

|                                                                                   |                                                                                                                                         |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>בית ספר מקיף השלום דנון.<br/> סמל בי"ס: 247221.<br/> כתובת בי"ס: ת.ד. 1158, שייח' דנון.<br/> טלפון: 04-9827564. פקס: 04-9520043.</p> |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

## בניית הגשר הכי חזק



### פרטי התלמידים:

#### פרטי המנחה:

השם: פאתנה קרש

בפיזיקה B.sc : תואר

ת.ז: 066087123

דואר אלקטרוני fatina\_k@walla.com

השם: מג'ד בדראן.

ת.ז: 214070948

דואר אלקטרוני: majd.baadran@gmail.com

טלפון: 0524644128

2020 ינואר

## תוכן עינים

מבוא 3

רקע תיאורטי 4

שאלות המחקר 7

השערות המחקר 7

מהלך המחקר 8

החלק הראשון של המחקר 9

ניסוי מקדים מספר 15

ניסוי מרכזי מספר 16

מבוא 3

החלק השני של המחקר 4

ניסוי מקדים מספר 25

ניסוי מרכזי מספר 26

סיכום 3

תודות 4

ביבליוגרפיה 3

## מבוא:

הנושא שלנו הוא "הצורה הכי מתאימה וטובה לבניית גשר שיהיה חזק במידה רבה".

בחירתנו לנושא נקבעה לאחר שראינו סרטון של גבר אשר דורך על ביצים והביצים לא נשברים. התחלנו לחקור ה תופעה ומה הגורמים אשר משפעים על הביצה ומובילים לא נשברות של הביצה. לאחר מכן ולאחר הבנת העומק של צורת הביצה התחלנו לקחת הדברים לנושא יותר עמוק ולעשות אנאליזה למה הדבר הזה דומה בטבע ולאיזה תופעה מתקשר הנושא הזה.

מצאנו שהעיקרון אשר גורם לביצים לא להישבר היא אותו עיקרון אשר משתמשים בו בבניית הגשרים.

ולכן היה מאוד מעניין לבדוק הנושא ולהתעמק בחקירת הדברים מסביבו, גם התחלנו לחשוב על הגורמים אשר משפיעים על הגשר וגורמים לו להיות יותר חזק ועמיד.

בהלך המחקר עברנו הרבה תחנות ולמידה מאוד מהנה, הוספנו לידע שלנו הרבה, הסברנו תופעה שלפני הייתה רגילה אבל היום אנו יודעים שהיא מכילה בתוכה הרבה קסם, אנו מקווים שתיהנו תלמידו ותתעניינו בנושא ובמחקר שלנו.

## רקע תאורטי

### 1) כוח:

- כוח הוא אינטראקציה שיכולה לגרום לשינוי בתנועה של גוף.
- הכוח הוא גודל פיזיקלי וקטורי, מסומן באות הלטינית  $\vec{F}$ , ויחידת המידה שלו במערכת היחידות הבינלאומית היא ניוטון.
- כוח הפועל על גוף יכול לגרום לשינוי במצבו של הגוף, או להתנגד לכוח אחר הפועל על אותו גוף.
- הדינמיקה היא התורה העוסקת בתנועתו של גוף בהשפעת כוחות, ובבסיסה שלושת חוקי התנועה של ניוטון, המתארים את היחס בין כוח לתנועה:
- החוק השני של ניוטון קובע כי הכוח הוא נגזרת התנע לפי הזמן. בניסוח מתמטי:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

בניסוח נוסף, תאוצתו של גוף עומדת ביחס ישר לכוח הפועל עליו וביחס הפוך

- למסתו. בניסוח מתמטי:  $\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$  נוסחה זו נכונה בתנאי שהמסה אינה משתנה.

- החוק השלישי של ניוטון קובע כי כנגד כל כוח פועל כוח נוסף השווה בגודלו והפוך בכיוונו.



- החוק הראשון של ניוטון, עקרון ההתמדה, קובע כי קיימת מערכת אינרציאלית, שבה בהיעדר כוח (או כשהכוח השקול הפועל עליו שווה לאפס) גוף לא יואץ, כלומר, יתמיד במנוחתו או במהירות קבועה לאורך קו ישר. חוקי ניוטון תקפים רק במערכת יחוס אינרציאלית. החוק איננו מקרה פרטי של החוק השני.

## (2) מומנט :

המומנט הינו תוצאה של הפעלת כח על הגוף, במרחק מסוים מנקודת שיווי המשקל שלו. אם נסמן את הכח בוקטור  $F$  ואת המרחק בין הנקודה בה מופעל הכח לנקודת שיווי המשקל של הגוף בוקטור  $r$  אזי המומנט הינו המכפלה הווקטורית של שני וקטורים אלו. כתוצאה מכך גם אם הכח השקול הפועל על הגוף מתאפס (אם כוחות זחים בגודלם והפוכים בכיוונם פועלים עליו) יתכן מצב בו מומנט הכח השקול עליו אינו מתאפס (אם הכוחות מופעלים במרחקים שונים מנקודת שיווי המשקל), ולכן הגוף יסתובב אך לא ישנה א תמהירותו הקווית.

