_width	petal_length	petal_width	species
0	5.1	3.5	1.4	0.2	Iris-setosa
1	4.9	3	1.4	0.2	Iris-setosa
2	4.7	3.2	1.3	0.2	Iris-setosa
...	...	...	...	...	...
147	6.5	3	5.2	2	Iris-virginica
148	6.2	3.4	5.4	2.3	Iris-virginica
149	5.9	3	5.1	1.8	Iris-virginica

150 rows × 5 columns

```
X, y = iris.drop('species', axis=1), iris['species']
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.35, random_state=42)
```

بعد تقسيم البيانات إلى بيانات تدريب و اختبار، نقوم بضبط النموذج متعدد التصنيفات على بيانات التدريب. بشكل تلقائي، يقوم نموذج الانحدار اللوجستي [LogisticRegression](#) في مكتبة scikit-learn بتحديد قيمة المتغير `multi_class='ovr'`، والتي تقوم بإنشاء نموذج ثلثي لكل تصنيف مختلف:

```
lr = LogisticRegression(random_state=42)
lr.fit(X_train, y_train)
```

```
LogisticRegression(C=1.0, class_weight=None, dual=False, fit_intercept=True,
```

```
intercept_scaling=1, max_iter=100, multi_class='ovr', n_jobs=1,
penalty='l2', random_state=42, solver='liblinear', tol=0.0001,
verbose=0, warm_start=False)
```

نقوم بالتوقع باستخدام بيانات الاختبار، ثم نستخدم مصفوفة الدقة لتقدير النتائج:

```
y_pred = lr.predict(X_test)
plot_confusion_matrix(y_test, y_pred)
```

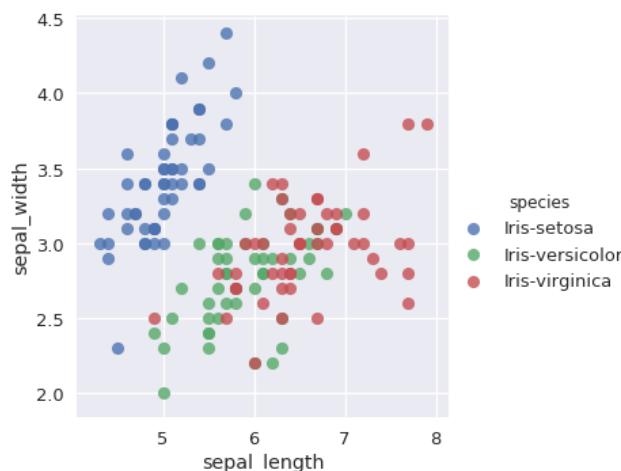
		Predicted		
		iris-setosa	iris-versicolor	iris-virginica
Observed	iris-setosa	19	0	0
	iris-versicolor	0	15	2
	iris-virginica	0	0	17

يستخدم الكاتب الدالة `plot_confusion_matrix` والتي عرفها لمساعدته لعرض وتقدير النتائج على شكل مصفوفة الدقة:

```
def plot_confusion_matrix(y_test, y_pred):
    sns.heatmap(confusion_matrix(y_test, y_pred), annot=True, cbar=False, cmap=matplotlib.cm.get_cmap()
    plt.ylabel('Observed')
    plt.xlabel('Predicted')
    plt.xticks([0.5, 1.5, 2.5], ['iris-setosa', 'iris-versicolor', 'iris-virginica'])
    plt.yticks([0.5, 1.5, 2.5], ['iris-setosa', 'iris-versicolor', 'iris-virginica'], rotation='horizontal')
    ax = plt.gca()
    ax.xaxis.set_ticks_position('top')
    ax.xaxis.set_label_position('top')
```

يظهر من مصفوفة الدقة السابقة أن النموذج أخطأ في التوقع مرتين للتصنيف `Iris-versicolor` و `Iris-virginica`. عند التحقق من الخصائص `sepal_width` و `sepal_length`، نستطيع أن نرى سبب حدوث ذلك:

```
sns.lmplot(x='sepal_length', y='sepal_width', data=iris, hue='species', fit_reg=False);
```



تداخل الكثير من النقاط في للتصنيفات `Iris-versicolor` و `Iris-virginica`. على الرغم أن الخصائص الأخرى (`petal_length` و `petal_width`) تقدم معلومات أكثر للتفرق بين التصنيفات، إلا أن النموذج أخطأ في تصنيف نوعين من الزهور.

كما في العالم الحقيقي، تحدث التصنيفات الخطأ عندما يكون تصنيفيان متباينان في الخصائص. مصفوفات الدقة مفيدة كونها تطلعنا على الأخطاء التي يقع فيها النموذج، أيضاً تقدم لنا أفكار عن أي نوع من الخصائص تحتاج أن نوجدها من أجل تحسين أداء النموذج.

## التصنيف متعدد النتائج

نوع آخر من مشاكل التصنيف هو التصنيف متعدد النتائج **Multilabel Classification**، وفيه يكون للنتيجة أكثر من تصنيف. مثال لذلك في نظام لتصنيف الملفات: الملف قد يكون ذو إيجابي أو سلي، ذو محتوى ديني أو غير ديني، ومتفتح أو محافظ. مشكلة متعددة النتائج قد تكون أيضاً متعددة التصنيفات؛ قد نرغب أن يكون نظام التصنيف للملفات لدينا يفرق بين قائمة من الأنواع، أو يحدد اللغة التي كُتب فيها الملف.

يمكن أن نطبق التصنيف متعدد النتائج ببساطة عبر تدريب نماذج منفصلة لكل نوع من النتائج. لتصنيف نقطة ما، نقوم بجمع جميع نتائج توقعات النماذج.

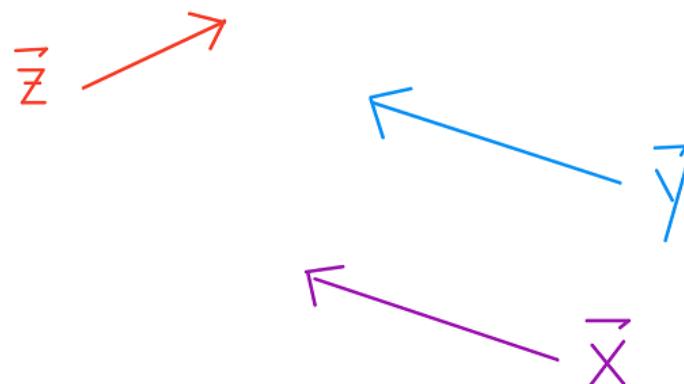
## ملخص التصنيف متعدد الاحتمالات

مشاكل التصنيف قد تكون صعبة. في بعض الأحيان، نحتاج في المشكلة للتferiq بين أكثر من تصنيف؛ وفي بعض الأحيان قد نريد تعين أكثر من نتيجة لكل قيمة يطلع علينا النموذج. سنتعرف بما نعرفه عن النماذج ثنائية النتائج لبناء أنظمة تصنّف متعدد التصنيفات والناتج والتي قادرة على أداء تلك المهام.

## مراجعة فضاء المتجهات

### تعريف المتجه

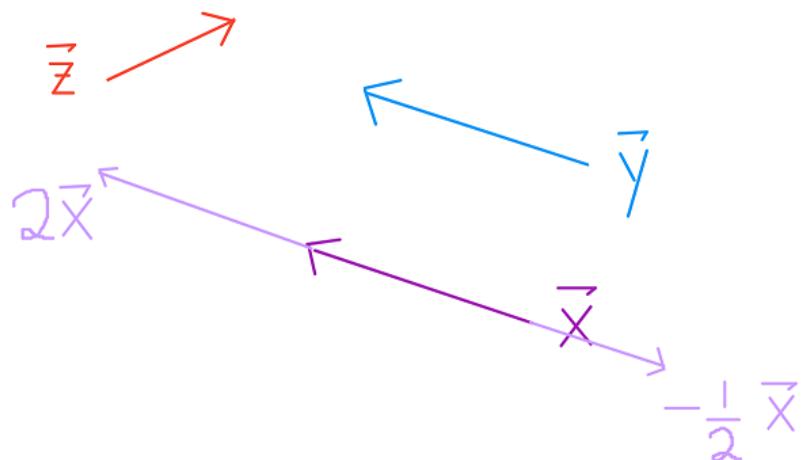
تعرف المتجه بطولها و اتجاهها:



لاحظ أن المتجه  $\hat{x}$  و  $\hat{y}$  بنفس الطول والاتجاه. لذا هما متجهتان متساويتان.

