

# ביורפואה חישובית

## ייעול בדיקות | מדריך למורה

# איך אפשר לייעל את הבדיקות לגילוי קורונה?

### מבנה היחידה

- שלב מקדים: חידות
- סיפור מקרה: מבצע לאומי לגילוי נשאי קורונה בסלובקיה
- תלמידים מחפשים פתרונות
- היכרות עם שיטת המטריצה לייעול האיתור של מאומתים לקורונה
- פעילות חקר לבדיקת יעילות השיטה במצבי תחלואה שונים
- משימת סיום

### תכנים מתמטיים שמשולבים ביחידה

- חישובי יחסים
- חישובי אחוזים
- הסתברות: ביחידה אין חישובי הסתברות או שימוש בנוסחאות הסתברות. יש בה הדמייה של סיטואציה מהמציאות שממחישה עיקרון שהוא לפעמים נוגד אינטואיציה: תוצאות ניסוי לא תמיד תואמות את ההסתברות התיאורטית. למשל, אם יש 2% חולים באוכלוסייה, יהיו מדגמים ללא אף חולה, ויהיו מדגמים עם יותר חולים מאשר 2% מהאוכלוסייה.

### חשיבה מתמטית

שיקולים לוגיים ובפרט אלימינציה (מציאת פתרון על ידי שלילת כל האפשרויות האחרות).

### מסרים

- מתמטיקה מאפשרת אופטימיזציה - ייעול תהליכים תוך חתירה לפתרון הטוב ביותר האפשרי (גם בהיבטים הקשורים לבריאות ורפואה).
- חידות הן לא רק שעשוע - הרעיון העומד בבסיס פתרון של חידה יכול להיות המפתח לפתרונות פורצי דרך לבעיות אמיתיות.

## לקראת ניהול הפעילות בכיתה

**כשבוע לפני השיעור:** בפעילות משובצות שתי חידות. כדאי מאוד להציג את החידות לתלמידים כשבוע לפני השיעור לפתרון בבית. אם יש פורום כיתתי, כדאי לתת תחילה את החידה הראשונה. אחרי כיומיים לפתוח את הפורום לפתרונות של התלמידים, ואחרי עוד יומיים להציג את החידה השנייה.

**פתיחה:** את השיעור הראשון כדאי לפתוח בהצגת הסיפור של סלובקיה באמצעות הסרטון ורק לאחר מכן לדון בפתרון החידות. הקישור בין החידות לבדיקות הקורונה ייעשה בהמשך.

**לאורך הפעילות: מטרה מרכזית של הפעילות היא לספק לתלמידים הזדמנות לחשוב באופן יצירתי על בעיה לא מוכרת ולהתנסות בפתרונה תוך הפעלת שיקולים לוגיים,** להציע ניסוח משלהם בשפה פשוטה ולבחון שיקולים של תלמידים אחדים. לכן חשובה כאן במיוחד עבודה בקבוצות שמאפשרת לתלמידים רבים להתבטא, וחשוב לתת לתלמידים להציג רעיונות שלהם לפני שמציגים בפניהם את השיטה המתוארת ביחידה – אחת מן השיטות שאפשרו לייעל את הבדיקות לגילוי קורונה לפני פיתוח הבדיקות המהירות.

## איך אפשר לייעל את הבדיקות לגילוי קורונה?

### הצצה לסלובקיה

באוקטובר 2020, לאחר גל תחלואה משמעותי במגפת COVID19, הועלה בסלובקיה, מדינה מרכז אירופאית קטנה, רעיון חדשני להתמודדות עם המגפה. בשלב זה עדיין לא היו חיסונים לנגיף הקורונה.

1. התבוננו [בסרטון](#) וכתבו:

- א. מה היה הרעיון של ממשלת סלובקיה? במה הוא חידש לעומת ההתמודדות עד אז עם המגפה?
- ב. אילו סיבות מועלות בסרטון לכישלון המודל הסלובקי?
- ג. מדוע לא השתמשו הסלובקים בבדיקות PCR במודל שהפעילו?
- ד. האם לדעתכם המודל הסלובקי אכן נכשל?

יש מי שטוענים שבעתיד תתרחש מגיפה נוספת ויש להיערך אליה בהתאם לניסיון של העולם במגפת COVID19. ההנחה היא, שבשלב שבו עדיין אין חיסונים לנגיף הגורם למגפה, בידוד החולים הוא קריטי כדי לשטח את עקומת התחלואה.