**המומנט** מוגדר פיזיקלית כמכפלת הכוח הפועל בזרוע הכוח, או ברישום מתמטי:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

- $\vec{\tau}$  מסמל את המומנט
- $\vec{F}$  הוא וקטור הכוח
- $\vec{r}$  הוא וקטור המרחק בין ציר הסיבוב של הגוף לבין נקודת הפעלת הכוח
- $\times$  הוא סימן המכפלה הווקטורית

מכאן שגודלו הסקלרי של המומנט נתון בנוסחה:

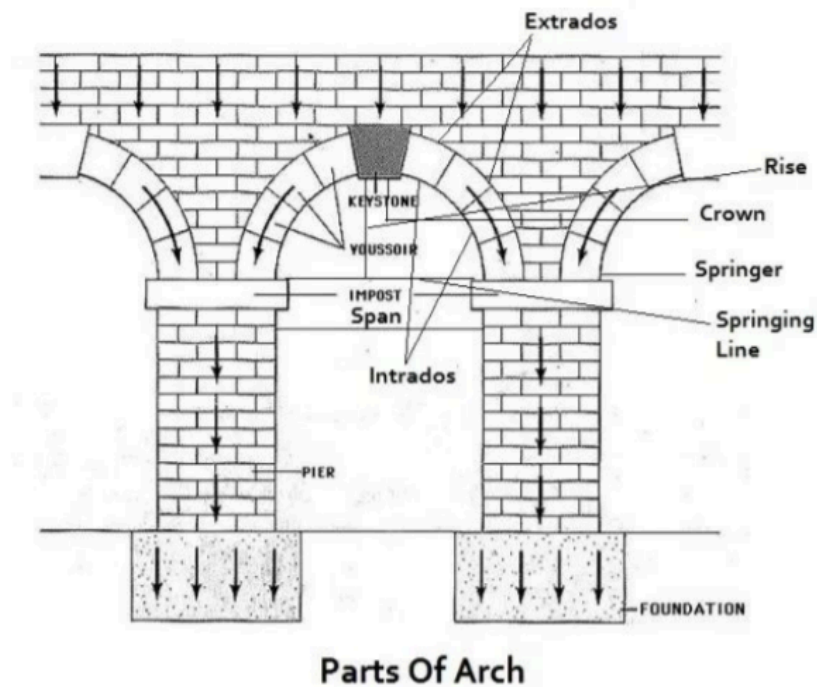
$$\tau = rF \sin \theta$$

- $\theta$  – הזווית בין הזרוע לבין הכוח

היחידות בהן נמדד המומנט, כמו שנובע מנוסחה זו, הן כוח כפול מרחק, יחידות ניוטון-מטר. אף על פי שהיחידות של מומנט שקולות ליחידות של אנרגיה, לא נהוג למדוד את המומנט ביחידות של אנרגיה.

## (3) רקע היסטורי של גשרים :

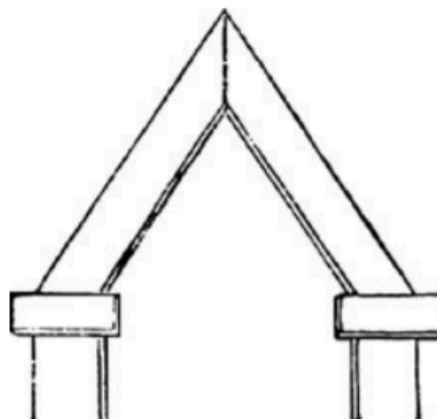
לפני בניית הגשרים דרך קשתות בנו הגשרים דרך קורות , וזה מה שמגביל במידה רבה את החלל. כי כל הרחבה באורך או בגובה הייתה גורמת להתפרקות הגשר. דוגמא לקורה :



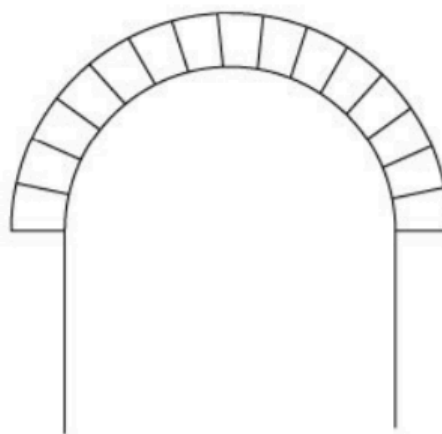
הקשת מאפשרת קירוי שטח גדול יותר ללא תמיכה מרכזית בהשוואה לקורה. והטכנולוגיה של בניית גשרים התפתחה לאורך הזמן לאחר גילויים שונים בהנדסה בחומרים ובעיצוב וכו.....

התפתחות הקשתות:

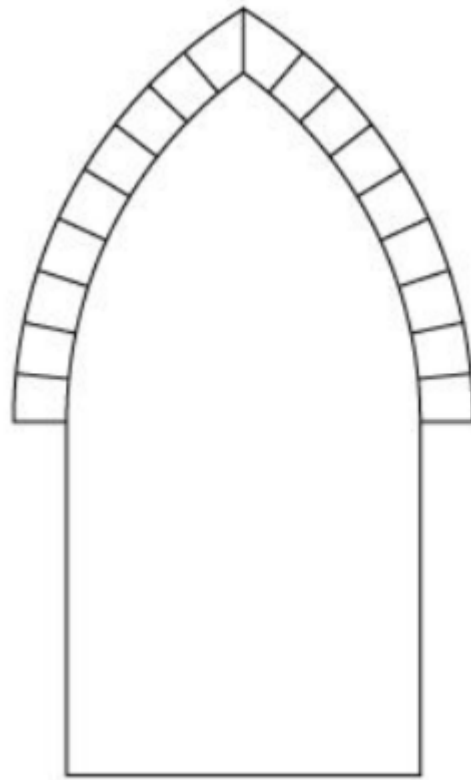
קשת משולשת : היא נחשבת לצורה הכי פשוטה מצורות הקשתות



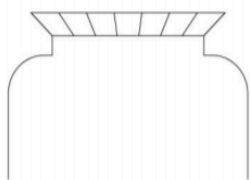
**קשת עגולה : נחשבת לקשת פשוטה כי כל האבנים דומים בתוכה.**