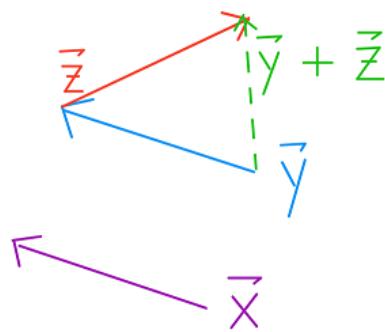
### زيادة المتجهات

الزيادة في المتجه يعني التعديل في طولها:



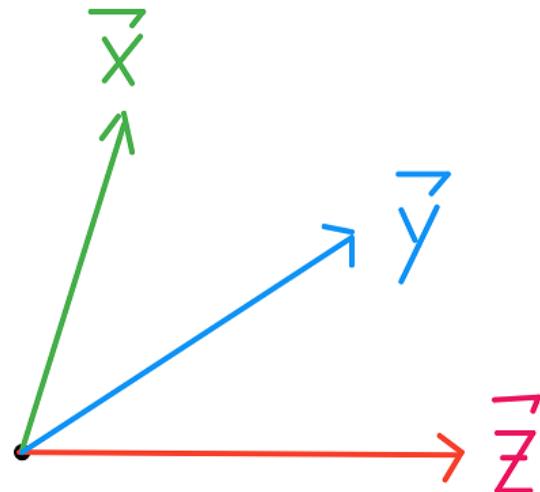
لاحظ أن  $2\vec{x}$  و  $\vec{y}$  لديهما نفس الاتجاه ولكن بأطوال مختلفة. لذا هما غير متساويان.

لجمع متّجهتان  $\vec{z} + \vec{y}$ , نأخذ خطوة بحسب طول  $\vec{y}$ , ثم مباشرة نأخذ خطوة بحسب طول  $\vec{z}$  (أو العكس). يطلق على هذه الخطوات طريقة المثلث، فيها تربط بداية المتّجه الأولي بنهاية المتّجه الثانية.



## رموز المتّجهات

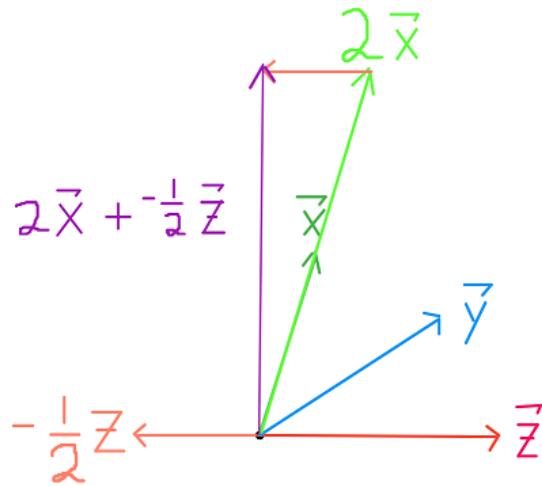
يتم تمثيل المتّجهات عادة بالإحداثيات الديكارتية :Cartesian Coordinates



$$\vec{x} = \begin{bmatrix} 1 \\ 4 \end{bmatrix}, \quad \vec{y} = \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad \vec{z} = \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \end{bmatrix}$$

باستخدام هذه الرموز، فإن حساب العمليات الرياضية السابقة يصبح سهلاً:

$$2\vec{x} = \begin{bmatrix} 2 \\ 8 \end{bmatrix}, \quad -0.5\vec{z} = \begin{bmatrix} -2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad 2\vec{x} + -0.5\vec{z} = \begin{bmatrix} 0 \\ 8 \end{bmatrix}$$



يمكن الزيادة والإضافة في المتجهات على شكل أجزاء:

$$a\vec{x} + b\vec{y} = \begin{bmatrix} a x_1 & + & b y_1 \\ \vdots \\ a x_n & + & b y_n \end{bmatrix}$$

## المتجه 1

في أي مساحة  $d$  للفضاء أو الأبعاد،  $\vec{1}$  هي متجهة تحتوي على الرقم 1 مكرراً:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

## مدى مجموعة من المتجهات

مدى مجموعة من المتجهات  $\{\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_p\}$  هي جميع الترکيبات الخطية المحتملة. لهذه المتجهات  $p$ :

$$\{c_1 \vec{v}_1 + c_2 \vec{v}_2 + \dots + c_p \vec{v}_p : \forall c_i \in F\}$$

فيها  $F$  هي مجال فضاء المتجه.

## فضاء المتجه

فضاء المتجه  $V$  هو مدى مجموعة من المتجهات  $\{\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_p\}$ ، فيها كل  $\vec{v}$  عبارة عن عمود متجه بطول  $n \times 1$ .

## الفضاءات الفرعية للمتجه

الفضاء الفرعي  $U$  لـ  $V$  هو مدى مجموعة من المتجهات  $\{\vec{u}_1, \vec{u}_2, \dots, \vec{u}_q\}$  فيها كل  $\vec{u}_i \in V$ . يعني ذلك أن كل متجه في  $U$  هي أيضاً في  $V$ .

## الزوايا بين المتجهات

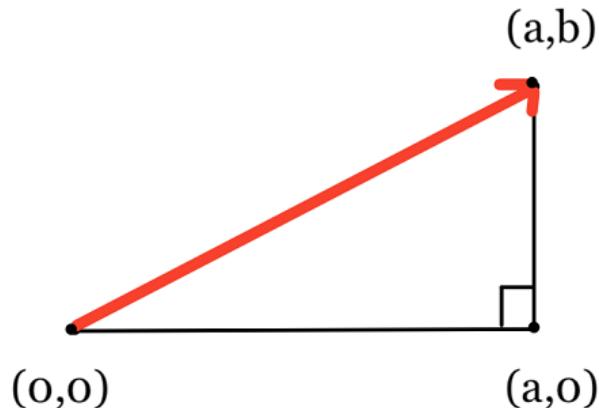
عند الربط بين نهاية متجهتان معاً دون التعديل في اتجاهها، يمكن قياس الزاوية بينهما:



## طول المتجه

الفكرة في  $\mathbb{R}^2$

نذكر طريقة المثلث لجمع متجهاتان. إذا قمنا بإضافة متجهتان عموديتان  $\vec{a} + \vec{b}$  في  $\mathbb{R}^2$ , فإننا نعلم أن المتجه الناتجة هي الوتر. في هذه الحالة، نعلم أيضاً أن طول  $\vec{a} + \vec{b}$  سيكون مطابقاً لنظرية فيتاغورس:  $\sqrt{a^2 + b^2}$ :



المعادلة العامة لطول المتجه  $\vec{v} \in \mathbb{R}^n$

$$\begin{aligned} \|\vec{v}\| &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2} \\ &= \sqrt{\vec{v} \cdot \vec{v}} \end{aligned}$$

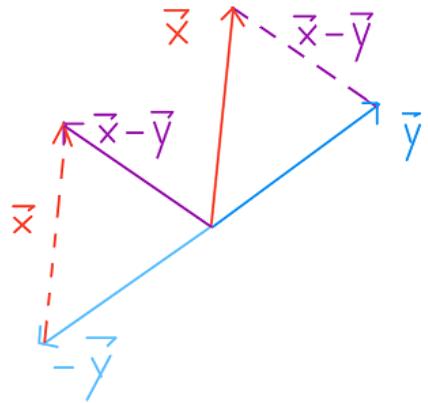
فيه العامل الأخير هو حاصل عملية الضرب:

$$\begin{aligned} \vec{x} \cdot \vec{y} &= x_1 y_1 + x_2 y_2 + \cdots + x_n y_n \\ &= \|x\| \|y\| \cos \theta \end{aligned}$$

التعبير الأول معروف أيضاً باسم التعريف الجري للجداء النقطي، والثاني يعرف بالتعريف الهندسي. لاحظ أن نتيجة الضرب هي حاصل الضرب الداخلي المعروf في المتجهات في  $\mathbb{R}^n$ .

## المسافة بين متجهتين

$$dist(\vec{x}, \vec{y}) = \|\vec{x} - \vec{y}\|$$

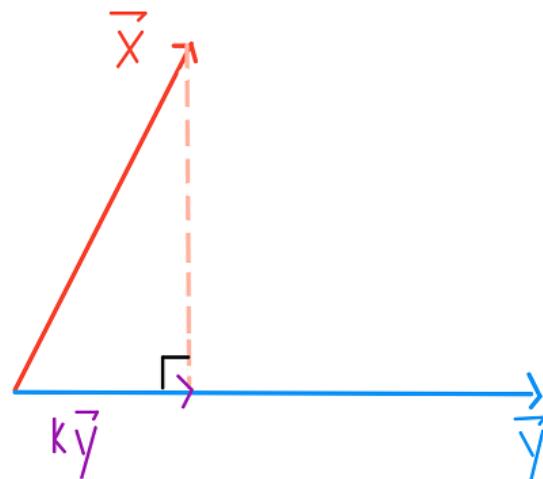


## المتجهات المتعامدة

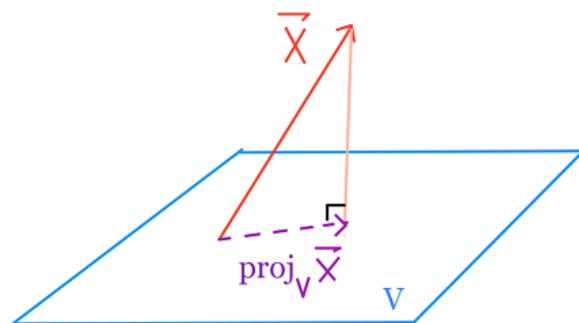
لمتجهتان غير صفرية لتصبحان متعامدة، يجب أن يطابقا شرط أن  $\vec{y} \cdot \vec{x} = 0$ . بما أن طولهما لا يساوي صفر، الطريقة الوحيدة لتصبحا المتجهتان عموديتان عندما تكون  $\theta$  تساوي 90 درجة، يكون لدينا ما نعرفه بالزاوية القائمة.