בפעילות זאת תתבקשו להציע דרך שבה מדינה תוכל לבצע בדיקות לנגיף על פי המודל הסלובקי, אך ביעילות רבה יותר.

**למורה:** המשותף לפתרון החידה ולבעיה בה עוסקת היחידה הוא שכשם שאין צורך לשקול כל מטבע בנפרד כדי לדעת מי המטבע הקלה יותר, כך אין חובה לבדוק את כל דגימות הקורונה בנפרד כדי לאתר את החולים. ההבדל בין החידה לבין בעיית בדיקות הקורונה הוא שבמקרה של החידה אנחנו יודעים שיש רק מטבע מזויפת אחת ואילו במקרה של הקורונה אין לנו כל מידע על נשאי הנגיף בין הנבדקים.

2. נסו לפתור את שתי החידות הבאות:



**פתרון החידה הראשונה: דרושה שקילה אחת בלבד. נשים מטבע על כל כף של המאזניים. אם אחת מהן קלה יותר - זו המטבע המזויפת. אם המטבעות שוות משקל - המטבע המזויפת היא זו שלא נשקלה.**

**פתרון החידה השנייה: הפעם נזדקק ל-2 שקילות:**

**שקילה א: נשים שלוש מטבעות על כל כף מאזניים. אם אחת הכפות קלה יותר - שם המטבע המזויפת.**

**אם שתי הכפות שוות משקל - המטבע המזויפת היא אחת משלשת המטבעות שלא נשקלו.**

**שקילה ב: עכשיו יש בידינו שלוש מטבעות שידוע שאחת מהן מזויפת. לכן נפעל כמו בחידה הראשונה, ולשם כך מספיקה שקילה אחת.**

## נחשוב על רעיונות תוך כדי משחק

בבדיקת קורונה (ובעוד בדיקות) יש אפשרות לבדוק מאגדים בהם מערבבים דגימות שנלקחו **מקבוצת נבדקים**.

**אם אין בין הנבדקים אף אדם חיובי לקורונה - מתקבלת תשובה שלילית.**

**אם מתקבלת תשובה חיובית המסקנה היא שבין הנבדקים יש לפחות אדם אחד חיובי לקורונה. לא ניתן לדעת מהבדיקה מיהו אותו אדם ויש צורך בבירור נוסף.**

מטרתנו בהמשך הפעילות היא להכיר דרך יעילה לזהות אם יש חיובי לקורונה, ואם כן - מיהו, **מבלי לבדוק את כל האוכלוסייה.**

**למורה:** הנחיות המשחק "גילוי מהיר" רשומות להלן. שחקן יכול להיות תלמיד או קבוצת תלמידים.

ערכת ציוד למשחק מופיעה בסוף הקובץ. הערכה מכילה קלפים לגזירה עבור שחקן א, ודף עם קלפים לא מסומנים עליהם שחקן ב יכול לסמן לעצמו את התשובות שהוא מקבל משחקן א.

כפי שכתוב בהנחיות המשחק, אפשר לשחק במקביל, כמו במשחק צוללות.

מספיק לתת לכל זוג תלמידים זוג קלפים, זוג שמסיים את המשחק מחזיר את הקלפים ומקבל זוג קלפים לסבב משחק חדש.

## גילוי מהיר – משחק לשני שחקנים

### הנחיות המשחק:

שחקן א מקבל קלף - טבלה המייצגת קבוצת נבדקים לקורונה, כדוגמת איור א. כל מספר בטבלה מייצג נבדק. מספר מודגש מייצג אדם חיובי לקורונה.

שחקן ב (או קבוצה ב) מקבל את אותה טבלה ללא סימון החיוביים לקורונה, שעליה הוא רושם לעצמו מידע שיעזור לו באיתור החיוביים.

התפקיד של שחקן ב הוא לגלות את כל החיוביים במדגם שבידי שחקן א בכמה שפחות צעדים.