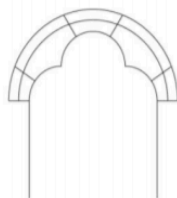
**קשת מחודדת : מאפשרת מבנים קצת יותר גבוהים מקשת עגולה.**



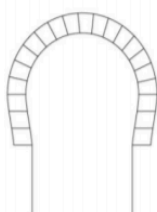
## צורות של קשתות יותר מתקדמות :



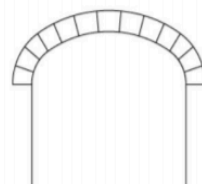
Shouldered flat arch (see also [jack arch](#))



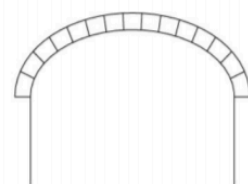
[Trefoil](#) or three-foiled  
cusped arch



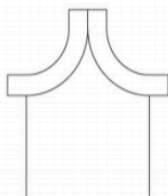
[Horseshoe arch](#)



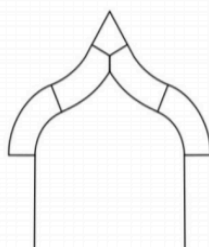
Three-centered arch



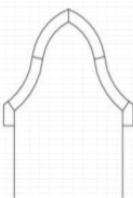
Elliptical arch



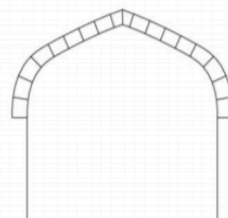
Inflexed arch



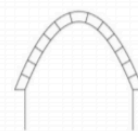
[Ogee arch](#)



Reverse [ogee arch](#)



Four-centred or Tudor arch



[Parabolic arch](#)

(4) מסע בין קשתות בעולם :









