آزمایشگاه امنیت داده و شبکه
http://dnsl.ce.sharif.edu

دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی کامپیوتر

درس ۳: مفاهیم رمزنگاری و رمزنگاری کلاسیک

محمد صادق دوستی

فهرست مطالب

تعاریف اولیه – ۱

- **متن آشکار (Plaintext)**: پیام اصلی (رمز نشده)
- **متن رمز (Ciphertext)**: پیام رمز شده
- **رمز (Cipher)**: الگوریتم تبدیل متن آشکار به متن رمز
- **کلید (Key)**: اطلاعی که در رمز مورد استفاده قرار می‌گیرد و فقط گیرنده (و احتمالاً فرستنده) پیام آن را می‌دانند.
- **رمزگذاری (Encipher, Encrypt)**: متن آشکار ← متن رمز
- **رمزگشایی (Decipher, Decrypt)**: متن رمز ← متن آشکار

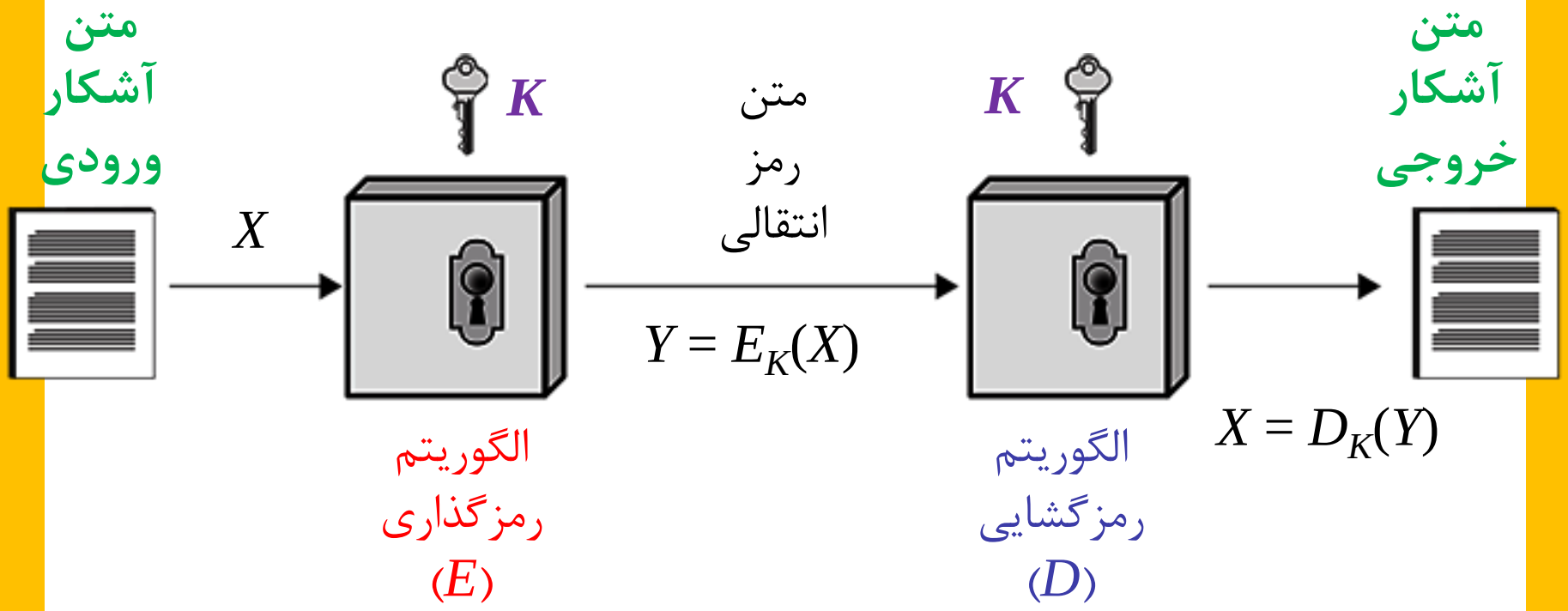
تعاریف اولیه – ۲

- **رمزنگاری (Cryptography)**: مطالعه اصول و روش‌های رمزگذاری
- **تحلیل رمز (Cryptanalysis, Codebreaking)**: مطالعه اصول و روش‌های رمزگشایی متن رمز بدون اطلاع از کلید
- **رمزشناسی (Cryptology)**: علم حاصل از ترکیب رمزنگاری و تحلیل رمز

رمزنگاری متقارن (Symmetric)

- **معادل با:** رمزنگاری معمولی؛ رمزنگاری کلید خصوصی؛ رمزنگاری تک‌کلیدی
- فرستنده و گیرنده از یک کلید مشترک استفاده می‌کنند.
- تمام رمزنگاری‌های کلاسیک از نوع متقارن هستند.
- تنها نوع رمزنگاری تا قبل از ۱۹۷۷

مدل رمزنگاری متقارن



فهرست مطالب

- تعاریف
- **حملات علیه رمزنگاری**
- رمز کلاسیک - جانشینی
- رمز کلاسیک - جابه‌جایی

حمله جستجوی جامع (Brute-Force Search)

- ابتدایی‌ترین حمله
- «طراحی رمز» + «متن رمز» همواره در اختیار تحلیلگر رمز
- امتحان تمام کلیدهای ممکن جهت رسیدن به متن آشکار

  ☜ فرض بر این است که متن آشکار قابل شناسایی است.
- منابع مورد نیاز برای جستجوی جامع با طول کلید رابطه **نمایی** دارد.

زمان لازم برای جستجوی جامع

- با فرض اینکه امتحان هر کلید فقط به ۱ نانو ثانیه زمان نیاز دارد:

طول کلید (بیت)	زمان تقریبی
۳۰	۱ ثانیه
۳۶	۱ دقیقه
۴۲	۱ ساعت
۴۶	۱ روز
۵۱	۱ ماه
۵۵	۱ سال
۶۲	۱۵۰ سال
۸۰	۳۸ میلیون سال
۱۲۸	۱۰ هزار میلیارد میلیارد سال
۱۹۲	۲×۱۰^{۴۱} سال
۲۵۶	$۳/۷\times۱۰^{۶۰}$ سال

AES

رمزنگاری و منابع محاسباتی

- **منابع محاسباتی:** زمان، حافظه، انرژی، ...
- **محرمانگی مطلق (Perfect Secrecy)**

☜ حتی با منابع محاسباتی نامحدود نتوان رمز را شکست.

- **محرمانگی محاسباتی (Computational Secrecy)**

☜ با فرض محدودیت روی منابع محاسباتی، رمز قابل شکستن نباشد.