**הערה:** השחקנים יכולים לשחק במקביל בשני התפקידים, כמו במשחק צוללות, ולהתחרות מי מגלה קודם.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

איור ב

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

איור א

1. בכל צעד שחקן ב שואל האם בקבוצת נבדקים כלשהי יש חיובי לקורונה ונענה ב "כן" או "לא".
2. כל שאלה של שחקן ב נספרת. כששחקן ב יודע מיהם כל החיוביים הוא מכריז על כך.
3. אם צדק בזיהוי כל החיוביים ולא זיהה אף בריא כחיובי השחקן זוכה בנקודות:
4. סופרים את מספר השאלות שנשאלו עד לגילוי כל החיוביים לקורונה.
5. הניקוד של השחקן הוא מספר הבדיקות שנחסכו (16 פחות מספר השאלות שנשאלו עד לגילוי כל המאומתים)
6. בתום הסיבוב מתחלפים ומתחילים מחדש עם קלף מאומתים חדש ששולפים.

### ציוד:

- ערכת קלפים לשחקן א. בכל קלף טבלה עם 16 תאים המייצגים נבדקים. מספרי התאים המייצגים נבדקים חיוביים לקורונה רשומים באדום, כמו באיור א.
- טבלאות עזר וכלי כתיבה לשחקן ב, כמו באיור ב.

3. א. כיצד הצלחתם לצמצם את מספר השאלות כדי לגלות את החיוביים לקורונה?
- ב. תארו קשר בין הדרך בה נקטתם לגילוי המאומתים לבין דרך אפשרית ליעול בדיקות קורונה.
- ג. תארו קשר בין המשחק ששיחקתם לבין הפתרון של חידות המטבעות.

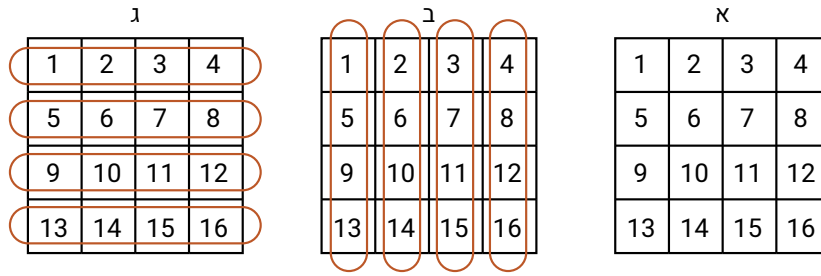
# איגום בשיטת שתי וערב (שיטת המטריצה)

בשיטה זו הדגימות מסודרות בתוך מערך ריבועי (מטריצה ריבועית, איור א). בכל מאגד בדיקות מעורבות במבחנה אחת בדיקות של כל הנדגמים מאותה עמודה (איור ב) או בדיקות של כל הנדגמים מאותה שורה (איור ג). נקרא לבדיקה כזו בדיקה בדיקה מאוגדת, ולמבחנה - מבחנת איגום.

את הדגימות המאוגדות בודקים בשיטת PCR. בגלל היכולת של בדיקה זו לזהות כמות זעומה של DNA נגיפי ניתן לשים את החומר שנלקח מאדם אחד ביותר מאשר מבחנה אחת.

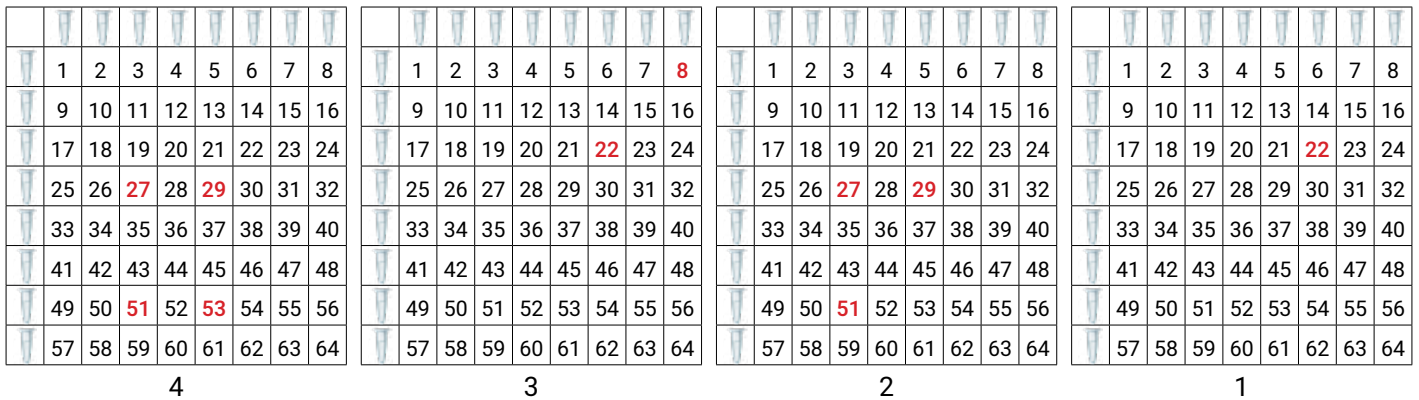
אם התוצאה בבדיקה מאוגדת של כמה נבדקים לקורונה היא שלילית, אין אף חולה ביניהם, כי אין DNA נגיפי בבדיקה. אם התוצאה של בדיקה מאוגדת חיובית, היא מעידה על כך שלפחות אחד מהנבדקים חיובי לקורונה ועל כן יש לנקוט בפעולות נוספות כדי לגלות מיהו.

