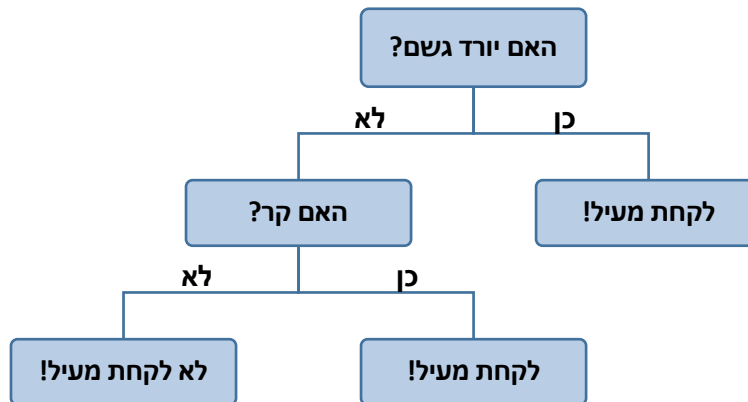


הקדמה

בתרגיל זה נתרגל שימוש בעצים כמבנה נתונים.

בתרגיל נעבוד עם עצים בינאריים מושרשים, ובפרט נעבוד עם עצי החלטה. עץ בינארי הוא עץ בו לכל קודקוד יש לכל היותר שני בנים. אנו נעסוק בעצים בהם לכל קודקוד יש בדיוק 2 בנים, מלבד העלים, שלכל אחד מהם יש 0 בנים. יש לציין ששורש ללא בנים הוא גם עלה (עץ בעל קודקוד אחד). עץ החלטה הוא עץ בינארי בו כל קודקוד שאיננו עלה מייצג שאלת כן ולא. לכל קודקוד יש בן אחד המתאים לתשובה "כן" ובן אחד המתאים לתשובה "לא". כשנעבור על קודקודי העץ, בכל שלב נתבונן בשאלה על הקודקוד הנוכחי, נבדוק אם התשובה היא כן או לא, ואז נתקדם לבן המתאים. כל עלה מייצג החלטה שנקבל בהתאם למסלול שעברנו מהשורש עד אליו.

דוגמא לעץ החלטה פשוט הינה:



בעץ ההחלטה הנ"ל השורש הוא קודקוד המייצג את השאלה "האם יורד גשם?". לקודקוד זה יש שני בנים. הבן הימני מתאים לתשובה "כן", ומשום שהוא עלה הוא מייצג החלטה והיא "לקחת מעיל!". הבן השמאלי מתאים לתשובה "לא", והוא מייצג את השאלה "האם קר?". לקודקוד זה שני בנים, הבן הימני מתאים לתשובה "כן", ומשום שהוא עלה הוא מייצג החלטה והיא "לקחת מעיל!". הבן השמאלי מתאים לתשובה "לא", ומשום שהוא עלה הוא מייצג החלטה והיא "לא לקחת מעיל!".

נשים לב שעץ החלטה יכול להכיל גם רק קודקוד אחד – שורש העץ, שיהיה גם עלה במקרה זה ומייצג החלטה (ללא כל שאלות מקדימות שמביאות להחלטה).

שלד הקובץ ex11.py

על מנת לפתור את התרגיל תקבלו קובץ עם שלד איתו תעבדו.

1. בקובץ זה מוגדרת המחלקה **Node**.

כל אובייקט מסוג **Node** הינו קודקוד בעץ, כאשר **Node** מכיל את השדות הבאים:

- השדה **data**: שדה זה מכיל ערך מסוג **String**. אם ה-**Node** איננו עלה, השדה מייצג את השאלה שנשאלת בקודקוד זה. אם ה-**Node** הינו עלה, השדה מייצג את ההחלטה שהתקבלה בעלה זה. שימו לב כי במידה וה-**Node** הוא עלה, השדה יכול גם לקבל את הערך **None** – מבחינתנו זה מייצג קודקוד ריק, או "חוסר החלטה".
- השדות **positive_child** ו-**negative_child**: אם ה-**Node** איננו עלה, בשדות אלו יופיעו אובייקטים מסוג **Node**, כאשר ב-**positive_child** יהיה הבן התואם לתשובה "כן" על השאלה ב-**data** וב-**negative_child** יופיע הבן התואם לתשובה "לא". אם ה-**Node** הינו עלה, בשני השדות יהיה הערך **None**.