رمز One-Time Pad

- با One-Time Password اشتباه نشود!
- این رمز محرمانگی مطلق دارد.
  - ☜ **فضای پیام، کلید، و رمز:** رشته‌های بیتی
  - ☜ از XOR به عنوان عملگر استفاده می‌شود.
- برای رمز هر پیام، **کلید (Pad) جدیدی با طول مساوی پیام** و به تصادف انتخاب می‌شود.
- رمز گذاری: $C_i = P_i \oplus K_i$
- رمز گشایی: $P_i = C_i \oplus K_i$

ایراد؟؟؟

اصول کِرکهُفس – ۱

- آگوست کِرکهُفس (Auguste Kerckhoffs)
  - ۱۸۳۵ تا ۱۹۰۳ میلادی
  - زبان‌شناس و رمزنگار هلندی
- مقاله در ۱۸۸۳ در مجله علوم جنگی
  - **عنوان:** La Cryptographie Militaire
  - شش اصل طراحی رمز

اصول کِرکهُفس – ۲

- اگر سیستم به طور مطلق امن نیست، باید در عمل امن باشد.
- طراحی سیستم نباید نیاز به مخفی‌کاری داشته باشد، و افشای طراحی نباید مکاتبه‌کنندگان را به زحمت بیندازد. (**مشهورترین اصل**)
- طرفین باید بتوانند کلید را به سادگی به خاطر بسپرند و تغییر دهند.
- باید بتوان رمزها را با تلگراف مخابره کرد.
- باید اسناد و ابزارهای رمزنگاری را یک نفر به تنهایی بتواند حمل و استفاده کند.
- استفاده از سیستم باید آسان باشد، و نیاز به لیست طولانی از قوانین یا تلاش ذهنی زیاد نداشته باشد.

نیازمندی‌های امنیتی رمزنگاری متقارن

- یک الگوریتم رمزنگاری قوی
- یک کلید مخفی که تنها فرستنده و گیرنده از آن آگاه هستند.

$$Y = E_K(X) \qquad X = D_K(Y)$$

- **اصل کِرکهُفس:** الگوریتم رمزنگاری برای همه مشخص است.

☜ **نفی** امنیت از طریق ابهام (Security through Obscurity)

☜ امنیت فقط وابسته به مخفی بودن کلید است.

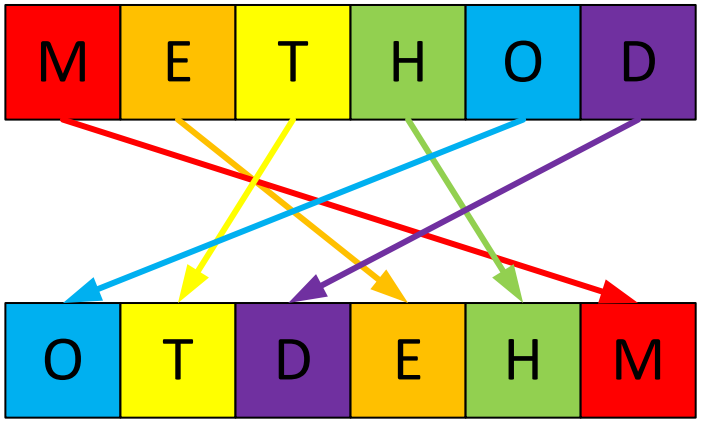
☜ بنابراین نیاز به یک **کانال امن** برای توزیع کلید است.

ابعاد رمزنگاری – ۱

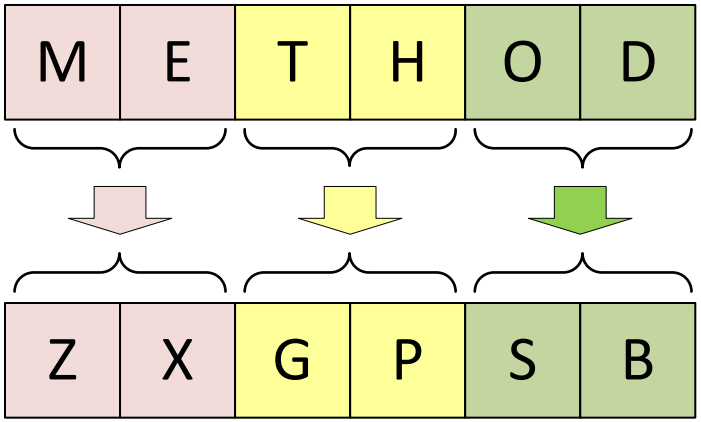
❑ اَعمال مورد استفاده برای رمزگذاری:

☜ **جابه‌جایی (Transposition)**: جایگشت عناصر ورودی

☜ **جانشـــینی (Substitution)**: جـــایگزینی عناصـــر ورودی بـــا عناصری دیگر



جابه‌جایی



جانشینی

ابعاد رمزنگاری – ۲

- **تعداد کلیدهای مورد استفاده:**
  - یک کلید خصوصی مشترک
  - یک جفت کلید برای هر طرف ارتباط (کلید عمومی + کلید خصوصی)
- **روش پردازش متن آشکار:**
  - **قالبی (Block)**: بلوکی از عناصر متن پردازش و رمز می‌شوند.
  - **جریانی (Stream)**: عناصر متن به طور پیوسته به ورودی داده شده و در هر لحظه یک عنصر رمز شده خارج می‌شود.

حملات تحلیل رمزنگاری

❑ هدف از حمله:

- ☜ استخراج بخشی (یا کل) متن آشکار از متن رمز شده
- ☜ در صورت امکان، استخراج کلید

❑ نحوه حمله:

- ☜ بررسی طراحی الگوریتم رمز
- ☜ بررسی مجموعه‌ای از متن‌های آشکار و رمزشده آنها

انواع حملات تحلیل رمزنگاری بر اساس اطلاعات در اختیار

- «طراحی رمز» + «متن رمز» همواره در اختیار تحلیلگر رمز

نوع حمله	سایر اطلاعات در اختیار تحلیلگر رمز
فقط متن رمز Ciphertext Only	-
متن آشکار معلوم Known Plaintext	مجموعه‌ای از «متون آشکار و رمز شده آنها»
متن آشکار انتخابی Chosen Plaintext	متون آشکار انتخاب شده توسط تحلیلگر و متون رمز معادل آنها
متن رمز انتخابی Chosen Ciphertext	متون رمز انتخاب شده توسط تحلیلگر و متون آشکار حاصل از رمزگشایی آنها
متن انتخابی Chosen Text	ترکیب دو مورد فوق

فهرست مطالب

- تعاریف
- حملات علیه رمزنگاری
- **رمز کلاسیک - جانشینی**
- رمز کلاسیک - جابه‌جایی

رمزهای کلاسیک

- تا جنگ جهانی دوم و حین آن مورد استفاده قرار می‌گرفتند.
  - در این جنگ، ضعف آنها مشخص شد.
  - **حین جنگ و پس از آن:** مطالعه ریاضی رمزها و خواص آنها
  - طراحی اصولی رمزها
- معمولاً مبتنی بر یکی از دو روش اصلی جانشینی و جابه‌جایی هستند، **ولی نه هر دو**.