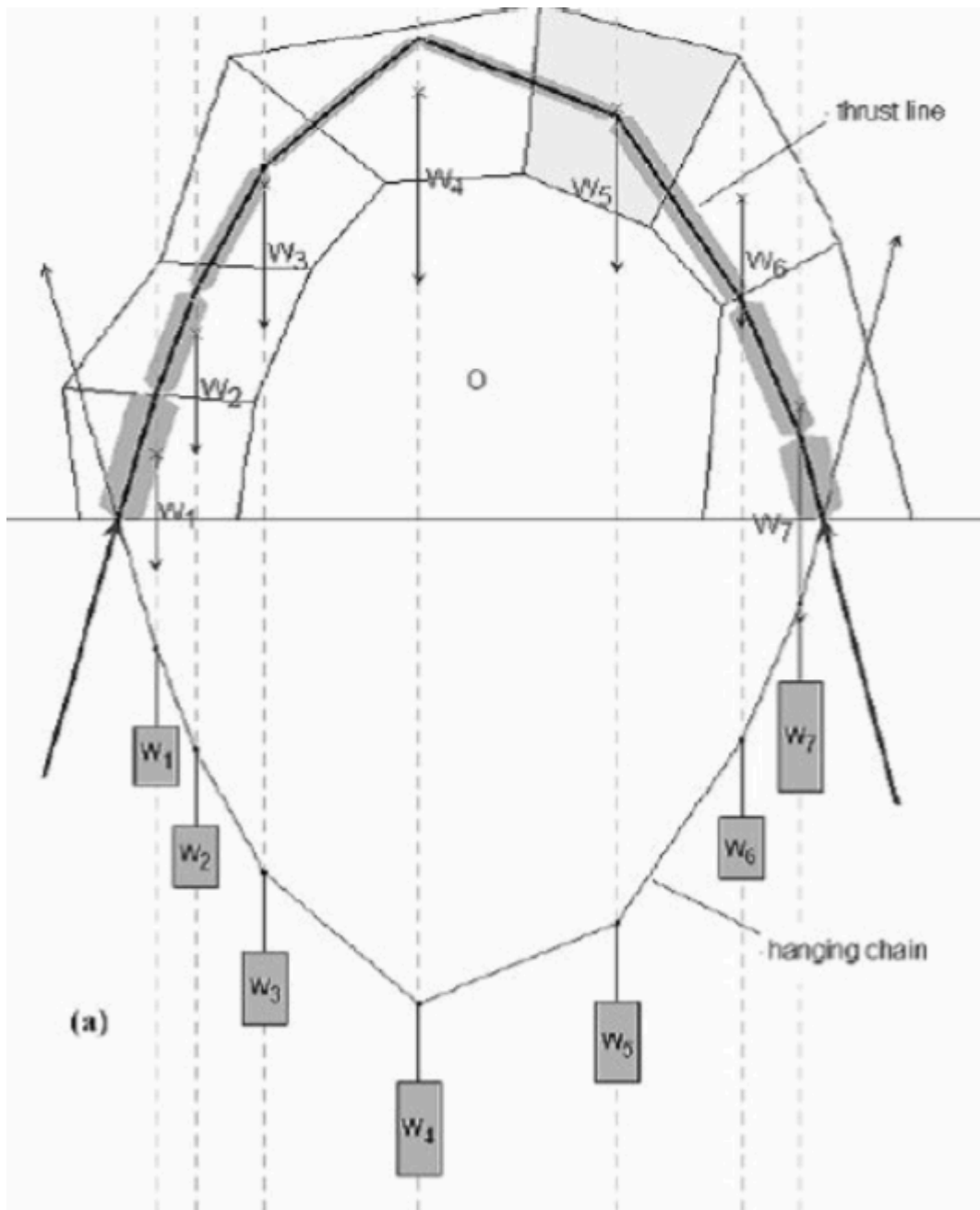


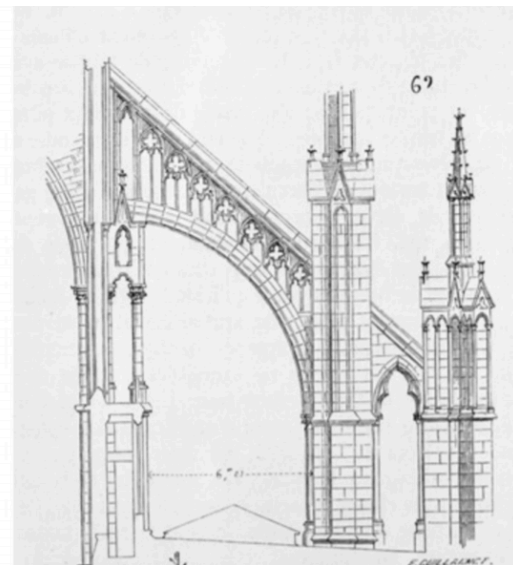
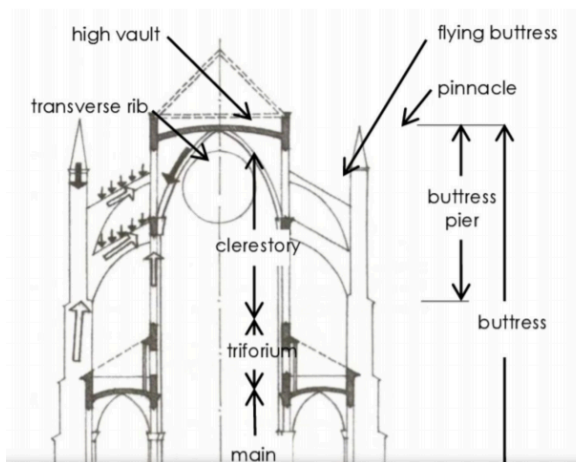




(5) מקדם חוזק של החומר:

(6) מתודולוגיה לחישוב כל הכוחות:



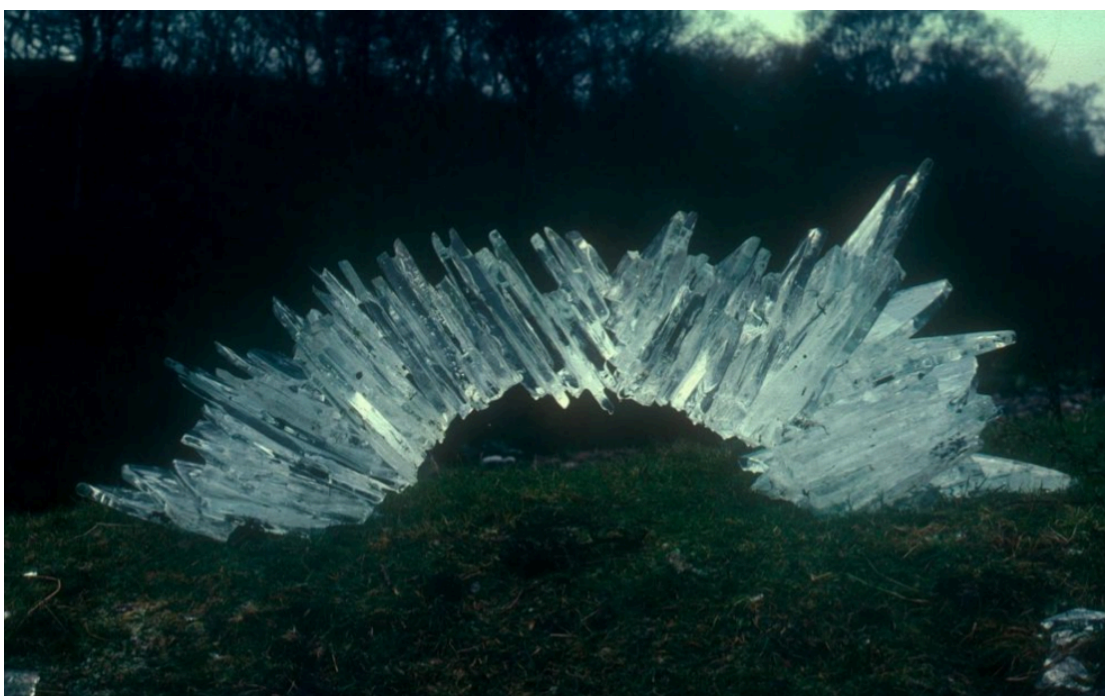


7) גשרים מיוחדים שנבנו באופן ידני ע"י אנדי גולדוורתי:

## Andy Goldsworthy's archs













## שאלות המחקר:

- (1) איך משפיעה המסה על מידת השקיעה של העץ.
- (2) מהי הצורה הכי טובה והיכולה להחזיק העומס הכי גדול
- (3) מהו העומס המקסימלי אשר יכולות להחזיק ביצות מסודרות בצורה מלבנית
- (4) מהו הקשר בין גודל הביצים לבין העומס שיכולים להחזיק.
- (5) מהו הקשר בין צורת סידור הביצים לבין העומס שיכולים להחזיק

6) מהו הקשר בין הגובה לבין העומס שהגשר יכול להחזיק

7) מהו הקשר בין המרחק לבין העומס שהגשר יכול להחזיק

## השערות המחקר:

1) אנו מצפים ככל שהמסה גדלה השקיעה של העץ גדלה, הסיבה שהכוח המשיכה של המסות הינן כלפי מטה.