## إسقاط المتجهات

لإسقاط متجه  $\vec{x}$  على متجه آخر  $\vec{y}$ ، فنحن نريد إيجاد  $k\vec{y}$  الأقرب إلى  $\vec{x}$ :



بناءً على نظرية فيثاغورس، نعلم أن  $k$  يجب أن تكون العدد الذي فيه  $\vec{y} - k\vec{y}$  عمودية إلى  $\vec{y}$ ، إذاً  $k\vec{y}$  هي الإسقاط (المتعامد) لـ  $\vec{x}$  على  $\vec{y}$ . بنفس الطريقة، لإسقاط متجه  $\vec{x}$  على أي فضاء المتجهات ممتد بواسطة أي مجموعة من المتجهات  $\{\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_p\}$ ، فلا نزال نحتاج لإيجاد التركيبات الخطية المحتملة  $\{k_1 \vec{v}_1 + k_2 \vec{v}_2 + \dots + k_p \vec{v}_p\}$  الأقرب إلى  $\vec{x}$ :



## مقدمة

هذا الملحق يستعرض الاستدلال باستخدام اختبارات التبادل والتمهيد. تم التحدث عن هذه المواضيع في الفصل 12 و 13 من كتاب داتا .8 على الرغم أن علماء البيانات يعملون على عينات من البيانات، إلا أنها دائمًا مهتمين بالعموم على المجتمع الإحصائي التي أنت منها من البيانات. هذا الملحق يتحدث عن طرق إجراء الاستدلال الإحصائي *Statistical Inference*، طريقة لبناء استنتاجات عن كل المجتمع الإحصائي باستخدام البيانات.

يعتمد في الاستدلال الإحصائي بشكل عام على طريقتين: اختبار الفرضيات ومجالات الثقة. في الماضي القريب، اعتمدت هذه الأساليب بشكل كبير على النظرية العادي، والتي هي فرع من الإحصائيات التي تتطلب افتراضيات أساسية عن المجتمع الإحصائي. اليوم، التطور السريع والذي وفر حوسية قوية يمكن من إيجاد طرق جديدة من الأساليب والتي تعتمد على إعادة التشكيل *Resampling* والتي تعمم على أنواع كثيرة من المجتمعات الإحصائية.

## اختبار الفرضيات و مجال الثقة

سيكون هذا الملحق مراجعة بسيطة لاختبار الفرضيات باستخدام التمهيد وختبارات التبادل. نتطرق معرفة بهذه العناوين كونها تم التحدث بشكل كبير عنها في كتاب التفكير الحسابي والاستنتاجي، الكتاب الخاص بمادة داتا .8 للحصول على معلومات وشرح أكثر عن المواضيع التي سيتم شرحها هنا، أطلع على الفصل 11، 12 و 13 من كتاب التفكير الحسابي والاستنتاجي.

## ختبارات الفرضية

عند تطبيق مفاهيم علم البيانات في مختلف المجالات، عادة ما نواجه أسئلة عامة. مثلاً، هل شرب القهوة يسبب حرمان النوم؟ هل تتسرب السيارات ذاتية القيادة بحوادث أكثر من السيارات غير ذاتية القيادة؟ هل الدواء X يساعد على علاج الالتهاب الرئوي؟ لمساعدة في الإجابة على هذه الأسئلة، نستخدم اختبارات الفرضية لإيجاد نتائج علمية بناءً على الأدلة والبيانات التي أطعلنا عليها.

بما أن عملية جمع البيانات عادة ما تحتوي على خطوط غير دقيقة، عادة ما تكون غير متأكدين من الانماط الموجودة في تلك البيانات إن كانت بسبب التشويش أو بسبب بيانات حقيقة عن الالتهاب الرئوي. تساعدنا اختبارات الفرضية على تحديد ما إذا كان النمط في البيانات حدث بسبب التقلبات العشوائية في طريقة جمعنا للبيانات.

سنبدأ بمثال لاستكشاف اختبارات الفرضية. الجدول baby يحتوي على بيانات أوزان الأطفال وقت الولادة. تم تسجيل وزن المواليد بالأونصة وما إذا كانت الأم تدخن أثناء حملها:

لتحميل البيانات baby.csv [اضغط هنا](#).

```
import pandas as pd
import numpy as np

baby = pd.read_csv('baby.csv')
baby = baby.loc[:, ["Birth Weight", "Maternal Smoker"]]

baby
```

1174 rows × 2 columns

Birth Weight Maternal Smoker		
0	120	FALSE
1	113	FALSE
2	128	TRUE
...	...	...
1171	130	TRUE
1172	125	FALSE
1173	117	FALSE

## التصميم

نريد أن نرى ما إذا كان تدخين الأم له علاقة بوزن المواليد. لإعداد الاختبار لفرضيتنا، يمكننا تمثيل وجهي النظر العامة كالتالي:

- **فرضية العدم Null hypothesis:** في المجتمع الإحصائي، يكون التوزيع للبيانات لأوزان المواليد للأمهات غير المدخنات مساوي للتوزيع لأوزان المواليد من الأمهات المدخنات. الفرق الذي يحدث في البيانات كان بالصدفة.

• **الفرضية البديلة Alternative hypothesis:** في المجتمع الإحصائي، متوسط الوزن أثناء الولادة للمواليد من الأمهات المدخنات كان أقل من المواليد من أمهات غير مدخنات.

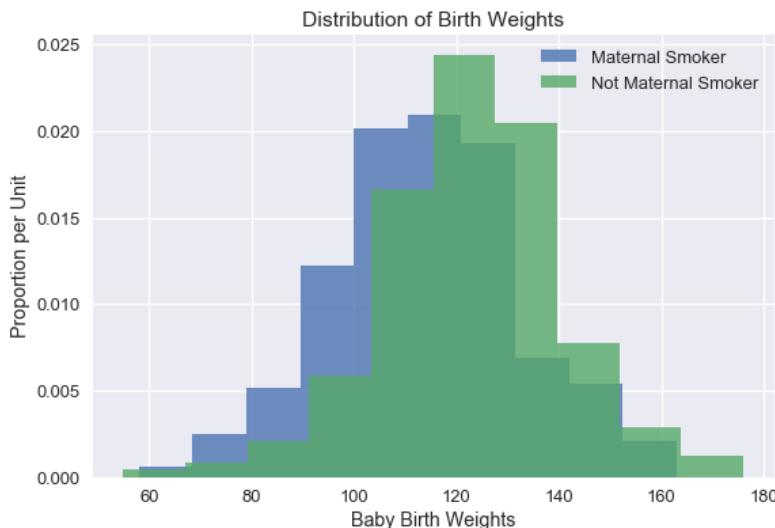
هدفنا الرئيسي هو اتخاذ قرار بين هذه الفرضيات. نقطة مهمة يجب الانتباه لها وهي أننا أوجدنا هذه الفرضيات بناءً على المتغيرات *Parameters* من البيانات وليس من تجربتنا. مثلاً، يجب أن نقوم ببناء فرضية العدم مثل "وزن مواليد الأمهات المدخنات سيكون مساوي لوزن مواليد الأمهات غير المدخنات"، نظرًا لوجود تباين بشكل طبيعي في النتائج.

تؤكد فرضية العدم أنه إذا كانت النتائج تظهر عكس ما توقعته الفرضية، فإن ذلك الفرق كان بالصدفة. وبشكل غير رسمي، تقول الفرضية البديلة إن الفرق والاختلاف الذي أطلعنا عليه " حقيقي".

يجب أن نلقي نظرة أكثر على شكل فرضيتنا البديلة. في الوضع الحالي، لاحظ أننا سترفض فرضية العدم إذا كان وزن المواليد من الأمهات المدخنات أقل بشكل واضح وكثير من أوزان المواليد من الأمهات غير المدخنات. بمعنى آخر، الفرضية البديلة تشمل / تدعم جانب واحد من التوزيع. نطلق على ذلك **الفرضية البديلة من جانب واحد One-sided Alternative Hypothesis**. بشكل عام، نستخدم هذا النوع من الفرضيات البديلة إذا كان لدينا سبب مقنع بأنه لا يمكن أن نرى متوسط وزن المواليد من أمهات مدخنات أعلى.

رسم البيانات، قمنا بإنشاء مدرج تكراري لوزن المواليد من الأمهات المدخنات وغير المدخنات:

```
</>
import matplotlib.pyplot as plt
plt.figure(figsize=(9, 6))
smokers_hist = (baby.loc[baby["Maternal Smoker"], "Birth Weight"]
                 .hist(density=True, alpha=0.8, label="Maternal Smoker"))
non_smokers_hist = (baby.loc[~baby["Maternal Smoker"], "Birth Weight"]
                      .hist(density=True, alpha=0.8, label="Not Maternal Smoker"))
smokers_hist.set_xlabel("Baby Birth Weights")
smokers_hist.set_ylabel("Proportion per Unit")
smokers_hist.set_title("Distribution of Birth Weights")
plt.legend()
plt.show()
```



يبدو أن متوسط وزن المواليد من الأمهات المدخنات أقل من وزن المواليد للأمهات غير المدخنات. هل هذا الاختلاف حدث بشكل عشوائي؟ نحاول الإجابة على هذا السؤال باستخدام اختبار الفرضية.