رمزهای جانشینی – ۱

- جایگزینی حروف متن آشکار با حروف دیگر

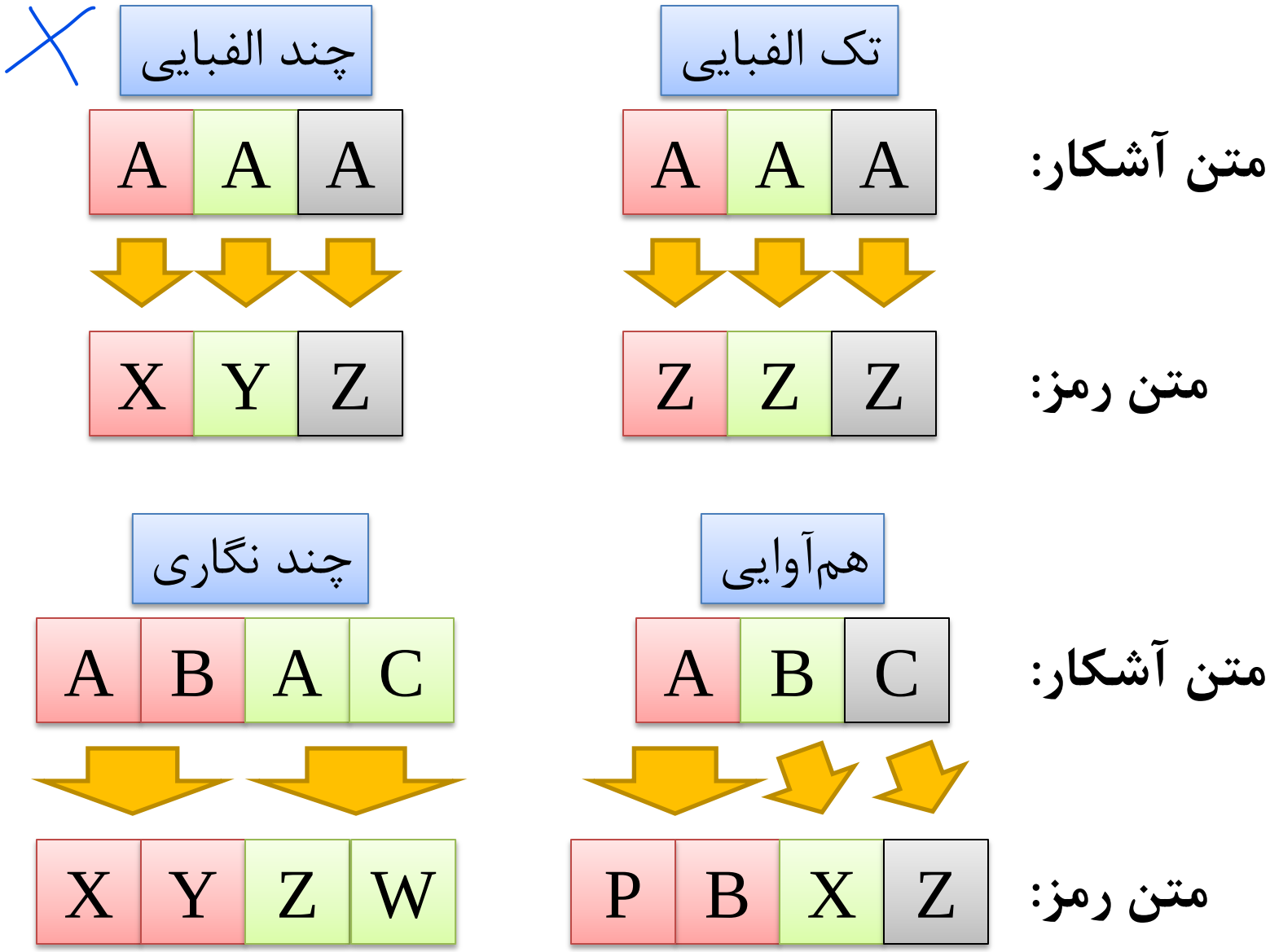
☜ **تک الفبایی (Monoalphabetic)**: یک حرف همواره با یک حرف مشخص جایگزین می‌شود.

☜ **چند الفبایی (Polyalphabetic)**: ممکن است یک حرف هر بار با یک حرف جدید جایگزین شود.

☜ **هم‌آوایی (Homophonic)**: ممکن است یک حرف با چند حرف جایگزین شود.

☜ **چند نگاری (Polygraphic)**: چند حرف با چند حرف جایگزین می‌شود.

رمزهای جانشینی – ۲



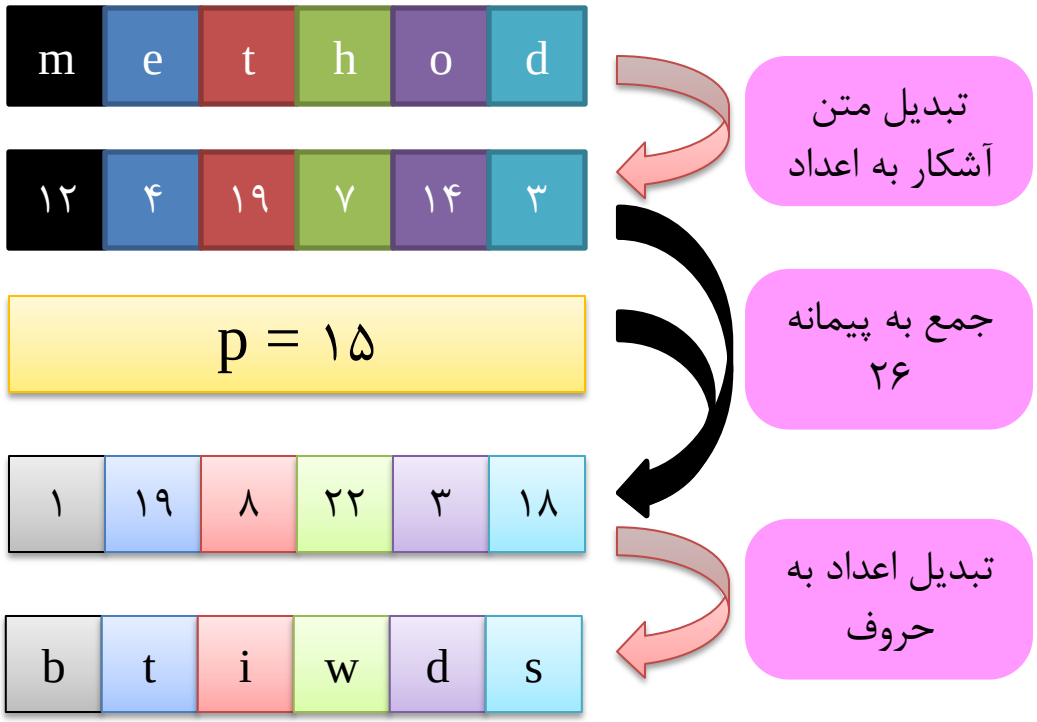
رمز سزار (قیصر – Caesar)

- ساده‌ترین رمز جانشینی تک الفبایی
- **شماره حروف در الفبا:** a = ۰، b = ۱، c = ۲، ...
- کلید یک حرف تصادفی در الفبا است

- **محاسبه رمز:** به ازای هر حرف M در پیام و کلید K:
  - محاسبه جمع شماره M و شماره K به پیمانه ۲۶
  - تبدیل عدد حاصل به حرف معادل در الفبا

مثال از رمز سزار

- متن آشکار: method
- کلید: حرف p



- رمز سزار به سادگی با آزمون جامع می‌شکند.