שדות המחלקה מתוארים גם בטבלה הבאה:

Field	Type	Description
data	String	Non-leaf node - The question asked at this node. Leaf node - The decision indicated by this leaf, or None if there is no decision on this leaf.
positive_child	Node	Non-leaf node - The node that matches a positive answer to the question. Leaf node – None.
negative_child	Node	Non-leaf node - The node that matches a negative answer to the question. Leaf node - None

כמו כן, ל-**Node** יהיה הבנאי (constructor) הבא:

Node(data, positive_child=None, negative_child=None)

הבנאי ייצור אובייקט מסוג **Node** עם הארגומנטים כשדות.

2. בקובץ זה מוגדרת המחלקה **Record** (מעתה ואילך **Record** ייקרא גם רשומה).

- Record** מכיל את השדות הבאים:

i. השדה **illness**: בשדה זה יהיה **String** עם שם של מחלה כלשהי.

בית הספר להנדסה ומדעי המחשב ע"ש רחל וסלים בנין

ii. השדה **symptoms**: בשדה זה תהיה רשימה של אובייקטים מסוג String שכל אחד מהם מייצג סימפטום אפשרי. שימו לב כי רשימה זו יכולה להיות ריקה.

- ל- **Record** יש את הבנאי (constructor) הבא:

Record (illness, symptoms)

הבנאי ייצור אובייקט מסוג Record עם הארגומנטים כשדות.

- לדוגמא, ברשומה מסוימת יכולים להיות השדות הבאים:

```
record.illness == "covid-19"
```

```
record.symptoms == ["fever", "fatigue", "headache", "nausea"]
```

3. בקובץ תהיה גם הפונקציה :

parse_data(filepath)

הפונקציה תקבל נתיב של קובץ ותחזיר רשימה של אובייקטים מסוג Record. כל איבר ברשימה מייצג חולה אחד שאובחן במחלה illness ויכיל את הסימפטומים symptoms שנלוו לה. הפורמט של הקובץ הנ"ל הוא: קובץ טקסט, כאשר כל שורה בו מכילה מילים המופרדות ברווח, המילה הראשונה היא שם מחלה והמילים שאחריה יהיו שמות הסימפטומים. תיתכן שורה עם מחלה ללא סימפטומים. בנוסף, הקובץ מסתיים בשורה ריקה. תוכלו לראות קבצים לדוגמה בתיקייה Data המצורפת לתרגיל זה.

4. בקובץ זה מוגדרת המחלקה **Diagnoser**

Diagnoser מכיל את השדה root שבו יהיה Node שמייצג שורש של עץ. למחלקה זו יהיה את הבנאי (constructor) הבא:

Diagnoser(root)

הבנאי ייצור אובייקט מסוג Diagnoser וישמור את השורש בשדה root.

ניתן להניח שהעץ המתקבל, המיוצג על ידי השורש, הוא עץ החלטה תקין (כפי שהוגדר), ואין לשנות את העץ בכל אחת ממתודות המחלקה Diagnoser כדי לשמור על תקינותו.

בחלק א' של התרגיל יהיה עליכם לממש את יתר המתודות במחלקה זו.

הערה: ניתן להוסיף מתודות למחלקות הקיימות בקובץ השלד לפי הצורך. שימו לב שאסור לכם לשנות את שמות השדות שהוגדרו במחלקות, וכן אין צורך לרשום מתודות getters ו-setters עבורן – עליכם לגשת לשדות אלו בצורה ישירה.

חלק א' – שימוש בעץ החלטה

בחלק זה נניח שכבר בנינו עץ החלטה. עץ ההחלטה כולו ייוצג על ידי שורש העץ שהינו אובייקט מסוג Node. שימו לב שבקובץ השלד שקיבלתם נבנה עבורכם עץ ידנית ונכתבה דוגמא לשימוש בו (בחלק השני של התרגיל תבנו עצי החלטה). כל הפונקציות בחלק זה הינן מתודות של המחלקה Diagnoser. המחלקה Diagnoser תקבל שורש של עץ החלטה, תשמור אותו כשדה, וכל יתר הפונקציות ישתמשו באותו העץ. חשוב לציין שעל כל המתודות של Diagnoser לא לשנות את מבנה העץ או את המידע השמור עליו כלל.