2) הצורה הכי טובה לבניית הגשר הינה קשת. (נסביר בסוף העבודה למה נבחרה צורה זו.

3) אנו מצפים שהיא תחזיק כוח גדול פי 10 בערך מהמסה שלהם וזה בגלל שסידרנו הביצים בצורה מלבינית אשר בנוייה מ10 ביצים.



4) ככל שגודל הביצה יותר גדול היא תחזיק פחות כוח, הסיבה שככל שהביצה גדלה הקליפה שלה יותר חלשה.

5) ככל שהצורה המלבינית מלאה בביצים גם בפנים היא תוכל להחזיק יותר כוח עד השבירה.

6) אנחנו מצפים שיש נקודה אופטימלית בכל גובה שנבחר והיא מתאימה לרוחב ספיציפי.

7) אנו מצפים שחלק מהגרף נראה עליה והחלק השני ירידה וזה יהיה גם לגבי הרוחב וגם לגבי הגובה, הסיבה היא הנקודה האופטימלית שאנו מצפים למצוא אותה.

## מטרות המחקר:

- המטרה המרכזית של המחקר הינה הינה מציאת הגשר הכי חזק ואיך צריכים לבנות אותו, האם יש צורה מיוחדת לבניה.
- מציאת הגורמים אשר משפיעים על חוזק הגשר שבנינו.
- שימוש בביצה להסיק מסקנות עבור הגשרים ויכולת לשאת מסות.
- העמקה פיזיקלית בנושא גשרים, כוחות

# ניסוי מקדים מספר "1"

ניסוי מקדים מס "1": בדיקת העומק כתלות במסה

מטרת הניסוי:

- למצוא הגורמים אשר יכולים להשפיע על חוזק הגשר
- לבדוק איך משפיעה המסה על עומק העץ באורכים שונים

השערת הניסוי:

- ככל שהמסה גדלה כך גם העומק גדל
- אם המסה קבועה, אנו מצפים ככל אורך העץ יותר גדול כך גם העומק יהיה יותר עמוק.

ציוד:

1. מסות בגדלים שונים
2. סרגל
3. עץ שטוח ארוך

מהלך הניסוי:

בניסוי זה השתמשנו במשטח עץ פשוט שטוח כל פעם באורך שונה, כל פעם הנחנו משקולת באמצע משטח העץ ומדדנו את העומק בסרגל. במידת דיוק הסרגל הינה 1 מ"מ.



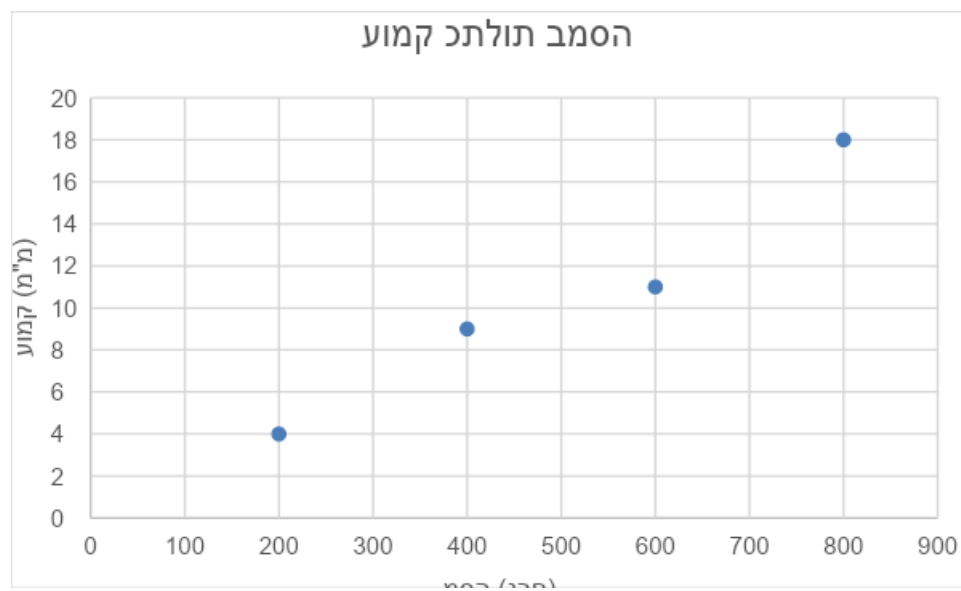


איור מספר "1"

### תוצאות הניסוי :

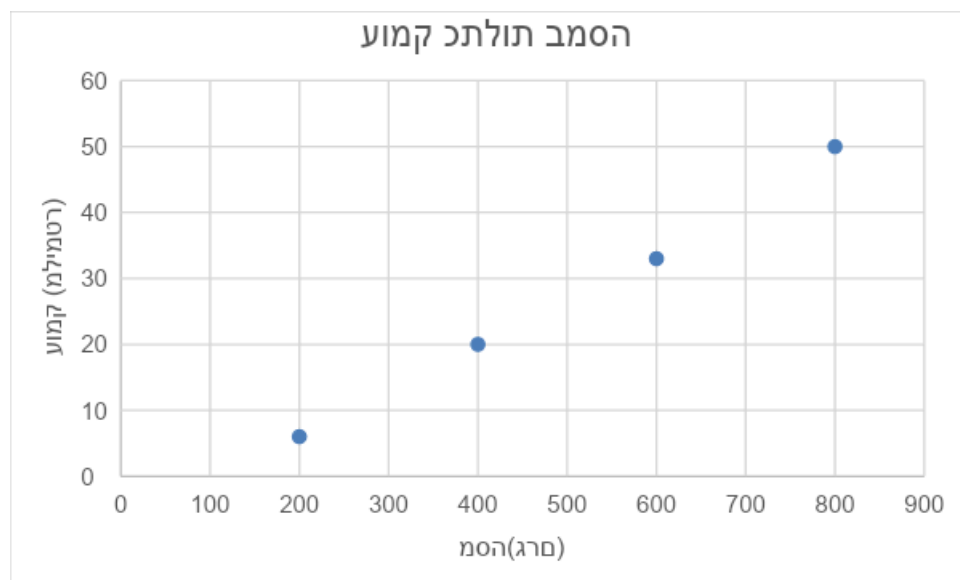
מרחק בין קצוות 60 ס"מ

| מסה (גרם) | עומק (מלימטר) |
|-----------|---------------|
| 200       | 4             |
| 400       | 9             |
| 600       | 11            |
| 800       | 18            |