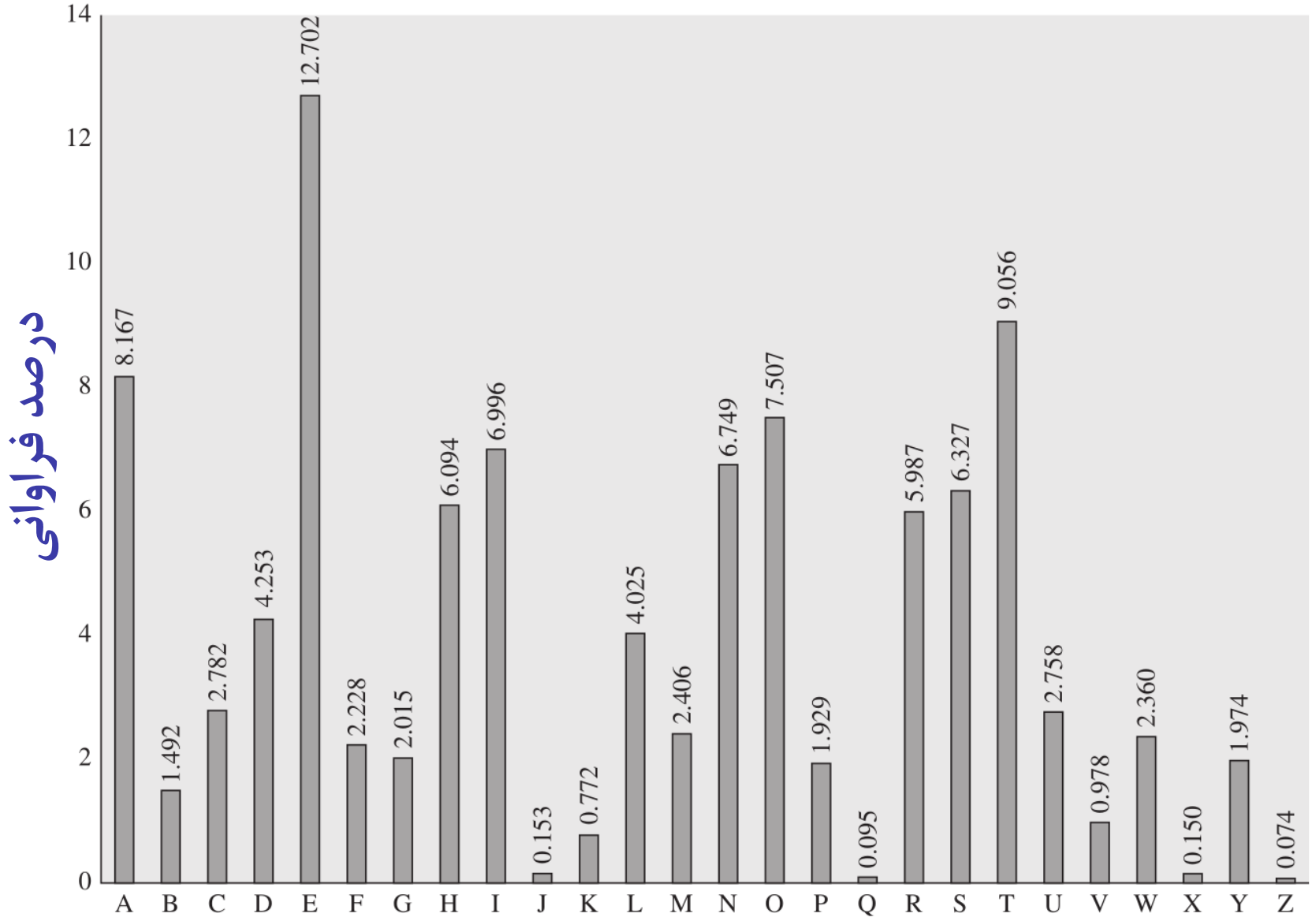
رمز جانشینی تک الفبایی – بهبود رمز سزار

- کلید رمز سزار فقط یک حرف بود.
- می‌توان رمزی ساخت که در آن هر حرف با حرف دیگری در الفبا جایگزین می شود.

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
L	D	N	C	Q	J	M	Y	T	K	W	A	V	G	Z	U	S	O	R	I	F	H	X	E	B	P

- **مثال:** رمز شده «method» ← «VQIYZC».
- تعداد کلیدهای ممکن ۲۶! (۲۶ فاکتوریل)؛ معادل کلید به طول ۸۸ بیت. ← جستجوی جامع هزاران سال طول می‌کشد.

فراوانی حروف انگلیسی در متون



تحلیل رمز جانشینی تک الفبایی

- **امکان حمله فراوانی (فرکانسی)**

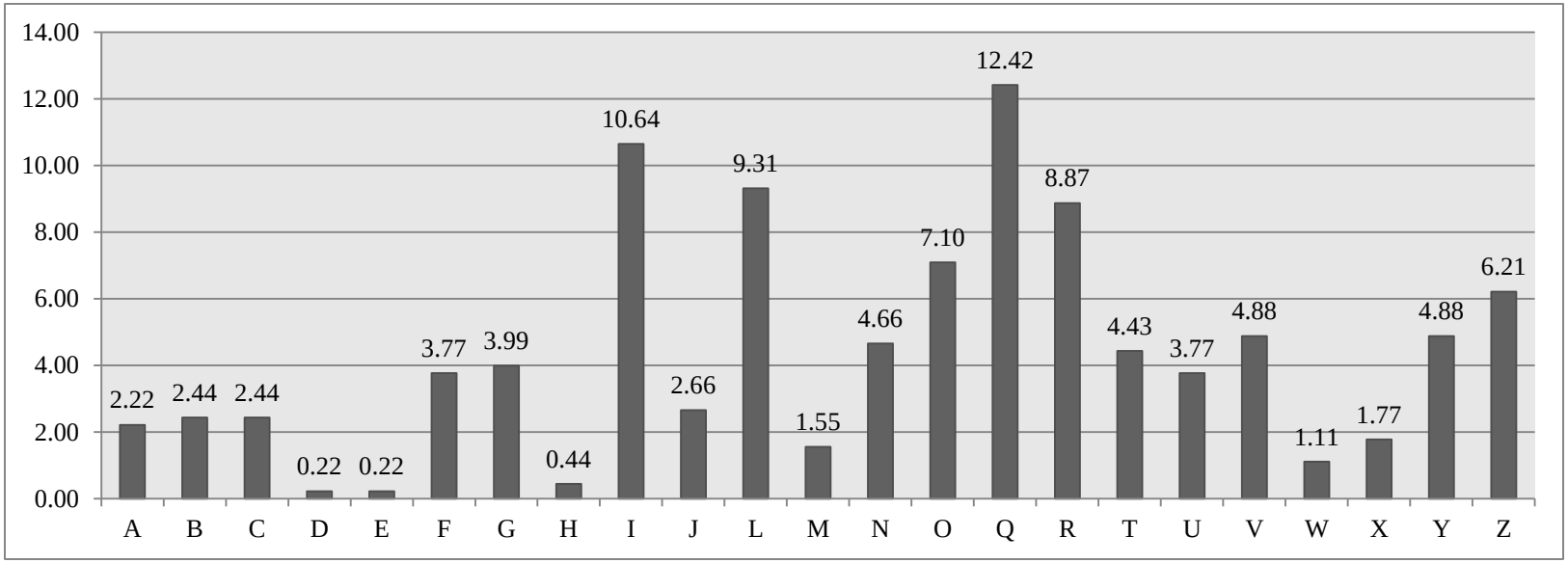
  - با مقایسه نمودار فراوانی حروف در **متن رمز** با نمودار **استاندارد** فراوانی حروف، می‌توان تناظر احتمالی حروف را پیدا کرد.

- **مثال:** در اسلاید بعد داریم:

  - احتمالاً Q رمز شده e است.
  - احتمالاً I رمز شده t است.
  - ...