במהלך הפעילות נחקור איך ובאילו תנאים ניתן להשתמש בשיטת שתי וערב ביעילות, וגם לחשב את אחוז הבדיקות שנחסכו.



## אילו מבחנות יסומנו בבדיקה?

בדוגמה זו הדגימות של 64 אנשים מסודרות במערך ריבועי.



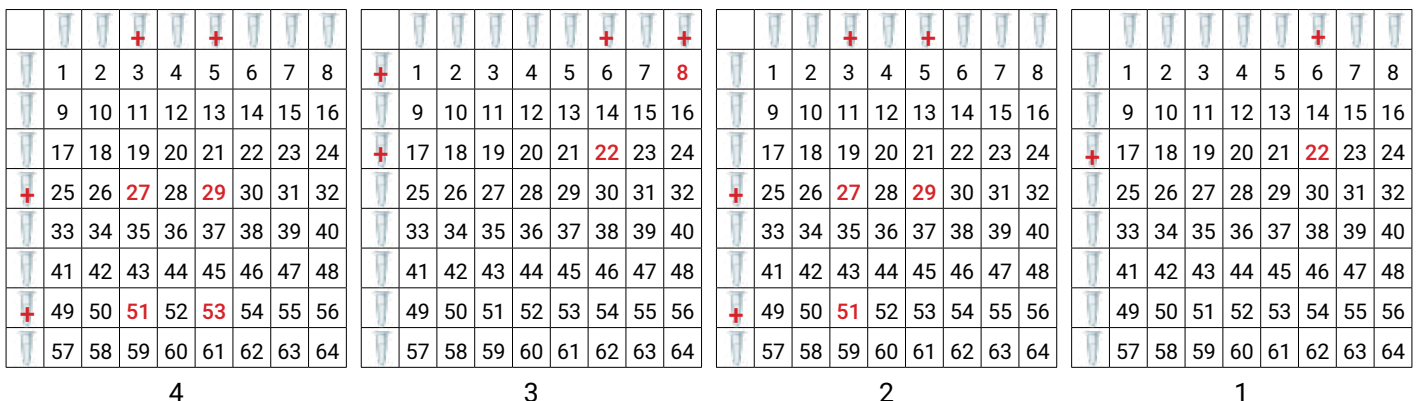
המספרים ה**צבועים באדום** מייצגים אנשים חיוביים לקורונה.

כל מבחנה **בשורה** שמעל הטבלה מייצגת בדיקה משותפת של כל העמודה שמתחתיה.

כל מבחנה **בעמודה** שמשמאל לטבלה מייצגת בדיקה משותפת של כל השורה שמימנה ביחד.

4. א. בהנחה שהבדיקה מאתרת כל מאגד בדיקות שבו אחד הנבדקים לפחות הוא חיובי לקורונה - אילו מבחנות יראו תוצאה חיובית?

### פתרונות



ב. זהו זוג איורים שבהם, למרות שיש הבדלים בנבדקים החיוביים לנגיף, מבחנות האיגום מראות אותן תשובות.

### איורים 2 ו-4.

**מאיורים אלה אפשר להבין שלא בכל מקרה הבדיקות מלמדות באופן חד משמעי מי מהנבדקים הוא נשא קורונה ומי לא.**

**בדקנו מאגדים של בדיקות בשיטת המטריצה – מה אפשר ללמוד מזה, ומה עוד צריך לעשות?**

בדוגמאות הבאות נציג מצבים בהם בדיקה מאפשרת לקבוע באופן חד משמעי אם יש חיוביים לקורונה בין 64 הנבדקים ומיהם, לעומת מצבים בהם יש צורך במספר בדיקות נוספות להשלמת התהליך.