1. ממשו את המתודה:

diagnose(self, symptoms)

שמקבלת רשימה של סימפטומים "ומאבחנת" איזו מחלה מתאימה להן לפי עץ ההחלטה השמור ב-self. הפונקציה תתחיל מהשורש, תבדוק האם הסימפטום עליו שואל השורש נמצא ברשימת הסימפטומים, ותתקדם לבן המתאים. כלומר, אם הסימפטום נמצא ברשימה יש להתקדם לבן שתואם לתשובה "כן", ואם הוא לא נמצא ברשימה יש להתקדם לבן שתואם לתשובה "לא". לאחר מכן, יש לחזור על אופן הפעולה עד שמגיעים לעלה. הפונקציה תחזיר את המחלה שנמצאת על העלה שהגיעה אליו.

2. ממשו את המתודה:

calculate_success_rate(self, records)

חישוב אחוז הצלחה של עץ:

המתודה תקבל רשימה של אובייקטים מסוג Record, ותשתמש בשורש של עץ ההחלטה השמור ב-self. המתודה תחזיר את היחס בין מספר ההצלחות של העץ על הרשומות ב-records לבין מספר הרשומות בסה"כ. כדי לעשות זאת, המתודה תעבור על כל אחת מהרשומות ברשימה records, תחשב דיאגנוזה עבור הרשימה symptoms מתוך הרשומה (תוך שימוש בשורש העץ שב-self) ותבדוק האם התקבלה המחלה illness מתוך אותה רשומה. המתודה תחלק את מספר הפעמים בהן התקבלה המחלה הנכונה במספר הרשומות בסה"כ ותחזיר את התוצאה.

חריגות: במידה ואורך הרשימה records הוא 0, יש לזרוק Exception מסוג ValueError עם הודעה מתאימה.

3. ממשו את המתודה:

all_illnesses(self)

המתודה תשתמש בשורש עץ ההחלטה השמור ב- self ותחזיר רשימה של כל המחלות השמורות על עלי העץ. כלומר, יש להגיע לכל עלי העץ ולשמור את שדה ה- data של כל עלה. שימו לב שבמידה ושדה ה- data של עלה מסוים מכיל את הערך None, ערך זה אינו נחשב למחלה, ואין לכלול את הערך None ברשימת הפלט. על כל מחלה להופיע ברשימה פעם אחת בלבד. כמו כן, על הרשימה להיות ממוינת על פי שכיחות המחלות בעץ. מחלה שמופיעה הכי הרבה פעמים בעלי העץ תהיה הראשונה ברשימה, ומחלה שמופיעה הכי מעט פעמים בעלי העץ תהיה האחרונה ברשימה. עבור מספר מחלות עם שכיחות זהה (מופיעות מספר זהה של פעמים בעלי העץ), הסדר ביניהן לא משנה. ניתן וכדאי להשתמש באלגוריתמים שנלמדו בכיתה למעבר על קודקודי עץ.

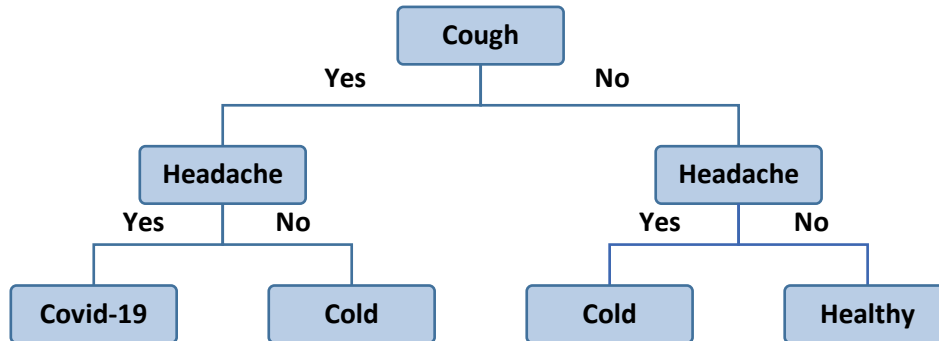
4. ממשו את המתודה:

paths_to_illness(self, illness)

שמקבלת ארגומנט illness מסוג String, או הערך None.