تحلیل رمز جانشینی تک الفبایی (مثال)

IYQCQILTARZJLRBVVQIOTNNOBUIZMOLUYBVLWQTIAQRRFRQJFAIYLGRBV
VQIOTNNOBUIZMOLUYBJZOLNIFLAABRQGCTGMVQRRLMQRTGRIQLCTITRZJ
IQGFRQCJZONZVUFIQORTMGLIFOQRXYQGLNZVUFIQOVFRIWGZXIYLILJTA
QXLRRQGIJOZVLNQOILTGRQGCQOJZOQELVUAQNZVUFIQORZJIXLOQNZVUL
GTQRIYLIOQAQLRQFUCLIQRJZOIYQTORZJIXLOQNLGRTMGIYZRQFUCLIQR
IZUOZHQIYLIIYQFUCLIQXLRVLCQDBIYQVRZIYLIYLNWQORNLGGZIVLWQI
YQTOZXGFUCLIQRIYLIXZFACNLFRQYLOVNZVUFIQORNLGLARZFRQLRBVVQ
IOTNNTUYQORIZMTHQQLNYZIYQOIYQWQBRJZORBVVQIOTNNTUYQOR



رمز جانشینی چند الفبایی

- استفاده از مجموعه‌ای از جانشینی‌های تک الفبایی مختلف بصورت متوالی.
- کلید نمایانگر این است که چه ترتیبی از قواعد جانشینی باید به کار برده شود.
- نمونه‌ها:
  - رمز ویژُنِر (Vigenère)
  - ماشین اِنیگما (Enigma)

رمز ویژُنِر (Vigenère)

- بلِز دو ویژُنِر (۱۵۲۳ تا ۱۵۹۶)
  - دیپلمات، رمزنگار، مترجم، و کیمیاگر فرانسوی
- پیش از ویژُنِر، این رمز توسط یک ایتالیایی (جُوان باتّیستا بِلّاسُ) در سال ۱۵۵۳ ابداع شده است.

- رمز ویژُنِر = چندین رمز سزار.
  - هر رمز سزار، کلید خود را دارد.
  - کلید پس از مدتی تکرار می‌شود.

مثال از رمز ویژُنِر

- متن آشکار = ATTACKATDAWN
- کلید = LEMON

☜ کلید را زیر متن آشکار نوشته و تکرار می‌کنیم.

☜ هر حرف متن آشکار با حرف کلید در زیر آن به روش سزار رمز می‌شود.

متن آشکار	A	T	T	A	C	K	A	T	D	A	W	N
کلید	L	E	M	O	N	L	E	M	O	N	L	E
متن رمز	L	X	F	O	P	V	E	F	R	N	H	R

تابلو (Tableau) در رمز ویژُنِر

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
B	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
C	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
D	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
E	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
F	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
G	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
H	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
I	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
J	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
K	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
L	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
M	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
N	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
O	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
P	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Q	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
R	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
S	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
T	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
U	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
V	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
W	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
X	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Y	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Z	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

استفاده از تابلو جهت تسهیل رمزنگاری ویژُنِر

- **رمزگذاری:**

ستون = حرف متن آشکار

سطر = حرف کلید

محل تقاطع = حرف رمز شده

- **رمزگشایی:**

سطر= حرف کلید

محل تقاطع = حرف رمز شده

ستون = حرف متن آشکار

تحلیل رمز ویژُنِر

- فردریش ویلهلم کاسیسکی (۱۸۰۵ تا ۱۸۸۱)
  - سرگرد پیاده نظام در ارتش آلمان
- **ایده کاسیسکی:** گاه ممکن است واژگان تکراری با حروف یکسانی از کلید رمز شوند.
  - **نتیجه:** تکرار در متن رمز شده

- **روش کاسیسکی**
  - یافتن الگوهای تکراری در متن رمز شده
  - حدس زدن طول کلید

مثال از روش کاسیسکی

P: CRYPTOISSHORTFORCRYPTOGRAPHY

K: ABCDABCDABCDABCDABCDABCDABCDABCD

C: CSASTPKVSIQUTGQUCSASTPIUAQJB

- **فرض:** بخش تکرار شده از C معادل بخش تکرار شده از P است:

  ☜ طول کلید یکی از عوامل ۱۶ خواهد بود (۱، ۲، ۴، ۸، یا ۱۶).

- با مشاهده چند الگوی تکرار شده می‌توان حدس را دقیقتر کرد.

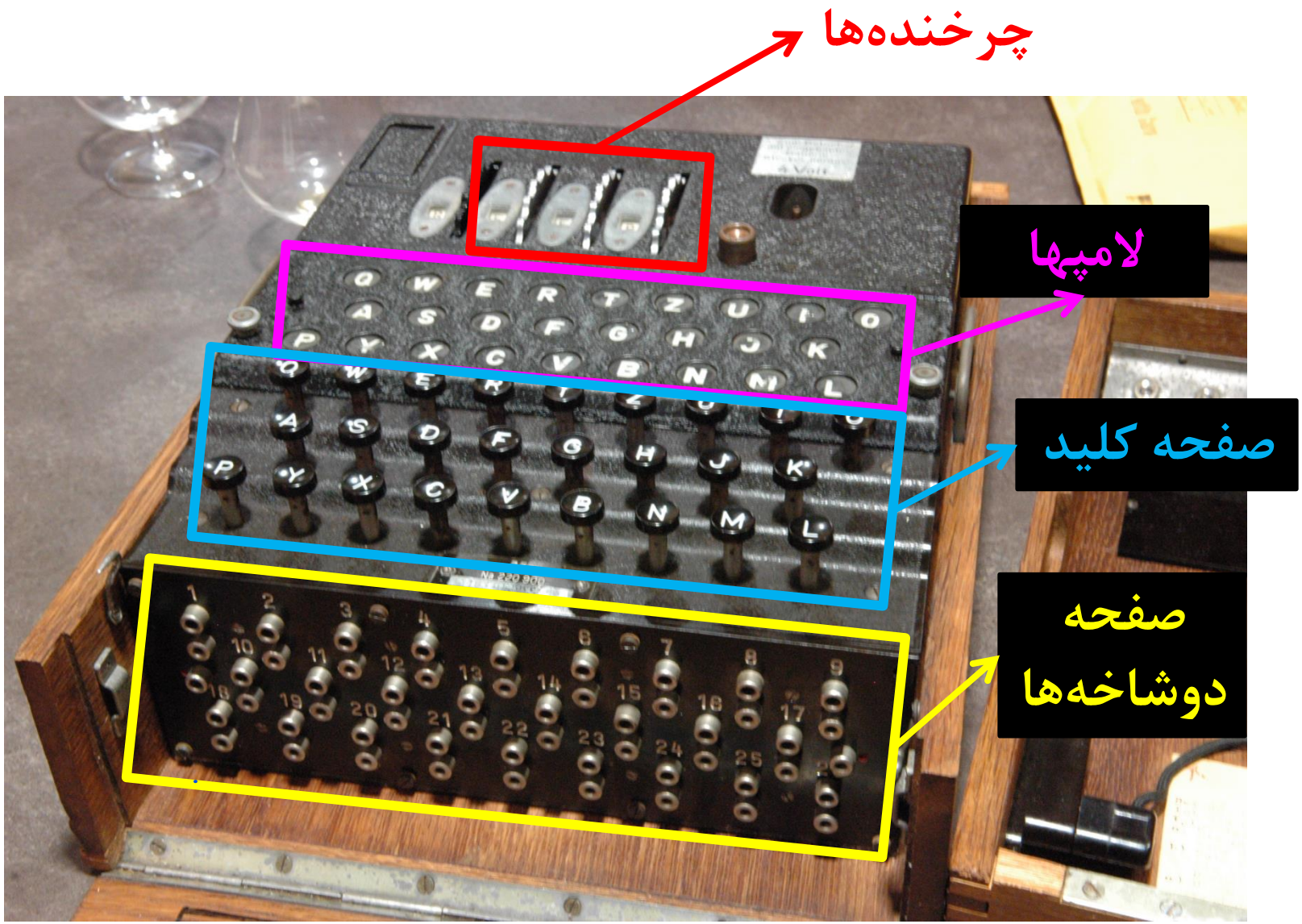
روشهای تحلیل رمز ویژُنِر

- روش کاسیسکی
- آزمون فریدمَن (Friedman)
- روش واژه محتمل (Probable Word)

☜ واژه‌ای که با توجه به محتوا، احتمال وقوع آن در متن زیاد است.