5. א. התבוננו בקבוצות הנבדקים של השאלה הקודמת. באילו מהן בדיקות האיגום מאפשרות לקבוע, באופן חד משמעי מיהם הנבדקים החיוביים לקורונה?

**איור 1 מאפשר לדעת באופן חד משמעי שהנשא היחיד בכל המערך הוא נבדק מס' 22 כי רק המיקום שלו משותף לשורה ולעמודה בהן התקבלו תוצאות חיוביות בבדיקה.**

ב. באיורים הבאים מוצגות תוצאות הבדיקות שהתקבלו במבחנות האיגום במערך עם 64 דגימות אישיות. מבחנה אדומה מסמלת שורה או עמודה שבבדיקה המשותפת התגלה שיש בה לפחות חיובי אחד לקורונה.

בכל אחד מהאיורים הבאים:

סמנו במרקר את כל הדגימות של אנשים שהם בוודאות שליליים לקורונה.

סמנו ב- "+" את כל הדגימות של אנשים שהם בוודאות חיוביים לקורונה.

סמנו ב- "?" את כל הדגימות שהנתונים הקיימים לא מאפשרים לקבוע את מצב הנבדק ויש צורך בבדיקה חוזרת.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

2

	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

1

**תשובה: במקרה זה אפשר להסיק בוודאות שנבדקים מס' 17 ו-19 חיוביים לקורונה וכל השאר שליליים לקורונה.**

**הסבר קצר:** השורה היחידה שיש בה נבדק חיובי לקורונה היא השורה השלישית מלמעלה, והיחידים שיכולים להיות מאומתים הם הנבדקים שגם העמודות שלהם נמצאו חיוביים לקורונה.

אלו נבדקים 17 ו-19: אנחנו יודעים ששניהם חיוביים כי אילו רק אחד היה חיובי לקורונה רק בעמודה אחת הייתה מתקבלת תוצאה חיובית לקורונה.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

## הסבר ויזואלי מפורט של תהליך שניתן לבצע יחד עם התלמידים:

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

### צעד שלישי

נותרו רק שני תאים לא צבועים. איך נדע ששניהם מייצגים נבדקים שהם נשאים לקורונה? אילו רק אחד מהם היה נשא הייתה מתקבלת תשובה חיובית רק במבחנה אחת.

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

### צעד שני

באופן דומה נצבע את כל התאים בשורות שאין בהן אף נשא.

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

### צעד ראשון

מבחנה כחולה בראש עמודה מעידה בוודאות שאין בעמודה זו אף נשא של הנגיף. נצבע, או נסמן בדרך אחרת את כל התאים בעמודות אלה.

נשים לב ששני המדגמים המתוארים בסעיפי השאלה (ב-1 ו-2) דומים מאד. ההבדל היחיד ביניהם הוא שבמדגם 2 התקבלה תוצאה חיובית גם בשורה החמישית. גם הפעם נוכל לדעת בוודאות שבכל השורות ובכל העמודות שבמבחנות המייצגות אותן לא התקבלה תשובה חיובית אין אף דגימה של נשא קורונה. אבל אין לנו דרך לדעת איזו דגימה מבין שתי הדגימות "החשודות" בשורה השלישית ואיזו דגימה מבין שתי הדגימות "החשודות" בשורה ברביעית נגועה בקורונה ולכן יש צורך בבירור נוסף.

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

## הסבר מפורט

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

### צעד שלישי

נותרו ארבעה תאים לא צבועים. אנחנו בטוחים שיש לפחות שני מאומתים ושהם אינם מאתה שורה, אך איננו יודעים מי הם. יכול גם להיות ששלושה מהם נשאי קורונה וייתכן אף שכולם נשאי קורונה.

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

### צעד שני

שלב זה דומה לצעד הראשון בסעיף הקודם, אלא שהפעם יש שתי שורות לגביהן הבדיקה הראתה שלפחות אחד הנבדקים הוא נשא קורונה.

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

### צעד ראשון

שלב זה זהה לשלב הראשון בסעיף הקודם: מסמנים את כל מי על פי הבדיקות המאוגמות של העמודות בוודאות אינם נשאי קורונה.