- המתודה תעבור בכל המסלולים בעץ ותחזיר רשימה של כל המסלולים שמגיעים לעלה שעליו המחלה illness.
- כדי לייצג מסלול נשים לב שמספיק להגיד מה התשובה שנתנו בכל אחד מקודקודי העץ. כלומר, עבור כל מסלול שמסתיים במחלה illness מתאימה רשימה של ערכי True, False כך שבמקום ה- i ברשימה יהיה True אם בצעד ה- i ענינו "כן", ואחרת במקום ה- i ברשימה יהיה False. שימו לב כי אנו מתחילים לספור את הצעדים בצעד ה-0.
- חשוב לציין כי ייתכן שיהיו כמה מסלולים שיגיעו לאותה המחלה (בעלים שונים בעץ). לכן, ערך ההחזרה אמור להיות רשימה של רשימות. בכל אחת מהרשימות הפנימיות יהיו רק ערכי True, False המייצגים את המסלולים. אם אין אף מסלול המגיע למחלה, יש להחזיר רשימה ריקה. אין חשיבות לסדר הופעת הרשימות הפנימיות (המסלולים).
- במידה וערכו של illness מכיל את הערך None, המתודה תחזיר את רשימת כל המסלולים הפתוחים, כלומר מסלולים שמסתיימים בעלה שערכו None.

- לדוגמא, עבור העץ הבא:



הקריאה:

```
paths_to_illness(self, "Cold")
```

תחזיר את הרשימה:

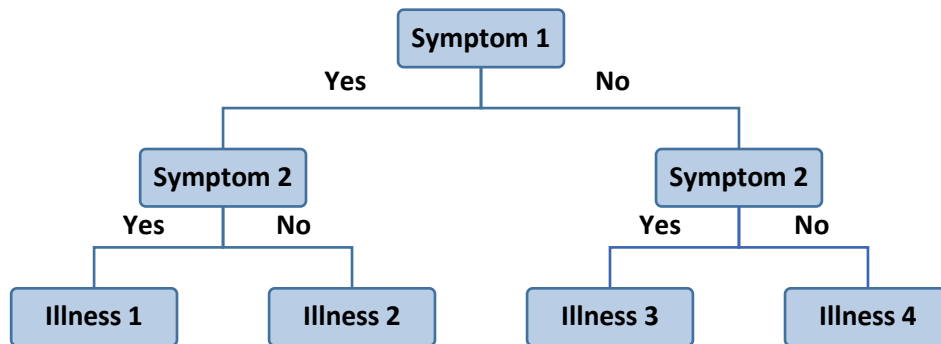
```
[[True, False], [False, True]]
```

- שימו לב שהעץ לא בהכרח מאוזן, ובנוסף יכולות להיות שאלות שונות בבן השמאלי ובבן הימני של אותו קודקוד (הסימפטום עליו שואל הבן הימני יכול להיות שונה מהסימפטום עליו שואל הבן השמאלי).

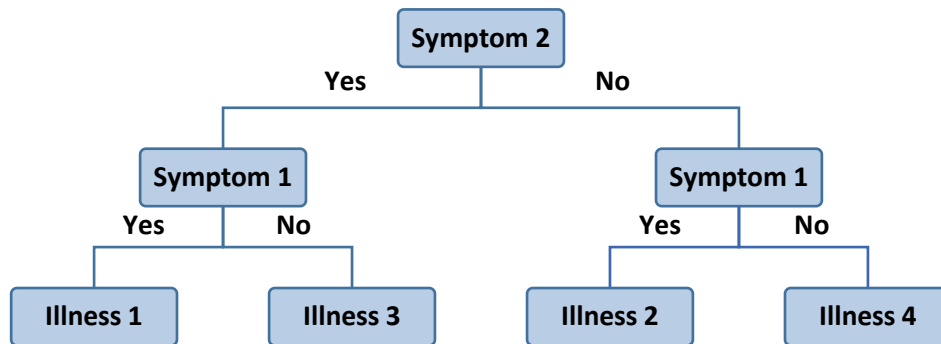
חלק ב' - בניית עץ החלטה

בחלק זה נבנה עץ החלטה עם אחוז הצלחה גבוה עבור המידע שהתקבל מ- `parse_data`. שימו לב כי אם נשאל על כל אחד מהסימפטומים האפשריים נוכל יחסית בקלות לבנות עץ החלטה אופטימלי (כיצד היינו עושים כזה דבר?). לכן, נרצה להגביל את עצי ההחלטה שלנו לעצים ששואלים על מספר קטן יחסית של סימפטומים.