- با استفاده از حملاتی نظیر «متن آشکار معلوم» کلید به سادگی استخراج می‌شود.

ماشینهای انیگما (Enigma Machines)



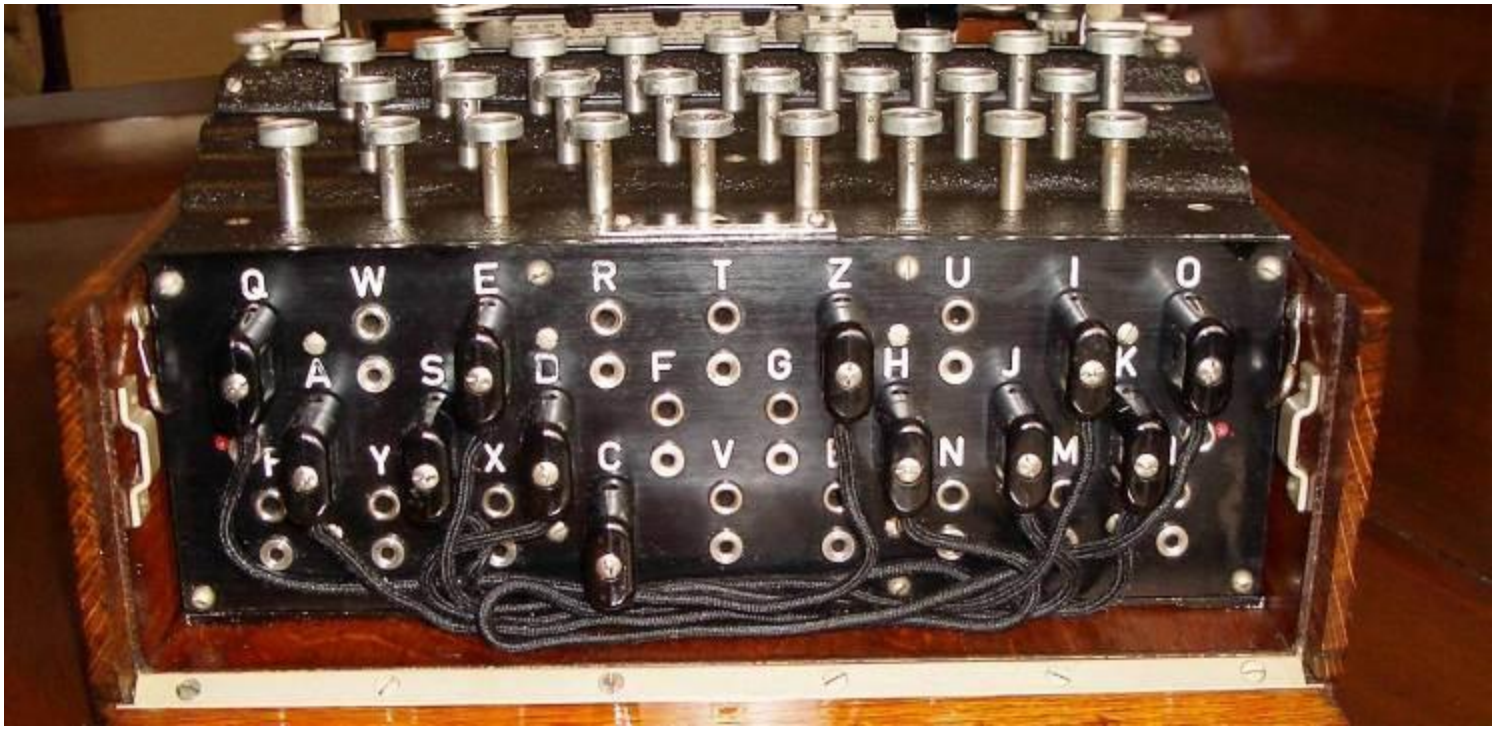
ماشینهای انیگما

- یک پیاده‌سازی الکترونیکی-مکانیکی از رمز چند الفبایی. شامل:
  - یک صفحه کلید (برای تایپ متن آشکار / متن رمز)
  - صفحه دوشاخه‌ها و تعدادی چرخنده (انجام رمزنگاری)
  - تعدادی لامپ (مشاهده متن رمز / متن آشکار)
- متن رمز حرف به حرف یادداشت و مخابره می‌شد.
  - این ایده که ماشین خودش پیام را مخابره کند، سبب می‌شد که وزن ماشین ۸ برابر شود ← نقض اصل ۵ کِرکهُفس