لإجراء اختبار فرضية، نفترض أن نموذج معين يقوم بتوليد البيانات؛ ثم نسأل أنفسنا، ما هي فرصة أن نرى نتائج متطرفة مثل التي رأيناها؟ إذا كانت فرصة مشاهدة تلك النتائج ضئيلة جدًا، فقد لا يكون النموذج الذي افترضناه هو النموذج المثالى.

بشكل خاص، نفترض أن فرضية العدم ونموذج إحتماليتها، **نموذج العدم Null Model**، صحيحان. بمعنى آخر، نفترض أن فرضية العدم صحيحة. ونركز على القيمة الإحصائية فيها. نموذج الصدفة يقول إنه لا يوجد هناك أي فرق؛ توزيع العينات في الرسم البياني مختلف فقط بمحض الصدفة.

## اختبار الإحصائية

في مثلك، نفترض أن تدخين الأمهات لا يؤثر على وزن المواليد (وأن أي فرق نطلع عليه حدث بالصدفة). من أجل اختيار بين فرضياتنا، سنستخدم الفرق بين المجموعتين وتكون **اختبار الإحصائية Test Statistic**:

$$\mu_{\text{smoking}} - \mu_{\text{non-smoking}}$$

إذا القيم الصغرى (وهي، القيم السلبية الأعلى) لهذه الإحصائية ستفضل الفرضية البديلة. لنتقوم بحساب اختبار الإحصائية للبيانات التي أطلعنا عليها:

```
</>
nonsmoker = baby.loc[~baby["Maternal Smoker"], "Birth Weight"]
smoker = baby.loc[baby["Maternal Smoker"], "Birth Weight"]
observed_difference = np.mean(smoker) - np.mean(nonsmoker)
observed_difference
```

إذا لم يكن هناك أي فرق بين التوزيعين في المجتمع الإحصائي، فإذا كانت الأم مدخنة أو غير مدخنة لن يؤثر على متوسط وزن المولود. بمعنى آخر، القيم True و False في عمود تدخين الأم لن تأثر على المتوسط.

لذا، من أجل محاكاة اختبار الإحصائي في فرضية العدم، يمكننا إعادة خلط أوزان المواليد بشكل عشوائي بين الأمهات:

```
</>
def shuffle(series):
    """
    خلط المصفوفة وأعادة تعريف الرقم التسلسلي ليتم إضافة القيمة المختلفة لنفس الرقم
    """
    return series.sample(frac=1, replace=False).reset_index(drop=True)

baby["Shuffled"] = shuffle(baby["Birth Weight"])
baby
```

	Birth Weight	Maternal Smoker	Shuffled
0	120	FALSE	122
1	113	FALSE	167
2	128	TRUE	115
...	...	...	...
1171	130	TRUE	116
1172	125	FALSE	133
1173	117	FALSE	120

1174 rows × 3 columns

## إجراء اختبار التبادل

الاختبارات بناءً على التبادل العشوائي في البيانات يطلق عليها اختبارات التبادل **Permutation Tests**، في الكود البرمجي التالي، سنحاكي الاختبار الإحصائي أكثر من مرة ونجمع الفرق في مصفوفة:

```
</>
differences = np.array([])

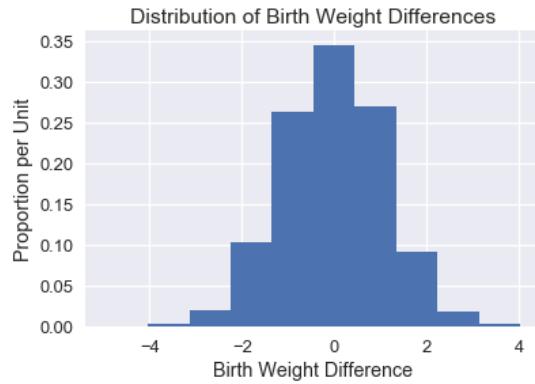
repetitions = 5000
for i in np.arange(repetitions):
    baby["Shuffled"] = shuffle(baby["Birth Weight"])

    # أوجد الفرق بالمتباين بين مجموعتين عشوائيتين #
    nonsmoker = baby.loc[~baby["Maternal Smoker"], "Shuffled"]
    smoker = baby.loc[baby["Maternal Smoker"], "Shuffled"]
    simulated_difference = np.mean(smoker) - np.mean(nonsmoker)

    differences = np.append(differences, simulated_difference)
```

رسم المدرج التكراري لفرق في المتواسطات

```
</>
differences_df = pd.DataFrame()
differences_df["differences"] = differences
diff_hist = differences_df.loc[:, "differences"].hist(density=True)
diff_hist.set_xlabel("Birth Weight Difference")
diff_hist.set_ylabel("Proportion per Unit")
diff_hist.set_title("Distribution of Birth Weight Differences");
```



من المنطقي أن يتمحور توزيع الفرق في المتوسطات حول الرقم 0 بما أن المجموعتين يجب أن يكون لها نفس المتوسط في فرضية العدم. من أجل إيجاد استنتاجات لاختبار الإحصائية، يجب علينا حساب الاحتمالية التجريبية لاختبار هي نسبة الفرق في البيانات التي حاكيتها التي كانت متساوية أو أقل من فرق البيانات الحقيقية:

```
p_value = np.count_nonzero(differences <= observed_difference) / repetitions
p_value
```

```
0.0
```

في بداية اختبار الفرضية عادة ما نختار قيمة **فصل الأهمية** (Threshold of Significance) (يرمز لها عادة ب $\alpha$ ) لقيمة الاحتمالية P-value. إذا كانت قيمة الاحتمالية أقل من قيمة فصل الأهمية، إذا نرفض فرضية العدم. قيم الفصل الأكثر استخداماً هي 0.01 و 0.05، فيها 0.01 تمثل أكثر "تشدد" كوننا نحتاج إلى أدلة أكثر لصالح الفرضية البديلة لرفض فرضية العدم.

في أي من هذه الحالات، نرفض فرضية العدم بما أن قيمة الاحتمالية أقل من قيمة فصل الأهمية.

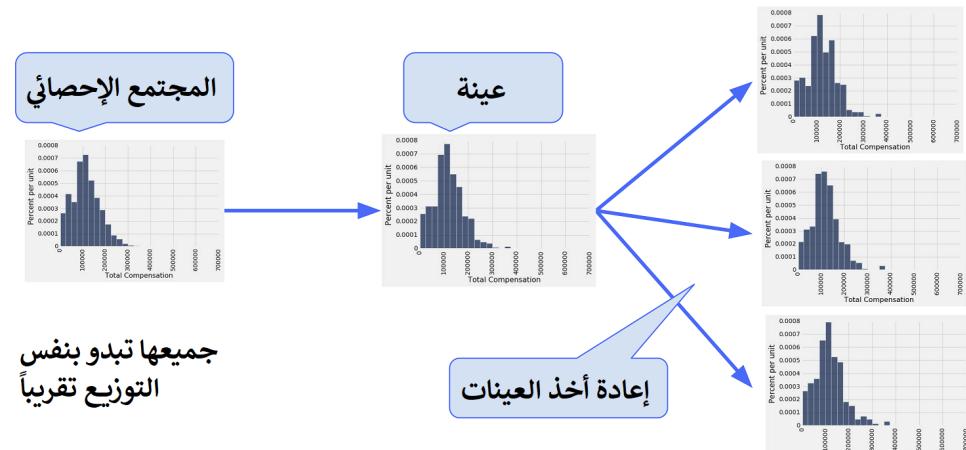
## تمهيد فترات الثقة

يحتاج علماء البيانات في كثير من الأحيان لتقدير متغير المجتمع الإحصائي المجهولة باستخدام عينة عشوائية. على الرغم أننا نفضل أخذ عينات كثيرة من المجتمع الإحصائي لإنشاء توزيع للعينات، غالباً ما تكون مقتصرتين على عينة واحدة بسبب الوقت والمال.

لتحسين الحظ، العينة العشوائية الكبيرة تبدو مشابهة للمجتمع الإحصائي الأصلي. التمهيد Bootstrap يستخدم ذلك لمحاكاة عينات جديدة عن طريق إعادة أخذ العينات من العينة الأصلية.

لتطبيق التمهيد، نقوم بالخطوات التالية:

- أخذ عينة بديلة من العينة الأصلية (والتي هي الآن العينة التي تم تمديدها). هذه العينات يطلق عليها عينات التمهيد. عادة ما نأخذ الآلاف من عينات التمهيد (~10,000).
- حساب الفائدة الإحصائية لكل عينة تمهدية. يطلق عليها الإحصائية التمهيدية، والتوزيع التجاري لهذه الإحصائية التمهيدية هي تقرير لتوزيع العينة في الإحصائية التمهيدية.



قد نستخدم توزيع عينات التمهيد لإنشاء فترات الثقة والتي نستخدمها لتوقع قيمة متغير المجتمع الإحصائي.

بما أن بيانات الوزن عند الولادة توفر عينة عشوائية حجمها كبير، فقد نعمل على البيانات وكأن الأمهات غير المدخنات يمثلون المجتمع الإحصائي غير المدخنات. بنفس الطريقة، نقول أن البيانات للأمهات المدخنات يمثلون المجتمع الإحصائي للأمهات المدخنات.