כמו כן, שימו לב שאם עץ תמיד שואל על אותה קבוצה של סימפטומים לפני שהוא מגיע לעלה, אז סדר השאלות לא משנה. מכאן שהעץ:



והעץ:



יחזירו בדיוק את אותה דיאגנוזה עבור כל רשימת סימפטומים. שכנעו את עצמכם שקביעה זו נכונה.

שימו לב כי הפונקציות הבאות (סעיפים 5-6) אינן מתודות של Diagnoser.

5. ממשו את הפונקציה:

build_tree(records, symptoms)

records זו רשימה של אובייקטים של המחלקה Record, ו-symptoms זו רשימה שכל איבריה מסוג string הפונקציה תבנה עץ השואל בדיוק על הסימפטומים ברשימה symptoms לפי סדר הופעתם ברשימה, ותחזיר אובייקט Diagnoser עבור העץ שנבנה. העץ שפונקציה זו בונה בנוי כך: בשורש ישאלו על symptoms[0], בבניו ישאלו על symptoms[1], וכן הלאה. ניתן לעשות זאת בכך שבשורש העץ נשים את הערך הראשון ברשימה, symptoms[0], ואז בכל אחד מבניו נבנה תת עץ השואל על כל יתר הסימפטומים ב-symptoms. באופן זה, בכל עומק בעץ כל הצמתים המקבילים יבדקו את אותו הסימפטום. שימו לב כי זוהי הגדרה רקורסיבית. שימו לב שניתן כי אותו סימפטום מופיע יותר מפעם אחת ברשימה symptoms – במקרה זה יהיו כמה רמות בעץ ששואלות על אותו סימפטום.

כשנגיע לעלה בעץ נצטרך לבחור מחלה כלשהי שהיא האבחנה שמספק העץ במקרה זה. "המתמודדים" מבין כל המחלות הן המחלות שמופיעות ברשומות שתואמות את המסלול משורש העץ עד לעלה. נאמר שרשומה תואמת למסלול אם כל הסימפטומים עליהם אמרנו "כן" לאורך המסלול מופיעים ברשימת הסימפטומים ברשומה וכל הסימפטומים עליהם אמרנו "לא" לא מופיעים ברשימת הסימפטומים. כדי למזער את השגיאה של דיאגנוזה עתידית, נבחר לבנות את העץ כך שבכל עלה תופיע המחלה המופיעה במספר המרבי של רשומות התואמות למסלול שמתחיל משורש העץ ומגיע עד לאותו עלה. שימו לב כי העץ לא בהכרח יכול את כל הסימפטומים או המחלות המופיעים ב-records.

אם עבור עלה מסוים נתקלנו במקרה של שוויון בין מספר מחלות שונות (כלומר, יש יותר ממחלה אחת שמופיעה במספר המרבי של רשומות התואמות למסלול שמתחיל משורש העץ ומגיע עד לאותו עלה), אז ניתן לבחור כל אחת מהמחלות הנ"ל. בנוסף, במקרה בו לא נמצאה אף רשומה תואמת למסלול משורש העץ עד לעלה, נבחר לשים בעלה זה את הערך None.

לא ניתן להניח שהרשימות records, symptoms לא ריקות. נשים לב שאם הרשימה symptoms ריקה קודקוד השורש של העץ שנבנה יהיה עלה.

חריגות: במידה והרשימה records מכילה איבר שאינו אובייקט מסוג Record, או שהרשימה symptoms מכילה איבר שאינו מחרוזת, יש לזרוק Exception מסוג TypeError עם הודעה מתאימה.

6. ממשו את הפונקציה

optimal_tree(records, symptoms, depth)

הפונקציה תחזיר אובייקט מסוג Diagnoser עבור עץ עם אחוז ההצלחה הגבוה ביותר שתמיד שואל על מספר סימפטומים השווה ל-depth. כדי לעשות זאת, הפונקציה תעבור על כל תתי הקבוצות בגודל depth של קבוצת

בית הספר להנדסה ומדעי המחשב ע"ש רחל וסלים בנין

הסימפטומים, symptoms, תבנה עץ השואל בדיוק על הסימפטומים בתת הקבוצה שנבחרה (בעזרת הפונקציה build_tree), ותבדוק את אחוז ההצלחה על אותו העץ (עבור חישוב אחוז הצלחה - בנינו פונקציה בחלק הראשון של התרגיל).