تایپ متن آشکار و روشن شدن لامپ متناظر در متن رمز

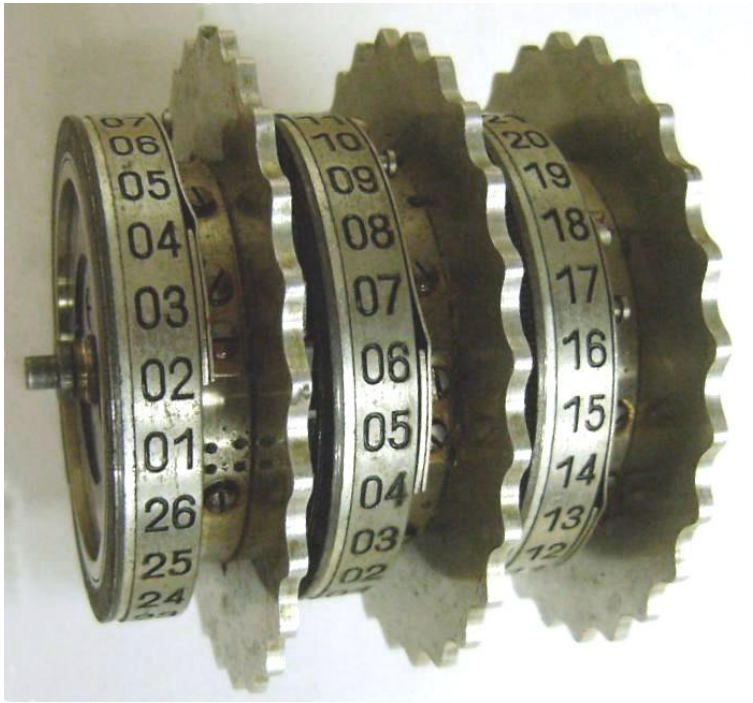
اهداف صفحه دوشاخه‌ها

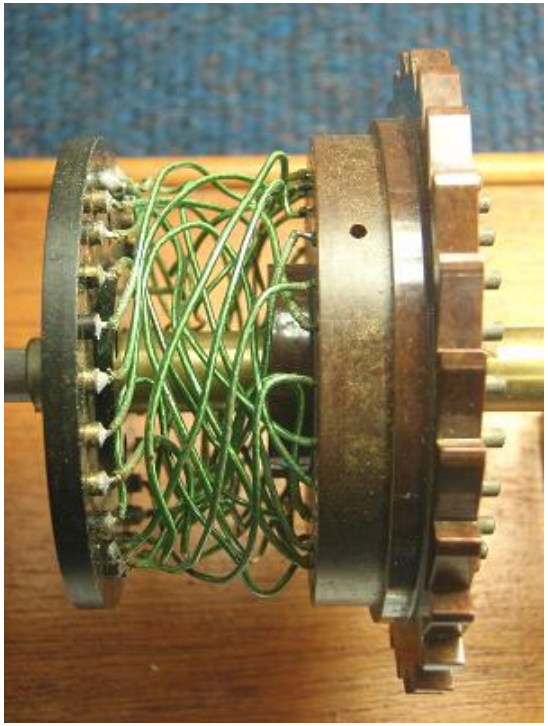
- جایگزینی حروف با هم
- قابلیت تغییر جایگزینی به صورت دلخواه



چرخنده‌ها – اهداف

- جایگزینی حروف با هم (نگاشت درونی هر چرخنده ثابت است)
- تغییر جایگزینی پس از تایپ هر حرف به وسیله چرخش

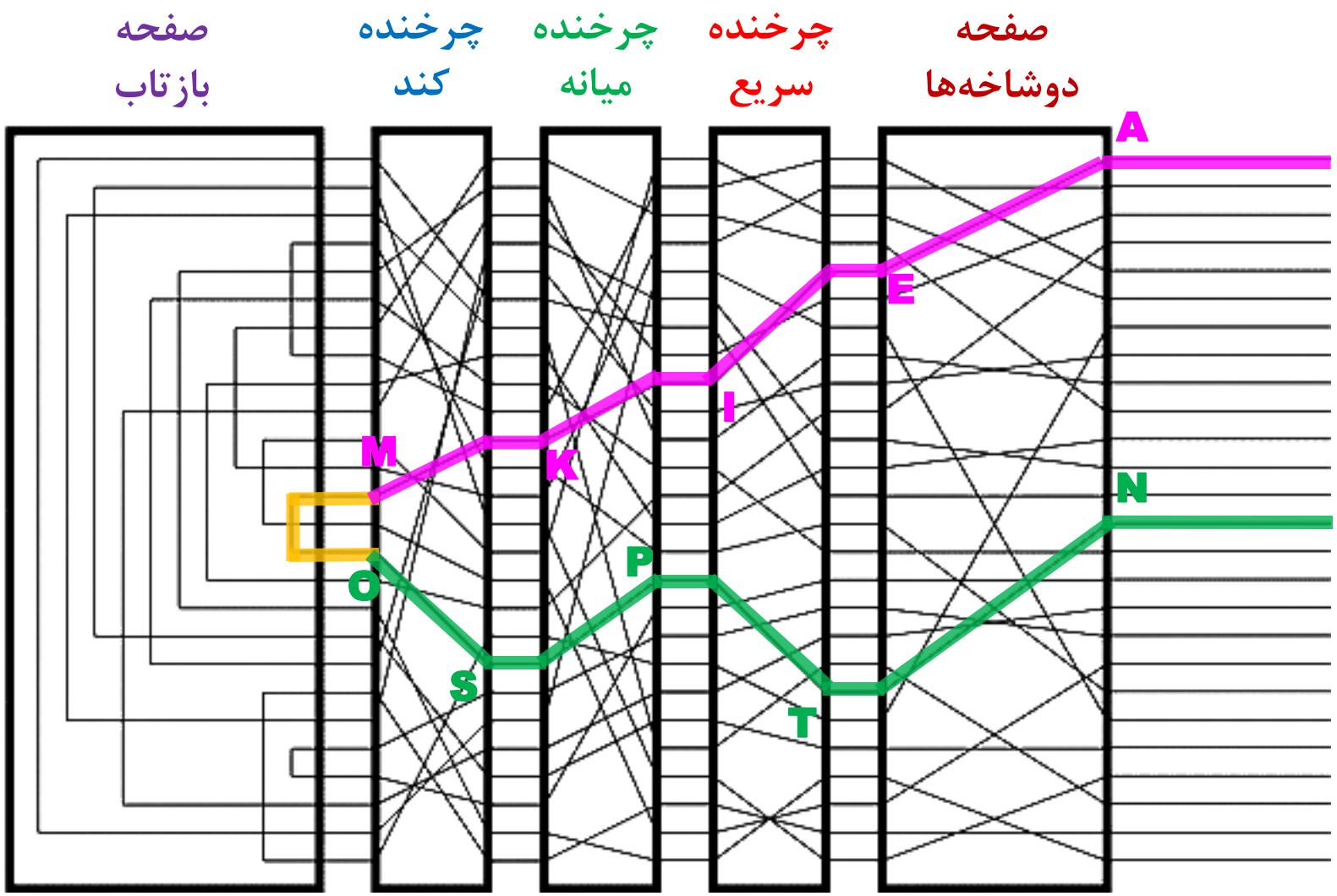




چگونگی عملکرد چرخنده‌ها

- با تایپ هر حرف، چرخنده سمت راست (معروف به سریع) یک واحد می‌چرخد.
- با ۲۶ چرخش از چرخنده سریع، چرخنده وسط (معروف به میانی) یک واحد می‌چرخد.
- با ۲۶ چرخش از چرخنده میانی، چرخنده سمت چپ (معروف به کند) یک واحد می‌چرخد.
- چرخش چرخنده‌ها سبب می‌شود که سیم‌بندی تغییر کرده و جریان الکتریکی هر بار به نحو جدیدی هدایت شود.

نحوه عملکرد انیگما



ایجاد پیچیدگی بیشتر در عملکرد انیگما

- آلمانها هر روز صبح انیگما را با کلید جدیدی پیکربندی می‌کردند:
  - انتخاب ۳ چرخنده از بین چرخنده‌های موجود
  - تنظیم صفحه دو شاخه‌ها
- پیکربندی‌های هر روز از قبل روی دفترچه کد نوشته شده بود.
  - با جوهر حل‌پذیر در آب برای زیر نیروی دریایی!
- تولید کلید نشست برای هر پیام و ارسال آن با کلید اصلی.

تاریخ	موقعیت چرخنده‌ها	اتصالات صفحه دوشاخه‌ها
31.	I II V	BF SD AY HG OU QC WI RL XP ZK
30.	V IV I	DI ZK RX UH QK PC VY GA SO EM
29.	III V II	ZM BQ TP YX FK AR WH SO NJ DG
...		

ماشینهای انیگما: تاریخچه – ۱

- Enigma: معما، سخن پیچیده، چیستان
- ماشینهای انیگما
  - **مبدع:** آرتور شِربیوس، مهندس برق آلمانی (۱۸۷۸ تا ۱۹۲۹)
  - **ابداع:** اواخر جنگ جهانی اول
  - **کاربرد اولیه:** تجاری
  - **استفاده بعدی:** رمزنگاری توسط ارتش آلمانها (افزودن صفحه دوشاخه)
  - در اواخر ۱۹۳۲ توسط لهستانی‌ها شکسته شد.