لذا، نعامل العينة الأصلية كتمهيد المجتمع الإحصائي لنتمكن من القيام بخطوات التمهيد:

- نأخذ عينة مع بديل من الأمهات غير المدخنات ونقوم بحساب متوسط وزن المواليد. نأخذ عينة أخرى مع بديل من الأمهات المدخنات ونحسب متوسط وزن المواليد.
- حساب فرق المتosteats.
- إعادة الخطوات السابقة 10000 مرة، نحصل فيها على 10000 فرق متوسط.

هذه الخطوات تعطينا توزيع تجاري للعينات للفرق في متوسطات أوزان المواليد:

```
</>
def resample(sample):
    return np.random.choice(sample, size=len(sample))

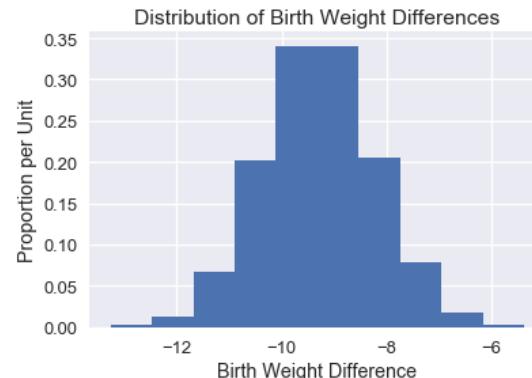
def bootstrap(sample, stat, replicates):
    return np.array([
        stat(resample(sample)) for _ in range(replicates)
    ])

nonsmoker = baby.loc[~baby["Maternal Smoker"], "Birth Weight"]
smoker = baby.loc[baby["Maternal Smoker"], "Birth Weight"]

nonsmoker_means = bootstrap(nonsmoker, np.mean, 10000)
smoker_means = bootstrap(smoker, np.mean, 10000)

mean_differences = smoker_means - nonsmoker_means

mean_differences_df = pd.DataFrame()
mean_differences_df["differences"] = np.array(mean_differences)
mean_diff = mean_differences_df.loc[:, "differences"].hist(density=True)
mean_diff.set_xlabel("Birth Weight Difference")
mean_diff.set_ylabel("Proportion per Unit")
mean_diff.set_title("Distribution of Birth Weight Differences");
```



أخيراً، لإيجاد فاصل ثقة بنسبة 95% نوجد النسب المئوية 2.5 و 97.5 في الإحصائية التمهيدية:

```
</>
(np.percentile(mean_differences, 2.5),
 np.percentile(mean_differences, 97.5))
```

```
(-11.36909646997882, -7.181670323140913)
```

فاصل الثقة هذا يسمح لنا بالقول بنسبة ثقة 95% أن الفارق في متوسط الأوزان للمواليد المجتمع الإحصائي بين -11.37 و -7.18 أونصة.

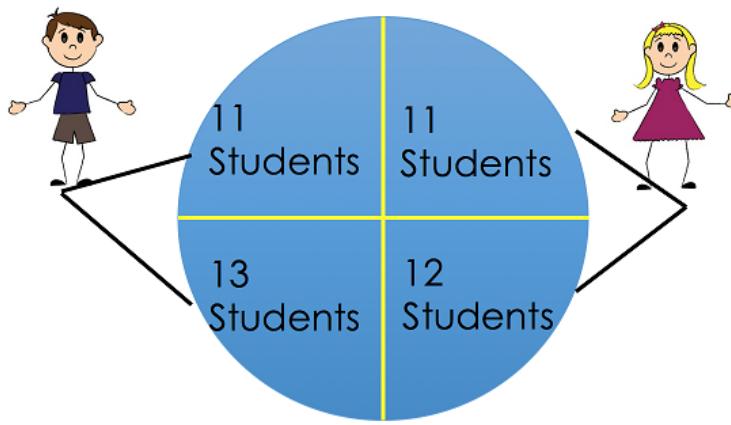
## ملخص اختبار الفرضيات و مجال الثقة

في هذا الجزء، راجعنا اختبار الفرضيات باستخدام التبادل وفاصل الثقة مع التمهيد. للقيام باختبار الفرضية، يجب علينا طرح فرضية العدم والفرضية البديلة، اختبار اختبار الإحصائية المناسب، والقيام بخطوات الاختبار لحساب قيمة الاحتمالية p-value. لإنشاء فاصل ثقة، نختار اختبار إحصاء مناسب، تمهد العينة الأصلية لإنشاء توزيع تجاري لاختبار الإحصائية، ونقوم بتحديد الكميات المقابلة لمستوى الثقة الذي لدينا.

## اختبار التبادل

هناك عدة حالات نرحب فيها في إجراء اختبار التبادل لتجربة واختبار فرضية والتعرف أكثر على البيانات. اختبار التبادل يعتبر اختبار من النوع الغير معملي Non-Parametric Test يسمح لنا بإيجاد استنتاجات دون القيام بافتراضات إحصائية والتي تعتبر من نوع الإحصاء المعملي التقليدي Parametric Test.

أحد الأمثلة الواضحة لاستنتاجات التبادل هو في بيانات تقييم الطلاب للتدريس (SET) بواسطة بورنر، أوتوبوني و ستارك (2016). في هذه الدراسة، 47 طالباً تم توزيعهم بشكل عشوائي على واحد من أربع أقسام. هناك معلمان يدرسان قسمين؛ إحدى المعلمين ذكر والآخر أنثى. في قسمين، تم التعريف بالمعلمان باستخدام أسمائهم الحقيقة. في الأقسام الأخرى تبادل المعلمان الأسماء.



لم يقابل الطلاب المعلمان وجهًا لوجه. كان التفاعل بين الطلاب والمعلمان ألكترونياً. تم تنسيق إعادة الواجبات إلى الطلاب مع الدرجات والملاحظات في نفس الوقت بين المعلمان. أيضًا لدى المعلمان نفس المستوى من الخبرة. في نهاية الفصل، قيم الطلاب المعلمان في أدائهم لتصحيح الواجبات وإعادتها لهم. أراد المؤلف أن يتحقق إذا كان للجنس تأثير على تقييم الطلاب للتدريس.

## الإعداد للتجربة

أجرينا اختبار الفرضية باستخدام فاصل قطع الاحتمالية  $p$ -value يساوي 0.05.

**في النموذج Model**، لكل مدرس احتمالاً للتقدير من كل طالب، واحد لكل جنس متصور لهم (Perceived). لكل طالب فرصة متساوية ليتم تعبينه لتقدير أي من الجنسين في الاختبار (الجنس الحقيقي Gender، الجنس المتصور لهم Perceived Gender) للمعلمان.أخيرًا، يقيم الطلاب مدرسيهم بشكل مستقل ومنفصل عن بعضهم.

**فرضية العدم Null Hypothesis** في هذه التجربة هي الجنس المتصور من الطلاب ليس لديه أي تأثير على تقييم الطلاب للتدريس وأي فرق نلاحظه في التقييم كان بالصدفة. بمعنى آخر، التقييم لكل مدرس يجب ألا يتغير سواء كان متصور الطلاب أنهم ذكور أو إناث. يعني ذلك أن كل مدرس في التجربة سيحصل على تقييم واحد فقط من كل طالب.

**الفرضية البديلة Alternative Hypothesis** هي أن الجنس المتصور من الطلاب للمدرسين لديه تأثير على تقييم الطلاب للتدريس.

**اختبار الإحصائية Test Statistic** هو فرق المتوسطات لتقييم الطلاب للمدرسين بتصورهم أنهم ذكور أو إناث. بشكل طبيعي، نتوقع أن تكون النتيجة قريبة من 0 إذا لم يكن للجنس تأثير على التقييم. يمكننا كتابة التالي:

$$\mu_{\text{perceived female}} - \mu_{\text{perceived male}}$$

فيها:

$$\mu_{\text{perceived female}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_1} x_{1j} + \sum_{j=1}^{n_3} x_{3j}}{n_1 + n_3}$$

$$\mu_{\text{perceived male}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_2} x_{2j} + \sum_{j=1}^{n_4} x_{4j}}{n_2 + n_4}$$

وهي  $n_i$  هي عدد الطلاب في المجموعة  $i$  و  $x_{ij}$  هي تقييم الطالب رقم  $j$  في تلك المجموعة  $i$ .

من أجل تحديد ما إذا كان للجنس تأثير على تقييم الطلاب للتدريس، نقوم بإجراء اختبار تبادل لإنشاء توزيع تجاري لاختبار الإحصاء في فرضية العدم. نقوم باتباع الخطوات التالية:

- تبديل الجنس المتصور من قبل الطلاب الذين لديهم نفس المعلم. لاحظ أننا نقوم بالخلط من الجزيئين اليسار واليمين من الصورة السابقة.
- حساب الفرق في متوسط تقييم الطلاب في المجموعات التي تم تحديد الجنس فيها كذكر أو أنثى.
- التكرار أكثر من مرة لإيجاد توزيع تجاري للعينات لمتوسط الفرق في التقييم بين المجموعتين.
- استخدام التوزيع التجاري لتقويم احتمالية إيجاد اختبار إحصاء أكثر تطرفاً مما لاحظناه مسبقاً.