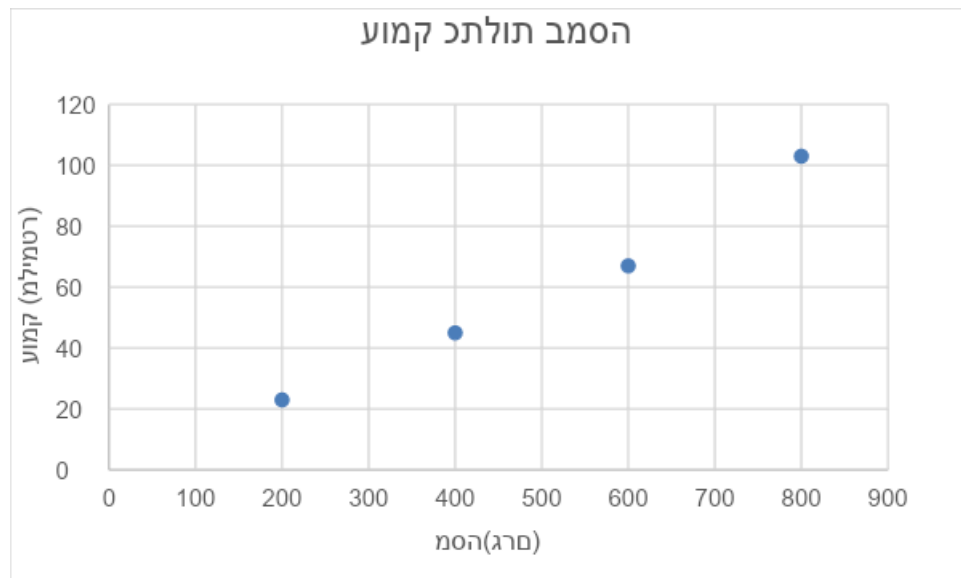
מרחק בין קצוות 75 ס"מ :

| מסה<br>(גרם) | עומק<br>(מלימטר) |
|--------------|------------------|
| 200          | 6                |
| 400          | 20               |
| 600          | 33               |
| 800          | 50               |



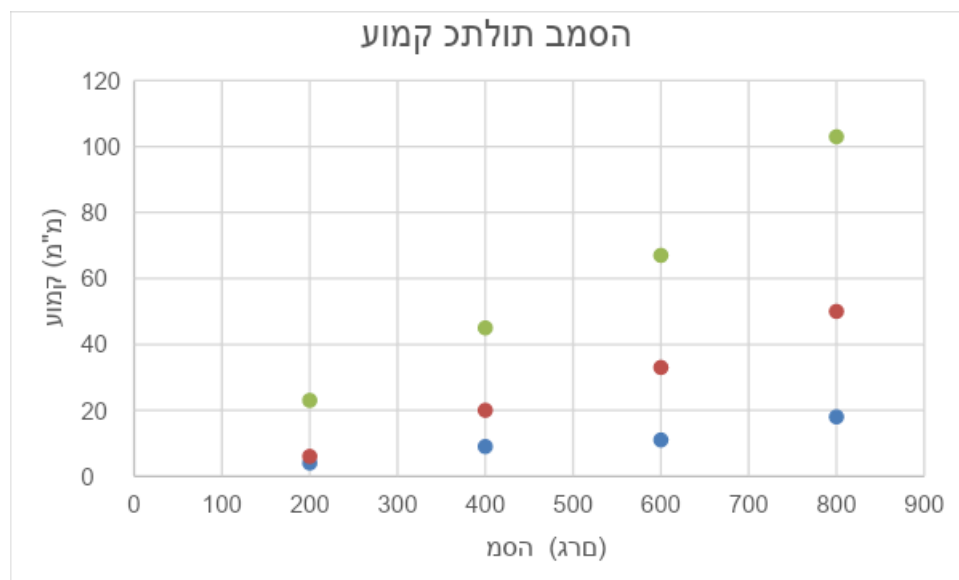
מרחק בין קצוות 90 ס"מ :

| מסה<br>(גרם) | עומק<br>(מלימטר) |
|--------------|------------------|
| 200          | 23               |
| 400          | 45               |
| 600          | 67               |
| 800          | 103              |



#### ניתוח תוצאות :

אספנו את כל הנתונים בגרף אחד ומה שקיבלנו



✓ אנו רואים ככל שהמסה גדלה גם העומק גדול בכל האורכים.

✓ אנו רואים שגם אם המסה קבועה אבל אורך העץ יותר גדול גם העומק גדל.