ماشینهای انیگما: تاریخچه – ۲

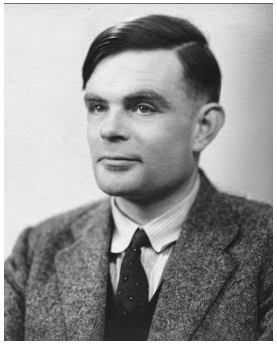
- درست قبل از جنگ جهانی دوم (۱۹۳۸)، آلمانها تغییراتی در انیگما دادند که آن را بسیار پیچیده‌تر کرد.
- نسخه‌های مختلفی از انیگما توسط آلمانها ابداع شد، که پیچیده‌ترین آنها در نیروی دریایی مورد استفاده قرار گرفت.
- با شروع جنگ جهانی دوم و تسخیر لهستان، رمزنگاران لهستانی به فرانسه و از آنجا به انگلیس گریختند.
- تیمی از محقیق و اپراتورها (بالغ بر ده‌هزار نفر) در پارک بِلِچلی انگلیس اقدام به شکستن رمز انیگما کردند.

ماشینهای انیگما: تاریخچه – ۳

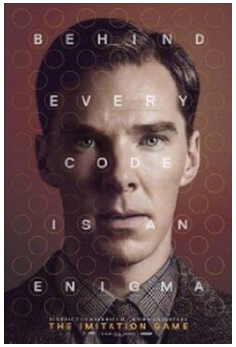
- ایده‌های آلن تورینگ در ساخت ماشینی برای شکستن انیگما

☜ **حمله واژه محتمل:** انیگما هرگز یک حرف را به خودش نمی‌نگاشت.

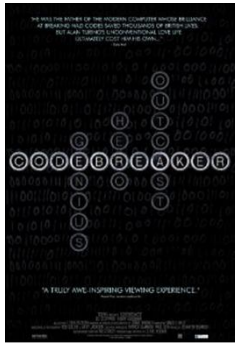
☜ **ماشین برنامه‌پذیر (عام):** شکستن انیگما ظرف ۲۰ دقیقه!



آلن تورینگ
(۱۹۱۲ تا ۱۹۵۴)



The Imitation Game (2014)



Codebreaker (2011)

ماشینهای انیگما: تاریخچه – ۴

- آلمانها به حدی به کد خود مطمئن بودند که شواهد دال بر لو رفتن کدهای خود را نادیده گرفتند.
- انگلیس در حد امکان از متنون لو رفته استفاده نمی‌کرد، تا بتواند آلمانها را در غفلت نگه دارد.
  - ☜ ولو به قیمت کشته شدن بسیاری در جنگ
- شکستن انیگما باعث شد انگلیس از قحطی نجات یابد و عامل مهم پیروزی متفقین محسوب می‌شود.
- پس از جنگ، به دستور چرچیل تمامی تجهیزات و مستندات پارک بِلِچلی نابود شد ← از ترس دست یافتن جاسوسان شوروی بر آن!

خلاصه‌ای از ایده‌های تحلیل فراوانی

- فراوانی ترکیبات حروف
  - **تک حرفی‌ها:** e، t، a، o، i، n، s، ...
  - **دو حرفی‌ها:** th، he، in، er، an، ...
  - **سه حرفی‌ها:** the، ing، and، ion، ent، ...
- **فراوانی ترکیب واژگان:** the، of، to، and، a، in، ...
- **حمله واژه محتمل**
- ...

رمزهای هم‌آوایی (Homophonic)

- برای متوازن ساختن فراوانی حروف
  - ☜ حروف با فراوانی زیاد (مثلاً e) با چند نماد جایگزین می‌شوند.
  - ☜ حروف با فراوانی کم (مثلاً z) با یک نماد جایگزین می‌شوند.
- نمادها می‌توانند نام اشخاص، موقعیتها، و ... باشند.
- برخی رمزهای هم‌آوایی از ۵۰,۰۰۰ نماد استفاده می‌کردند!

رمزهای چند نگاری (Polygraphic)

- **حالت ساده:** دو نگاری (Digraphic)
  - ☜ جایگزینی دو حرف با دو حرف.
  - ☜ **نمونه:** رمز Playfair
    - ماتریس ۵×۵ بر اساس کلید و ۴ قانون ساده
- **حالت کلی:** جایگزینی چند حرف با چند حرف
  - ☜ **نمونه:** رمز Hill.
    - استفاده از جبر خطی برای رمزنگاری.
- در تمارین با رمزهای Playfair و Hill آشنا می‌شوید.

فهرست مطالب

- تعاریف
- حملات علیه رمزنگاری
- رمز کلاسیک - جانشینی
- **رمز کلاسیک - جابه‌جایی**

رمز جابه‌جایی

- جابه‌جایی حروف در متن آشکار

  - حروف متن رمز همان حروف متن آشکار هستند.
  - فراوانی حروف متن رمز و متن آشکار دقیقاً یکی است.
  - نمی‌توان از تحلیل فراوانی استفاده نمود.

رمز پرچین نرده‌ای (Rail Fence Cipher)

- ساده‌ترین مثال رمز جابه‌جایی
- متن آشکار از بالا به پایین و به صورت قطری روی نرده‌های یک پرچین فرضی نوشته می‌شود.
  - ☜ با رسیدن به نرده پایینی، جهت از پایین به بالا تغییر می‌کند.
  - ☜ با رسیدن به نرده بالایی، جهت از بالا به پایین تغییر می‌کند.
- متن رمز از روی نرده‌ها به طور افقی خوانده می‌شود.

مثال از رمز پرچین نرده‌ای

- **متن آشکار:** «we are discovered; flee at once»
- **تعداد نرده (کلید):** ۳

```
W . . . E . . . C . . . R . . . L . . . T . . . E
. E . R . D . S . O . E . E . F . E . A . O . C .
. . A . . . I . . . V . . . D . . . E . . . N . .
```

- **متن رمز:**

WECRLTEERDSOEEFEAOCAIVDEN

رمز جابه‌جایی ستونی (Columnar)

- متن را بصورت سطری بنویسیم و بصورت ستونی بخوانیم.
  - **کلید:** تعداد ستون‌ها و ترتیب نوشتن آنها در متن رمز

- **مثال:**
  - **متن آشکار:** «we are discovered; flee at once»
  - **کلید:** ۶ ستون با ترتیب ۶۳۲۴۱۵
  - استفاده از padding تصادفی در انتها
  - متن رمز:

6	3	2	4	1	5
W	E	A	R	E	D
I	S	C	O	V	E
R	E	D	F	L	E
E	A	T	O	N	C
E	**Q**	**K**	**J**	**E**	**U**

EVLNEACDTKESEAQROFOJDEECUWIREE

تقویت رمز جابه‌جایی

- با دو یا چند بار تکرار رمز جابه‌جایی، معمولاً دشواری شکستن آن افزایش می‌یابد.

WE ARE DISCOVERED FLEE AT ONCE

6 3 2 4 1 5

W	E	A	R	E	D
I	S	C	O	V	E
R	E	D	F	L	E
E	A	T	O	N	C
E	**Q**	**K**	**J**	**E**	**U**

EVLNEACDTKESEAQROFOJDEECUWIREE

در بار دوم، کلید می‌تواند متفاوت باشد.

6 3 2 4 1 5

E	V	L	N	E	A
C	D	T	K	E	S
E	A	Q	R	O	F
O	J	D	E	E	C
U	W	I	R	E	E

EEOEELTQDIVDAJWNKRERASFCEECEOU