من المهم فهم تبرير اختبار التبادل في هذا المثال. في النموذج العددي، كل طالب سيعطي مدرسه نفس التقييم أياً كان تصوره للجنس. التعيين العشوائي البسيط يشير أن كل معلم، جميع تقييماته لديها نفس الفرصة أن تظهر أياً كان تصور الطلاب لهم كذكر أو أنثى. لذا، تبديل الجنس لن يؤثر على التقييم إذا كانت فرضية العدم صحيحة.

## البيانات

نبدأ ببيانات الطلاب والجنس التالية. هذه البيانات من مسح إحصائي لـ 47 طالب في مسجلين في مادة عبر الإنترنت في أحد الجامعات الأمريكية:

لتحميل البيانات [StudentRatingsData.csv](#) اضغط هنا.

&lt;/&gt;

```

student_eval = (
    pd.read_csv('StudentRatingsData.csv')
    .loc[:, ["tagender", "taidgender", "prompt"]]
    .dropna()
    .rename(columns={'tagender': 'actual', 'taidgender': 'perceived'})
)
student_eval[['actual', 'perceived']] = (
    student_eval[['actual', 'perceived']]
    .replace([0, 1], ['female', 'male'])
)
student_eval

```

	actual	perceived	prompt
0	female	male	4
1	female	male	5
2	female	male	5
...	...	...	...
43	male	female	4
44	male	female	2
45	male	female	4

43 rows × 3 columns

معنى الأعمدة كالتالي:

- **actual**: الجنس الحقيقي للمعلم.
- **perceived**: الجنس المعطى (المتصور) للطلاب للمعلم.
- **prompt**: تقييم الطلاب لأداء المعلمين في تصحيح الواجبات وإعادتها لهم من 1 إلى 5.

بعد تحليل ورسم البيانات من التجربة، يبدو أن هناك فرق في مجموعات الطلاب، بتصور الطالب للمعلم كأنه حصلت على تقييم أقل من تصور الطالب للمعلم ذكر؛ ولكن، نحتاج اختبار فرضية أساسية لترى إذا كان الفرق ببساطة بسبب التعيين العشوائي للطلاب:

&lt;/&gt;

```

avg_ratings = (student_eval
    .loc[:, ['actual', 'perceived', 'prompt']]
    .groupby(['actual', 'perceived'])
    .mean()
    .rename(columns={'prompt': 'mean prompt'})
)
avg_ratings

```

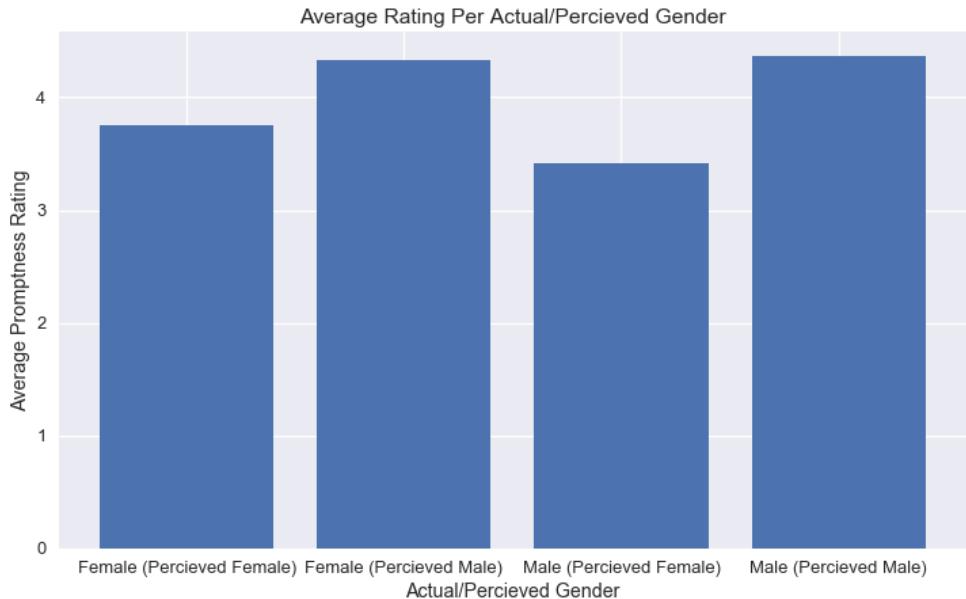
mean prompt		
actual	perceived	
female	female	3.75
	male	4.33
male	female	3.42
	male	4.36

&lt;/&gt;

```

fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 7))
ind = np.arange(4)
plt.bar(ind, avg_ratings["mean prompt"])
ax.set_xticks(ind)
ax.set_xticklabels(['Female (Percieved Female)', 'Female (Percieved Male)', 'Male (Percieved Female)', 'Male (Percieved Male)'])
ax.set_xlabel('Average Promptness Rating')
ax.set_ylabel('Actual/Percieved Gender')
ax.set_title('Average Rating Per Actual/Percieved Gender')
plt.show()

```



## تطبيق التجربة

سنقوم بحساب الفرق الواضح في متوسطات التقييم للمعلمين في المجموعات التي تم تحديد جنس المعلم لهم سواء ذكر أو أنثى:

```
</>
def stat(evals):
    # حساب اختبار الإحصاء على الدالة فريم
    avg = evals.groupby('perceived').mean()
    return avg.loc['female', 'prompt'] - avg.loc['male', 'prompt']

observed_difference = stat(student_eval)
observed_difference
```

-0.79782608695652169

نرى أن الفرق -0.8، في هذه الحالة، متوسط التقييم لمن تم تحديد وإبلاغهم عن جنس المعلم كأنثى أقل بحوالي 1 في المقاييس من 1 إلى 5. في هذا المقاييس، يظهر أن الفرق كبير جداً. بإجراء اختبار التبادل، يمكن أن نلاحظ فرقاً بهذا الحجم الكبير في نموذج العدم.

الآن، يمكننا تبديل الجنس المصور لكل معلم وحساب اختبار الإحصائية 1000 مرّة:

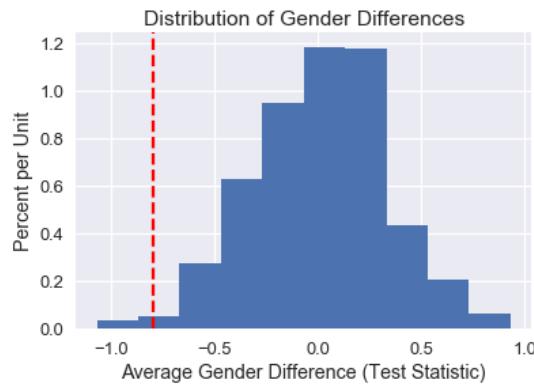
```
</>
def shuffle_column(df, col):
    # تنتج لنا الدالة نسخة جديدة من البيانات بعد خلطها
    result = df.copy()
    result[col] = np.random.choice(df[col], size=len(df[col]))
    return result

repetitions = 1000

gender_differences = np.array([
    stat(shuffle_column(student_eval, 'perceived'))
    for _ in range(repetitions)
])
```

نرسم توزيع البيانات التقريري للفرق في التقييم باستخدام التبادل، أظهرنا القيمة التي سبق أن اطلعنا عليها بالخط الأحمر المتقطع:

```
</>
differences_df = pd.DataFrame()
differences_df["gender_differences"] = gender_differences
gender_hist = differences_df.loc[:, "gender_differences"].hist(density=True)
gender_hist.set_xlabel("Average Gender Difference (Test Statistic)")
gender_hist.set_ylabel("Percent per Unit")
gender_hist.set_title("Distribution of Gender Differences")
plt.axvline(observed_difference, c='r', linestyle='--');
```



من عملية الحساب التالية، نجد أن القيم 1000 التي قمنا بمحاكاتها للبيانات، 18 فقط كان الفرق فيها عالي كالتي رأيناها. لذا، قيمة الاحتمالية -*p* أقل من قيمة الفصل 0.05 لذا نرفض فرضية العدم ونفضل الفرضية البديلة:

```
</>
متغيرات التوزيع #
sample_sd = np.std(gender_differences)
sample_mean = np.mean(gender_differences)
حساب القيمة الأعلى بينما
num_sd_away = (sample_mean - observed_difference)/sample_sd
right_extreme_val = sample_mean + (num_sd_away*sample_sd)
# حساب قيمة الإحتمالية p-value
num_extreme_left = np.count_nonzero(gender_differences <= observed_difference)
num_extreme_right = np.count_nonzero(gender_differences >= right_extreme_val)
empirical_P = (num_extreme_left + num_extreme_right) / repetitions
empirical_P
```

0.018

## ملخص اختبار التبادل

من خلال مراجعة اختبار التبادل، رأينا أن تقييم الطلاب للتدرис منحازة ضد المعلمين الإناث بقيمة كبيرة و هامة إحصائياً.

هناك دراسات أخرى اخترطت أيضاً الانحياز في تقييم التدرис. بناءً على بورنق، أوتوبيوني و ستارك (2016)، هناك اختبارات تبادل أخرى تم إجراءها افترضت أن تقييم المعلمين الذكور والإثاث هي عينات عشوائية مستقلة من مجتمع إحصائي موزع بشكل طبيعي مع عينات منتساوية؛ هذا النوع من تصميم التجارب لا يتطابق مع فرضية العدم، مما يجعل قيمة الاحتمالية *p*-value مضللة.