- ✓ העומק בניסוי זה מעיד על מידת ההשפעה של חוזק הגשר , ואנו רואים שחוזק הגשר מושפע משני פרמטרים גם המסה וגם האורך
- ✓ ככל שהמסה גדלה והאורך גדל החוזק של הגשר נהיה פחות והוא תקרב להישבר

## ניסוי מקדים מספר "2"

ניסוי מקדים מס "2": העומס ששובר את הביצה

מטרת הניסוי:

- מציאת המסה הגדולה ביותר ששוברת הביצים שמסודרים בצורת מלבן.
- האם הצד של הביצה משפיע על העומס שיכול לשאת עד נקודת השבירה.
- האם הגודל של הביצה משפיע על העומס שהיא יכולה לשאת.

השערת הניסוי:

- הצד הרחב בעמידה יכול לשאת עומס יותר גדול מהצד הפחות רחב.
- בעמידה יכולה לשאת הביצה יותר עומס מאשר בשכיבה.

- ככל שגודל הביצה יותר קטן היא יכולה לשאת עומס יותר גדול.

#### ציוד:

- ביצים בגדלים שונים.
- מסות (אבני משתלבת- כי רצינו מסות גדולות)
- חתיכת עץ כחומר מפריד בין הביצים למסה.
- מאזניים.
- מתקן לביצים.

#### מהלך הניסוי:

##### שלב 1 של הניסוי:

1. בניסוי זה סדרנו ביצים בתוך המתקן שלהם כמו באיור מספר 21".
2. שמנו חתיכת עץ כמתקן למסות שנשים על הביצים.
3. התחלנו להוסיף אבני משתלבת בכדי לראות מתי הביצים יתחילו להישבר.
4. הניסוי הזה הינו ניסוי איכותי (אין מדידות).

תוצאות הניסוי : וניתוח כל שלב אחרי התוצאות:





איור מסר "2"

## 5 אבני משתלבת

רגע לפני השבירה:



בעת השבירה :



ניתוח שלב ראשון: ביצים עם הצד הרחב הינם מחזיקות מסה מאוד גדולה יחסית למסה שלהם.

### שלב 2 של הניסוי:

1. בניסוי זה המטרה בינה בדיקת האם הצד בו נשענת הביצה משפיע על המסה אשר שוברת אותה.
2. שמנו חתיכת עץ כמתקן למסות שנשים על הביצים.
3. התחלנו להוסיף אבני משתלבת בכדי לראות מתי הביצים יתחילו להישבר.
4. הניסוי הזה הינו ניסוי איכותי (אין מדידות).

מהלך הניסוי :

ניקח שלושה מקרים:

המקרה הראשון: 10 ביצים מסודרים בצורת מלבן עם הצד החד של הביצה למעלה

המקרה השני: 10 ביצים מסודרים בצורת מלבן עם הצד הרחב של הביצה למעלה

המקרה השלישי: 10 ביצים מסודרים בצורת מלבן ומשענות על הצד שלהם.

תוצאות :

המקרה הראשון: הביצים עם הצד החד נשברו במסה 7.5 קילוגרם.

המקרה השני : הביצים נשברו ב 10 קילוגרם – ז"א 10 קילוגרם הינה המסה הכי גדולה במקרה זה

המקרה השלישי: הביצים הנשענות על הצד שלהם נשברים במסה 4 קילוגרם.

ניתוח תוצאות למקרה שני : החוזק של הקשת מושפע מהאורך ומהרוחב של הקשת , צורה אחרת הינה צורה חלשה ולא מחזיקה הרבה.

### שלב 3 של הניסוי:

1. בניסוי זה המטרה הינה בדיקת האם הגודל של הביצה משפיע על המסה אשר שוברת אותה.
2. שמנו חתיכת עץ כמתקן למסות שנשים על הביצים.
3. התחלנו להוסיף אבני משתלבת בכדי לראות מתי הביצים יתחילו להישבר.
4. הניסוי הזה הינו ניסוי איכותי (אין מדידות).

מהלך הניסוי :

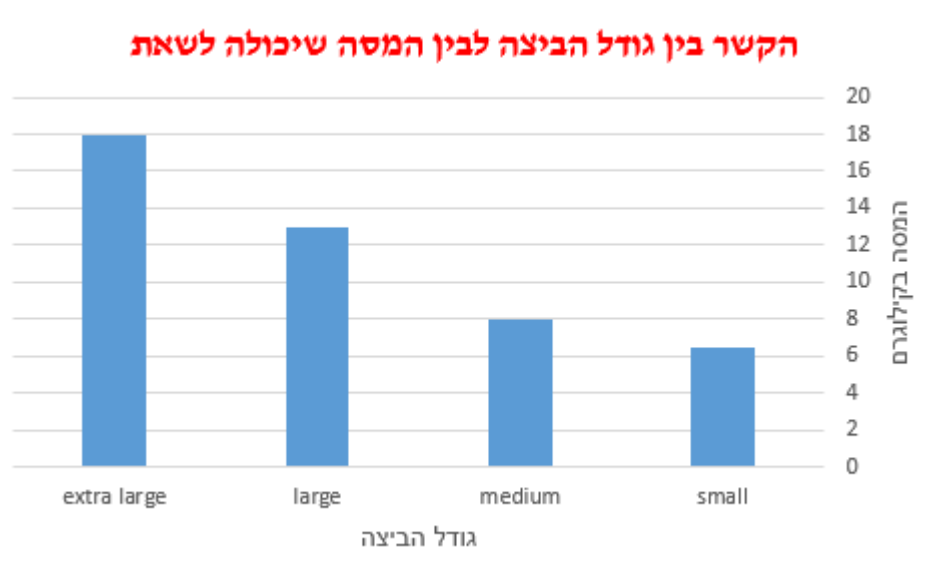
בניסוי זה סידרנו הביצים בצורת מלבן בגדלים שונים : small , medium , large , extra large

והתחלנו להוסיף משקולות מעל הביצים בהדרגתיות.