ג. בכל אחד מהאיורים הבאים קבעו:

האם אפשר לקבוע באופן חד משמעי כמה חיוביים לקורונה יש בין 64 האנשים שנבדקו? אם כן - מיהם? אם לא - אילו בדיקות נוספות יש לבצע על מנת לזהות בוודאות את כל החיוביים לקורונה?

**טיפ:** תוכלו לסמן או לצבוע תחילה את כל הנבדקים שהם בוודאות שליליים לקורונה.

נשים לב שמכל מאגדי השורות רק במאגד של השורה השלישית התקבלה תוצאה חיובית. לכן רק בשורה זו יש דגימה של נשאי קורונה. "החשודים" המידיים הם הנבדקים שמספריהם 17, 19 ו-21.

האם ייתכן שמישהו מהם אינו נשא של נגיף הקורונה? זה לא ייתכן כי אם אחד מהם לא היה נשא - בעמודה שלו לא הייתה מתקבלת תוצאה חיובית.

מכאן שאנחנו יכולים לדעת בוודאות שהנשאים היחידים הם הנבדקים שמספריהם 17, 19 ו-21.

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

בדוגמא זו לא ניתן לדעת בוודאות מיהם נשאי קורונה. ניתן לדעת בוודאות שרק לגבי הנבדקים שמספריהם 17, 19, 25 ו-27 קיים חשש שהם נשאים של הנגיף, ואותם יש לבדוק בנפרד.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

בדוגמא זו לא ניתן לדעת בוודאות מיהם נשאי קורונה. ניתן לדעת בוודאות שרק לגבי הנבדקים שמספריהם 17, 19, 49, 51, 57 ו-59 קיים חשש שהם נשאים של הנגיף, ואותם יש לבדוק בנפרד.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

### למחשבה נוספת

ד. אחד מהאיורים שלפניכם מתאר תוצאה שלא יכולה להתקבל בבדיקה בשיטת האיגום. זהו את האיור והסבירו מדוע הוא מתאר מצב שלא קיים במציאות.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

2

	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

1

**איור 1 מתאר תוצאה שלא קיימת. אם אין אף תשובה חיובית במאגדי העמודות אין אף נשא קורונה בכל המדגם, ולכן לא ייתכן שיש תוצאה חיובית במאגדי השורות.**

**איור 2 מתאר תוצאה שיכולה להתקבל.**

ה. האם בדיקה בשיטת האיגום, שבה כל המאגדים יצאו חיוביים, מעידה על כך שכל הנבדקים חיוביים לקורונה (בהנחה שאין טעויות בבדיקה)? **לא.**  
אם כן - הסבירו מדוע.

אם לא - הביאו דוגמה של טבלת מדגמים שבה הבדיקות של כל המאגדים חיוביות ובכל זאת רק חלק מהנבדקים חיוביים לקורונה.

**למשל, במצב שבו כל הנבדקים באלכסון הטבלה משמאל לימין הם נשאי קורונה וכל השאר בריאים כל המאגדים יצאו חיוביים.**



## תוכנית חיטון

במדגם שלפניכם, המספרים הצבועים באדום מייצגים אנשים חיוביים לקורונה.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

6. ענו על השאלות בהנחה שהבדיקה מאתרת כל מאגד בדיקות שבו אחד הנבדקים לפחות הוא חיובי לקורונה.  
א. אילו מדגמים קבוצתיים יראו תוצאה חיובית?

ראו סימני + באיור.

			+		+	+		
	1	2	3	4	5	6	7	8
+	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24
+	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64

ב. האם התוצאה תאפשר לזהות באופן חד משמעי את החיוביים לקורונה או שיהיה צורך בבדיקות נוספות?  
**התוצאה לא תאפשר לקבוע באופן חד משמעי את החיוביים לקורונה. יהיה צורך לבדוק בנפרד את הדגימות של נבדקים 11, 13, 14, 27, 29 ו-30 - כל אלו שגם בשורה שלהם וגם בעמודה שלהם התגלה שיש לפחות נבדק אחד חיובי לקורונה.**

ג. מהו מספר הבדיקות הנדרשות עד לזיהוי חד משמעי של כל החיוביים לקורונה במדגם זה?  
**8 בדיקות לעמודות, 8 בדיקות לשורות ו- 6 בדיקות נוספות. ביחד: 22 בדיקות.**

ד. מהו אחוז הבדיקות שנחסכו? **נחסכו 42 בדיקות ובאחוזים:  $65.5\% = \frac{42 \times 100}{64}$**