على العكس، بورنق، أوتوبيوني و ستارك (2016) يستخدم اختبار تبادل بناءً على توزيع عشوائي للطلاب في الأقسام. تذكر عندما قمنا باختبار التبادل لم نقم بأي فرضيات عن التوزيع في البيانات. في هذه التجربة، لم نفترض أن الطلاب، تقييم الطلاب للتدرис، الدرجات، أو أي من المتغيرات الأخرى تحتوي على عينات عشوائية من أي مجتمع إحصائي، مجتمع إحصائي أقل بكثير و بتوزيع طبيعي.

عند اختبار فرضية، من المهم اختيار تصميم تجربتك وفرضية العدم من أجل الحصول على نتائج موثوقة.

## المصطلحات العربية وترجمتها

## مبادئ وتقنيات علم البيانات

## المصطلحات العربية وترجمتها

في هذه الصفحة سيتم كتابة المصطلحات الإنجليزية المستخدمة في الكتاب ومرادفها بالعربية، في كثير من الأحيان لا يوجد مصطلح عربي مناسب واضح المعنى لكلمة ما، فسيتم استخدام المصطلح العربي الشائع بالإضافة إلى شرح للمعنى أو تعريف إن وجد، إذا أحتاج الأمر سيتم إضافة روابط باللغة العربية أو الإنجليزية للمساعدة لشرح أكثر عن المصطلح ومعناه بشكل صحيح:

المصطلح الإنجليزي	المصطلح العربي	المعنى	روابط مساعدة
Dataset	بيانات	مجموعة بيانات متكونة على شكل جدول أو قاعدة بيانات	
Data Design	تصميم البيانات	كيفية بناء البيانات، تختلف كل قاعدة بيانات عن أخرى حسب مُصممها	

المصطلح الإنجليزي	المصطلح العربي	المعنى	روابط مساعدة
مجموعة	مجموعة (مصفوفة أحادية البعد)	مجموعة بيانات متكونة على شكل مصفوفة أحادية البعد	
قاموس	Dictionary	مشابهة للمصفوفات لكن تحتوي على مفتاح لكل قيمه Key/Value	
متتجه	Vector	طريقة لعرض البيانات على شكل مصفوفة بسطر واحد أو عمود واحد	
مصفوفة / مصفوفات	Matrix\Matrices	طريقة لعرض البيانات، تستخدم بشكل كثير في العمليات الحسابية وخوارزميات تعلم الآلة وغيرها، تحتوي على أشكال وأحجام مختلفة	
الكلاس / الصنف	Class	هي جميع الدوال، المتغيرات، الخصائص التي تتعلق بالكائن Object	
المجتمع الإحصائي	Population	مجموعة من البيانات لديها عناصر مشابهة	
عينة الحصة	Quota Sampling	عينة تحتوي على بعض أو كل صفات و سمات المجتمع الإحصائي	
معلمة	Parameter	في الإحصاء: مقاييس إحصائي يحسب من كافة مفردات المجتمع دون استثناء، في البرمجة: قيمة يتم تمثيلها للدوال أو العمليات الحسابية	 
متغير	Variable	في الإحصاء، قيمة متغيرة من شخص لآخر، مثل الطول والوزن	
متغير ليس له قيمة ثابتة	Random variable		
عينة	Sample	جزء من المجتمع الإحصائي يستخدم لتمثيله	
مُصنف	Classifier	الخوارزمية التي تقوم بتصنيف البيانات وتقسيمهما	
نموذج	Model	يطلق على النتيجة بعد تعلم الآلة، النموذج يتعلم عن طريق الخوارزميات، ثم يتم اختباره على بيانات حقيقة	
خصائص / متغيرات	Features	عند تكوين النموذج، نحدد الخصائص التي يعتمد عليها النموذج لإجراء التنبؤات	
ضبط	Fit	ضبط النموذج بأفضل المتغيرات لتجهيزه للتدريب	
تدريب	Train	تدريب النموذج على البيانات المتوفرة ونتائجها	
التوقع / التنبؤ	Predict	النتائج من النموذج بعد تدريبه	
الوزن	Weight	متغير قابل للتعلم، يستخدم أرقام عشوائية داخل النموذج حتى يصل للنتيجة مناسبة	 
التشويه	Noise	بيانات عشوائية وغير منتظمة مع بقية البيانات	 
تحيز / انحياز	Bias	انحياز البيانات لجزء أو قيمه معينة، مدى بعد النتائج من الأرجوحة أو التوقعات الصحيحة	
التبابن	Variance	عندما يؤدي النموذج بشكل جيد فقط على بياناته، عندما يواجه بيانات جديد، لا يؤدي بنفس الجودة التي يؤديها على بيانات التدريب	
بوتسtrap	Bootstrap	عينة من المجتمع تمثله بشكل جيد	
نزول اشتتاقي	Gradient Descent	طريقة لتحسين النتائج، في كل خطوة يتم تكرار العمليات حتى تصل للمتغيرات المثالية والتي تقلل من دالة التكلفة	 
دالة التكلفة	Cost Function	دالة تقسيس مدى سوء نتائج النموذج	
دالة الخسارة	Loss Function	دالة تستخدم لقياس النتائج التي تم تصفيتها بشكل خاطئ عن طريق حساب مدى بعدها عن النتائج الحقيقية	  
الخطر التجاري	Empirical Risk	دالة نتيجة تأتي عن طريق إيجاد متوسط دالة الخسارة المستخدمة في البيانات	
دالة التنشيط	Activation function	توجد أنواع مختلفة من دوال التنشيط، جميعها هدفها استقبال مدخلات في الشبكات العصبية وإخراجها بعد التعلم منها	 
الضبط	Regularization	طريقة للتقليل من تباين النموذج والتخلص من فرط التخصيص	 
التسوية	Normalization	إعادة تعريف القيم في الأعمدة الرقمية لتكون بين الرقمن 0 و 1 بشكل مدرج دون التأثير على الفرق بين تلك القيم	 
التوحيد	Standardization	طريقة أخرى لإعادة تعريف القيم في الأعمدة الرقمية لتكون أقرب إلى المتوسط	 
التعلم الموجه	Supervised learning	يعتمد على البيانات المعلمة في التعلم، يتم تقديم هذه البيانات ونتائجها وتدریب الآلة عليها	
التعلم غير الموجه	Unsupervised learning	عكس التعلم الموجه، الآلة تُعطي بيانات وتتعلم من نفسها عن طريق تجميع البيانات التي لدينا إلى مجموعات حسب ما تتشابه فيه	

روابط مساعدة	المعنى	المصطلح العربي	المصطلح الإنجليزي
	أداة تستخدم لقياس أداء ودقة نتائج النماذج	مصفوفة الدقة	Confusion Matrix

## المكاتب المستخدمة في الكتاب ودوالها

### مقدمة

هذا الملحق يحتوي على جداول لدوال المكتبات المستخدمة في هذا الكتاب `pandas`, `seaborn`, `matplotlib` و `scikit-learn`. هدف هذه الجداول أن تكون ملخص ومرجع مفيد للدوال الأكثر استخداماً في هذا الكتاب.

كل مكتبة، قمنا بإضافة الدالة، الفصل الذي استخدمت في الدالة أول مرة، وشرح بسيط عن طريقة عملها.

### Pandas

الوصف	الفصل	الدالة
إنشاء DataFrame من مصفوفة أو قاموس ثنائي الأبعاد <code>data</code>	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>(pd.DataFrame(data</code>
قراءة ملف من النوع CSV في المسار <code>filepath</code> ك DataFrame	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>(pd.read_csv(filepath</code>
إظهار أول <code>n</code> سطر في مصفوفة أحادية البعد أو DataFrame	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>(pd.DataFrame.head(n=5</code> <code>(pd.Series.head(n=5</code>
إظهار الأرقام التسلسلية لـ DataFrame وأسماء الأعمدة	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>pd.DataFrame.index</code> <code>pd.DataFrame.columns</code>
عرض معلومات إحصائية عن مصفوفة أحادية البعد أو DataFrame	تحليل الاستكشافي للبيانات	<code>()pd.DataFrame.describe</code> <code>()pd.Series.describe</code>
عرض القيم الفريدة (غير مكررة) في مصفوفة أحادية البعد	تحليل الاستكشافي للبيانات	<code>()pd.Series.unique</code>
عرض عدد مرات تكرار كل قيمة فريدة (غير مكررة) تظهر في المصفوفة أحادية البعد	تحليل الاستكشافي للبيانات	<code>()pd.Series.value_counts</code>
من DataFrame <code>df</code> , أظهر العمود <code>col</code> كمصفوفة أحادية البعد	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>[df[col</code>
من DataFrame <code>df</code> , أظهر العمود <code>col</code> ك DataFrame	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>[[df[[col</code>
من DataFrame <code>df</code> , أظهر لنا السطر ذو الاسم <code>row</code> باسم عموده <code>col</code> ; يمكن تبديل <code>row</code> بمصفوفة أحادية (True/False) بعد بقيم منطقية (True/False)	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>[df.loc[row, col</code>
من DataFrame <code>df</code> , أظهر لنا السطر ذو الرقم التسلسلي <code>row</code> باسم عموده <code>col</code> ; يمكن تبديل <code>row</code> بمصفوفة أحادية بعد بقيم منطقية (True/False)	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>[df.iloc[row, col</code>
إظهار القيم المفقودة في مصفوفة أحادية البعد أو DataFrame	تنظيف البيانات	<code>()pd.DataFrame.isnull</code> <code>()pd.Series.isnull</code>
تعبيء القيم المفقودة في المصفوفة أحادية البعد أو DataFrame بالقيمة في المتغير <code>value</code>	تنظيف البيانات	<code>(pd.DataFrame.fillna(value</code> <code>(pd.Series.fillna(value</code>
حذف الأسطر أو الأعمدة	تنظيف البيانات	<code>(pd.DataFrame.dropna(axis</code> <code>(pd.Series.dropna</code>
حذف الأسطر أو الأعمدة التي اسمها <code>labels</code> من DataFrame من المحور <code>axis</code>	تنظيف البيانات	<code>(pd.DataFrame.drop(labels, axis</code>
إعادة تسمية الأسطر أو الأعمدة في DataFrame	تنظيف البيانات	<code>(pd.DataFrame.rename</code>
تبديل القيمة <code>to_replace</code> إلى القيمة <code>value</code> في DataFrame	تنظيف البيانات	<code>pd.DataFrame.replace(to_replace,</code> <code>(value</code>
إعادة تعين الأرقام التسلسلية في DataFrame؛ تلقائياً، يتم حفظ الأرقام السابقة في عمود جديد إلا إذا تم وضع المتغير <code>drop=True</code>	تنظيف البيانات	<code>(pd.DataFrame.reset_index(drop=False</code>
ترتيب DataFrame بناءً على العمود في المتغير <code>by</code> ، الترتيب التلقائي تصاعدي	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<code>pd.DataFrame.sort_values(by,</code> <code>(ascending=True</code>