ניתן להשתמש בפונקציה combinations כדי לבנות את כל תתי הקבוצות בגודל מסוים.

ניתן לקרוא על הפונקציה ולראות דוגמאות לשימוש בה בקישור הבא:

<https://docs.python.org/3.7/library/itertools.html#itertools.combinations>

שימו לב שהפונקציה לא מחזירה רשימה אלא איטרטור (iterator). אתם יכולים להתמודד עם ערך ההחזרה שלו ע"י המרתו ל-list, או להשתמש בו בלולאת for בדרך הבאה:

```
for x in itertools.combinations():
```

...

בסוף התהליך הפונקציה תחזיר אובייקט Diagnoser המאותחל עם השורש של העץ עם אחוז ההצלחה הגבוה ביותר.

שימו לב שעבור $depth = 0$, יש תת קבוצה אחת בגודל 0 והיא הקבוצה הריקה. כלומר, נקבל עץ שקודקוד השורש שלו הוא עלה.

חריגות: במידה והפרמטר depth אינו מקיים את התכונה $len(symptoms) \geq depth \geq 0$, או שהרשימה symptoms מכילה סימפטום כפול, יש לזרוק Exception מסוג ValueError עם הודעה מתאימה. במידה והרשימה records מכילה איבר שאינו אובייקט מסוג Record, או שהרשימה symptoms מכילה איבר שאינו מחרוזת, יש לזרוק Exception מסוג TypeError עם הודעה מתאימה.

דוגמא עבור הפונקציות 5,6:

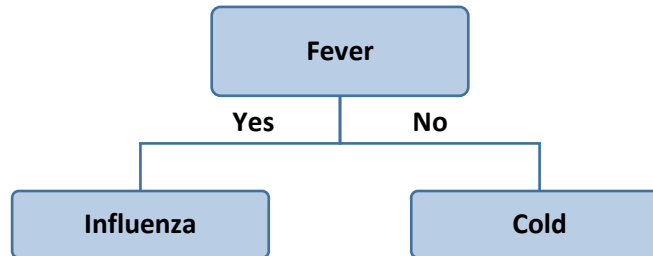
עבור הרשימה records הבאה:

```
record1 = Record("influenza", ["cough", "fever"])
record2 = Record("cold", ["cough"])
records = [record1, record2]
```

נצפה ששתי הקריאות:

```
build_tree(records, ["fever"])
optimal_tree(records, ["cough", "fever"], 1)
```

יחזירו אובייקט Diagnoser המתאים לעץ הבא:



7. הוסיפו למחלקה Diagnoser את המתודה:

`minimize(self, remove_empty=False)`

המחליפה את עץ ההחלטה בעץ שקול שבו הורדנו קודקודים מיותרים.
כאשר הפרמטר `remove_empty` שווה ל-`False`, נגדיר קודקוד כמיותר אם הוא מייצג שאלה (כלומר הוא איננו עלה) וסדר שאלות ההמשך והדיאגנוזה לכל אוסף סימפטומים אינה תלויה בתשובה שניתנה בקודקוד זה. במקרה כזה נחליף את הקודקוד באחד מבניו.
כאשר הפרמטר `remove_empty` שווה ל-`True`, קודקוד שאלה ייחשב כמיותר גם במקרה בו כל המסלולים של אחד מילדיו מגיעים לדיאגנוזה של `None`. במקרה כזה, נחליף את קודקוד השאלה בילד השני (עץ שבו כל הדיאגנוזות הן `None` יוחלף בעץ עם קודקוד בודד כזה).
בשני המקרים יש להתחיל את הבדיקה מכיוון העלים ומשם להתקדם לשורש העץ.
מותר לשנות את קודקודי העץ המקוריים.
שאלה למחשבה א': מה המשמעות של דיאגנוזות `None` לפי כל אחת מההגדרות?
שאלה למחשבה ב': מה החשיבות של הגדרת הסדר לפי כל אחת מההגדרות?

נהלי הגשת התרגיל:

עליכם להגיש קובץ `zip` הנקרא `ex11.zip` אשר מכיל את הקובץ `ex11.py` עם המימושים שלכם לפונקציות ולמתודות השונות שהוזכרו בתרגיל.

בהצלחה!