באיורים הבאים מוצגות קבוצות של נבדקים לקורונה במטריצה של 10 שורות  $\times$  10 עמודות. המדגמים הופקו על ידי תוכנת מחשב שמדמה מדגמים אקראיים בהתאם לאחוז החיוביים באוכלוסייה. הדוגמאות שלפנינו מדמות מצב שבו אחוז החיוביים לקורונה באוכלוסייה הוא 3%.  
7. לכל אחד מהמדגמים:

א. ציינו + מעל כל עמודה שבה בדיקת מאגד (בדיקה מעורבת) של נבדקי עמודה זו תראה תוצאה חיובית לקורונה.  
ב. האם לאחר בדיקת כל מאגדי העמודות יש צורך בבדיקת מאגדים נוספים?  
אם לא - הסבירו מדוע.

אם כן - סמנו + לצד כל שורה שבה בדיקת מאגד של נבדקי שורה זו תראה תוצאה חיובית לקורונה.  
ג. האם אחרי בדיקת מאגדים מכל העמודות ומכל השורות יש צורך בבדיקות נוספות?  
אם לא - הסבירו מדוע.

אם כן ציינו כמה בדיקות נוספות יש לבצע כדי לדעת מיהם כל החיוביים לקורונה מתוך 100 הנבדקים במדגם.  
ד. השלימו את הטבלה הבאה וחשבו את אחוז הבדיקות שנחסכו בזכות השימוש בשיטת המטריצה.

את התשובות לכל השאלות אפשר למצוא בטבלה:

מס' המדגם	מס' נבדקים במערך	עמודות נבדקות	התראות בעמודות	שורות נבדקות	התראות בשורות	מס' בדיקות לבירור נוסף	סה"כ בדיקות	חיסכון באחוזים
1	100	10	2	10	2	4	24	76% (76 מתוך 100) <b>דוגמה</b>
2	100	10	4	10	5	20	40	60%
3	100	10	1	10	1	0	20	80%
4	100	10	4	10	3	12	32	68%
5	100	10	0	0	0	0	10	90%
סה"כ	500						126	$\frac{(500-126) \times 100}{500} = 74.8\%$

מדגם מס' 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	א
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ב
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ג
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ד
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ה
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ו
+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	ז
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ח
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ט
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	י

מדגם מס' 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	א
+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	ב
	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	ג
+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ד
	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	ה
+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ו
+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	ז
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ח
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ט
+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	י

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	א
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ב
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ג
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ד
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ה
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ו
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ז
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ח
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ט
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	י

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	א
-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	ב
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ג
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ד
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ה
-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	ו
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ז
-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	ח
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ט
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	י

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	א
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ב
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ג
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ד
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ה
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ו
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ז
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ח
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ט
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	י

ניעזר במחשב כדי להעריך את יעילות השיטה עם כמות גדולה של קבוצות נבדקים.

**למורה:** פעילות זאת מבוססת על שני קובצי אקסל:

[קובץ תלמידים](#), ובו לשונית "מדגמי איגום בדיקות 10x10", המייצרת מדגמים שונים על פי אחוז התחלואה באוכלוסייה.

[קובץ למורה](#), ובו שתי לשוניות: האחת, "מדגמי איגום בדיקות 10x10". המידע המוצג בכל תא מלמד אם הדגימה של הנבדק המיוצג על ידי תא זה חיובית לקורונה או שלילית לקורונה.

הלשונית השנייה "התראות איגום בדיקות 10x10", מציגה את השורות והעמודות שבהן התגלה לפחות נבדק אחד. זו נקודת מבט קרובה יותר למציאות, של מי שמקבל תוצאות מאוגדות, ואינו יודע מי מבין הנבדקים בשורה או בעמודה הוא זה שנמצא חיובי לקורונה. לשונית זו מאפשרת תרגול נוסף של תהליך קבלת החלטה אילו דגימות דורשות בדיקה נוספת, והיא יכולה להיות פעילות העמקה, על פי שיקול המורה.

פתחו את [גיליון האקסל](#).

בחרו בלשונית "מדגמי איגום בדיקות 10x10".

במשבצת אחוז החיוביים לקורונה באוכלוסייה בחרו ב-3% והקליקו.

תקבלו מדגם נוסף של נבדקים שמתחתיו טבלה כדוגמת זו שמילאתם.