الوصف	الفصل	الدالة
إنشاء كائن DataFrame يحتوي على مجمعة بناءً على العمود في المتغير by	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	(pd.DataFrame.groupby(by
تطبيق الدالة <function mean()> لكل مجموعة في الكائن GroupBy ؛ مثال: <function count()>	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<GroupBy.<function
تطبيق الدالة <function mean()> على مصفوفة أرقام أحادية بعد؛ مثال: <function max()>, <function median()>	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<pd.Series.<function
تطبيق الدالة <function len()> على مصفوفة نسبة أحادية بعد؛ مثال: <function lower()>, <function split()>	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<pd.Series.str.<function
استخراج القيمة <property year> من مصفوفة تاريخ month ؛ مثال: <property date>	بيانات المجدولة ومكتبة بانداز	<pd.Series.dt.<property
تحويل القيم الاسمية في العمود columns لقيم وهمية columns ؛ الوضع التلقائي بإبقاء جميع القيم إلا إذا تم تحديد المتغير drop_first=True	—	pd.get_dummies(columns, drop_first=False
جمع اثنين DataFrame في المتغيرات left و right معاً باستخدام العمود في المتغير on؛ بناءً على طريقة how في المتغير	التحليل الاستكشافي للبيانات / قواعد البيانات العلاقة SQL و	(pd.merge(left, right, how, on
قراءة أمر SQL في المتغير sql في قاعدة البيانات DataFrame المتصل بها في con، تعود النتيجة DataFrame	قواعد البيانات SQL والعلاقة	(pd.read_sql(sql, con

## Seaborn

الوصف	الفصل	الدالة
إنشاء مخطط تشتت لـ x و y من DataFrame data، وبشكل تلقائي يظهر لنا خط انحدار المربعات الصغرى	تصوير البيانات	sns.lmplot(x, y, data, (fit_reg=True
إنشاء مخطط المدرج التكراري لـ a، وبشكل تلقائي يظهر لنا تقدير للكثافة	تصوير البيانات	sns.distplot(a, (kde=True
إنشاء مخطط شريطي لـ x و y من DataFrame data، يتم تحليلها اختيارياً بالخيارات hue في المتغير ci=None (ci=95) بتحديد الخيار	تصوير البيانات	sns.barplot(x, y, (hue=None, data, ci=95
إنشاء مخطط شريطي لمجموع القيم الفريدة في المتغير x في DataFrame data، يتم تحليلها اختيارياً بناءً على المتغير النوعي hue	تصوير البيانات	sns.countplot(x, (hue=None, data
إنشاء مخطط صندوق لـ y، يتم تحليله اختيارياً بناءً على المتغير النوعي x، من DataFrame data	تصوير البيانات	sns.boxplot(x=None, y, (data
إذا كانت y=None، أنشأ مخطط كثافة بمتغير واحد x؛ إذا تم تحديد y، أنشأ مخطط كثافة ثنائية	تصوير البيانات	(sns.kdeplot(x, y=None
جمع مخطط التشتت الثنائي المكون من x و y من DataFrame data، مع مخطط كثافة ذو المتغير الواحد يتم رسم خط كل متغير في المحاور	تصوير البيانات	sns.jointplot(x, y, (data
جمع وأنشاء مخطط الصندوق و مخطط كثافة للمتغير y، يتم تحليله اختيارياً بناءً على المتغير النوعي x، من DataFrame data	تصوير البيانات	sns.violinplot(x=None, (y, data

## matplotlib

### أنواع الرسومات

الوصف	الفصل	الدالة
إنشاء مخطط تشتت لـ x و y	تصوير البيانات	(plt.scatter(x, y
إنشاء مخطط خطى لـ x و y	تصوير البيانات	(plt.plot(x, y
إنشاء مخطط المدرج التكراري لـ x. المتغير bins يمكن أن يكون رقم أو أرقام تسلسلية	تصوير البيانات	plt.hist(x, (bins=None
إنشاء مخطط شريطي. x تحدد تنسيق الأشرطة، و height تحدد طول الأشرطة	تصوير البيانات	(plt.bar(x, height
إنشاء خط عمودي على القيمة المحددة في المتغير x	تصوير البيانات	(plt.axvline(x=0
إنشاء خط أفقي على القيمة المحددة في المتغير x	تصوير البيانات	(plt.axhline(y=0

الوصف	الفصل	الدالة
السماح بالرسوم البيانية أن تظهر في نفس الصفحة بدلاً من صفحة منفصلة	تصوير البيانات	<code>matplotlib inline%</code>
إنشاء رسم بياني بعرض 3 وطول 5 إنش	تصوير البيانات	<code>plt.figure(figsize=(3, 5))</code>
تحديد حد للمحور x-limits	تصوير البيانات	<code>(plt.xlim(xmin, xmax</code>
تحديد عنوان للمحور	تصوير البيانات	<code>(plt.xlabel(label</code>
تحديد عنوان للمحاور / الرسم البياني	تصوير البيانات	<code>(plt.title(label</code>
إضافة عنوان تفصيلي / تفسيري للرسم البياني	تصوير البيانات	<code>(plt.legend(x, height</code>
إنشاء رسم بياني ومجموعة من الرسوم البيانية داخلة	تصوير البيانات	<code>()fig, ax = plt.subplots</code>
عرض الرسم البياني	تصوير البيانات	<code>()plt.show</code>

**scikit-learn**

## النماذج واختيارها

الوصف	الفصل	الدالة	الإستدعاء
ينتج عنها قسمين من المصفوفة المرسلة في الدالة، نصف فيه 0.8 من المصفوفة والنصف الآخر 0.2	النماذج والتوقعات	<code>train_test_split(*arrays, test_size=0.2</code>	<code>sklearn.model_selection</code>
إنشاء نموذج الانحدار الخطى للمربعات الصغرى	النماذج والتوقعات	<code>()LinearRegression</code>	<code>sklearn.linear_model</code>
إنشاء نموذج خطى Lasso (الضبط L1) يختار أفضل المتغيرات باستخدام التحقق المتقاطع	النماذج والتوقعات	<code>()LassoCV</code>	<code>sklearn.linear_model</code>
إنشاء نموذج خطى Ridge (الضبط L2) يختار أفضل المتغيرات باستخدام التتحقق المتقاطع	النماذج والتوقعات	<code>()RidgeCV</code>	<code>sklearn.linear_model</code>
إنشاء نموذج خطى ElasticNet (الضبط L1 و L2) يختار أفضل المتغيرات باستخدام التتحقق المتقاطع	النماذج والتوقعات	<code>()ElasticNetCV</code>	<code>sklearn.linear_model</code>
إنشاء نموذج انحدار لوجستي	النماذج والتوقعات	<code>()LogisticRegression</code>	<code>sklearn.linear_model</code>
إنشاء نموذج انحدار لوجستي يختار أفضل المتغيرات باستخدام التتحقق المتقاطع	النماذج والتوقعات	<code>()LogisticRegressionCV</code>	<code>sklearn.linear_model</code>

## العمل مع النماذج

الوصف	الفصل	الدالة
ضبط النموذج باستخدام الخصائص X والنتائج y	النماذج والتوقعات	<code>(model.fit(X, y</code>
إيجاد التوقعات لـ X باستخدام النموذج model	النماذج والتوقعات	<code>(model.predict(X</code>
إيجاد دقة النتائج للتوقعات القيم X مقارنة بالنتائج الصحيحة في y	النماذج والتوقعات	<code>(model.score(X, y</code>