העתיקו את השורה לטבלה שלכם.

חזרו על הפעולה 20 פעמים. לקבלת מדגם חדש יש לבחור שוב ב-3% ולהקליק.

לסיום חשבו את החיסכון המצטבר באחוזים.

**אחוז חולים באוכלוסייה (בחרו מהרשימה)**

**3**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
א	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ב	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ג	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ד	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
ה	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	
ו	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ז	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ח	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ט	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
י	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

**ריכוז נתונים**

איגום	נבדקים	אחוז חולים	מספר עמודות נבדקות	מספר התראות בעמודות	מספר שורות נבדקות	מספר התראות בשורות	מספר בדיקות לבירור	סה"ב בדיקות	חיסכון באחוזים
1	100	3	10	2	10	2	4	24	76%

מדגמי איגום בדיקות 10x10 | 
 התראות איגום בדיקות 10x10 | 
 +

חיסכון באחוזים	סה"כ בדיקות	מס' בדיקות לבירור נוסף	התראות בשורות	שורות נבדקות	התראות בעמודות	עמודות נבדקות	מס' נבדקים במערך	מס' המדגם
76% (76 מתוך 100)	24	4	2	10	2	10	100	1
							100	2
							100	3
							100	4
							100	5
							100	6
							100	7
							100	8
							100	9
							100	10
							100	11
							100	12
							100	13
							100	14
							100	15
							100	16
							100	17
							100	18
							100	19
							100	20
							100	21
							100	22
							100	23
							100	24
							100	25
							<b>2,500</b>	<b>סה"כ</b>

## איך משתנה יעילות השיטה כשמשתנה אחוז התחלואה? – פעילות חקר

בתחילת הפעילות פגשנו מצבים שונים בהם היה צורך לייעל את בדיקות הקורונה. הכרנו דרך לקבל מידע על מספר רב של נבדקים מבלי לבדוק כל דגימה בנפרד. בחלק זה נבצע פעילות חקר שתעזור לנו לתת מידע למקבלי ההחלטות, במצבים שונים של תחלואה, שיעזור להם בשיקוליהם. התחלקו לקבוצות כאשר כל קבוצה תבחר אחוז תחלואה אחר, ורכזו את הנתונים בטבלה.

חיסכון באחוזים	סה"כ בדיקות	מס' בדיקות לבירור נוסף	התראות בשורות	שורות נבדקות	התראות בעמודות	עמודות נבדקות	מס' נבדקים במערך	מס' המדגם
							100	1
							100	2
							100	3
							100	4
							100	5
							100	6
							100	7
							100	8
							100	9
							100	10
							100	11
							100	12
							100	13
							100	14
							100	15
							100	16
							100	17
							100	18
							100	19
							100	20
							100	21
							100	22
							100	23
							100	24
							100	25
							<b>2,500</b>	<b>סה"כ</b>

## לומדים מהניסיון לקראת המגפה הבאה

הידע שצברתם בפעילות על איגום בדיקות יכול לעזור לרשויות השלטון להתמודד ביעילות רבה יותר עם תחלואה במגפה הבאה.

[הסרטון הבא](#) מביא ראיון עם מפתחים ישראלים שמפתחים בדיקות לקורונה תוך חשיבה על העתיד. הציעו דרך שבה מדינה תוכל לבצע בדיקות לנגיף על פי המודל הסלובקי, אך ביעילות רבה יותר. כראוי למדענים המבינים את מורכבות המציאות תוך כדי מגפה עליכם להבהיר למקבלי ההחלטות:

- א. מהם שלבי המודל שאתם מציעים
- ב. מדוע המודל יהיה יעיל יותר מזה שבוצע בסלובקיה
- ג. על איזה סוג בדיקות יסתמך המודל
- ד. מהן מגבלות המודל: באילו מצבים של התפשטות המגפה המודל שאתם מציעים יתאים, ומתי לדעתכם יתאים פחות. ההמלצה שלכם יכולה להיות סרטון, מצגת, או כל דרך יצירתית שבה תבחרו כדי לזכות בתשומת לבם של מקבלי ההחלטות למודל שאתם מציעים.

ערכת קלפים למשחק: דף עזר עם קלפים לא מסומנים לשחקן ב

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16



קלפי שחקן א לגזירה

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16

## קלפי שחקן א לגזירה - המשך

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12
13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16	13	14	15	16