תוצאות :

| המסה אשר שברה הביצה | גודל הביצה |
|---------------------|------------|
|---------------------|------------|

|     |             |
|-----|-------------|
| 6.5 | small       |
| 8   | medium      |
| 13  | large       |
| 18  | extra large |



**ניתוח תוצאות למקרה שלישי:**

מצאנו בניסוי זה ככל שגודל הביצה גדל גם המסה שהוא יכול לשאת הינה יותר גדולה

## ניסוי מרכזי מספר "1"

ניסוי מרכזי מס "1": בדיקת הקשר בין רוחב הגשר לבין העומס (הכוח) שהוא יכול להחזיק .

מטרת הניסוי: בניסוי זה אנו נבחר גובה קבוע ונבנה גשרים ברוחבים שונים ונמצא בכל רוחב מה יהיה העומס המקסימלי שהגשר יכול להחזיק .

### החומרים שהשתמשנו בהם בניסוי הם:

מקלות ארטיק

דבק

אבני משתלבת ומסות בגדלים שונים

### השערת הניסוי:

אנחנו מצפים שיש נקודה אופטימלית בכל גובה שנבחר והיא מתאימה לרוחב ספיציפי.

אנו מצפים שחלק מהגרף נראה עליה והחלק השני ירידה וזה יהיה גם לגבי הרוחב וגם לגבי הגובה , הסיבה היא הנקודה האופטימלית שאנו מצפים למצוא אותה.

### מהלך הניסוי:

בתחילת בחרנו גובה ספיציפי והתחלנו לבנות גשרים ברוחבים שונים , לאחר מכן העמדנו הגשרים והתחלנו לשים מסות באמצע הגשר עד לרגע השבירה

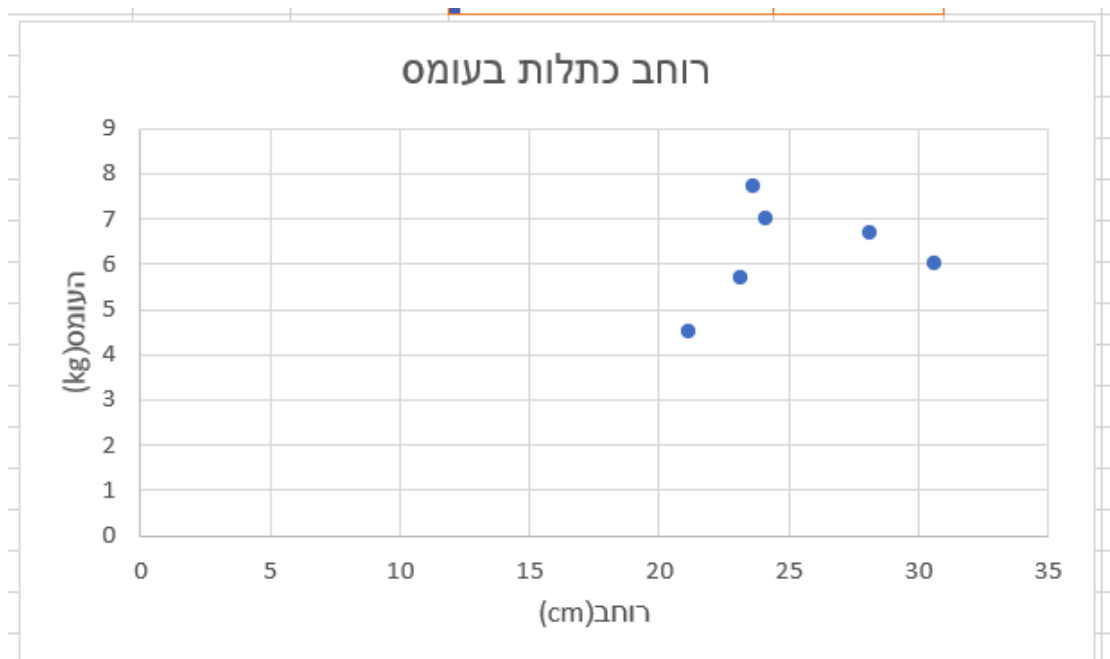






### תוצאות הניסוי:

| רוחב (cm) | העומס (הכוח) (kg) |
|-----------|-------------------|
| 21        | 4.5               |
| 23        | 5.7               |
| 23.5      | 7.7               |
| 24        | 7                 |
| 28        | 6.7               |
| 30.5      | 6                 |



#### ניתוח התוצאות:

(\*) אנו רואים שבעת שמירה על גובה קבוע ושינוי הרוחב יש נקודת מקסימום שהיא יכולה לשאת עומס הכי כבד, נקרא לנקודה זו הנקודה האופטימית שלנו.

(\*) הניסוי בוצע רק פעם אחד אבל בכדי להגיע לתוצאות מדויקות יותר היינו חייבים לחזור על הניסוי יותר מפעם אחת אבל בניית הגשרים צריך זמן רב ולא הספקנו לחזור על הניסוי רק פעם אחת

## ניסוי מרכזי מספר "2"

ניסוי מרכזי מס "1" : בדיקת הקשר בין גובה הגשר לבין העומס (הכוח) שהוא יכול להחזיק.

**מטרת הניסוי:** בניסוי זה אנו נבחר רוחב קבוע ונבנה גשרים בגבהים שונים ונמצא בכל גובה מה יהיה העומס המקסימלי שהגשר יכול להחזיק .

#### **החומרים שהשתמשנו בהם בניסוי הם:**

מקלות ארטיק

דבק

אבני משתלבת ומסות בגדלים שונים

#### **השערת הניסוי:**

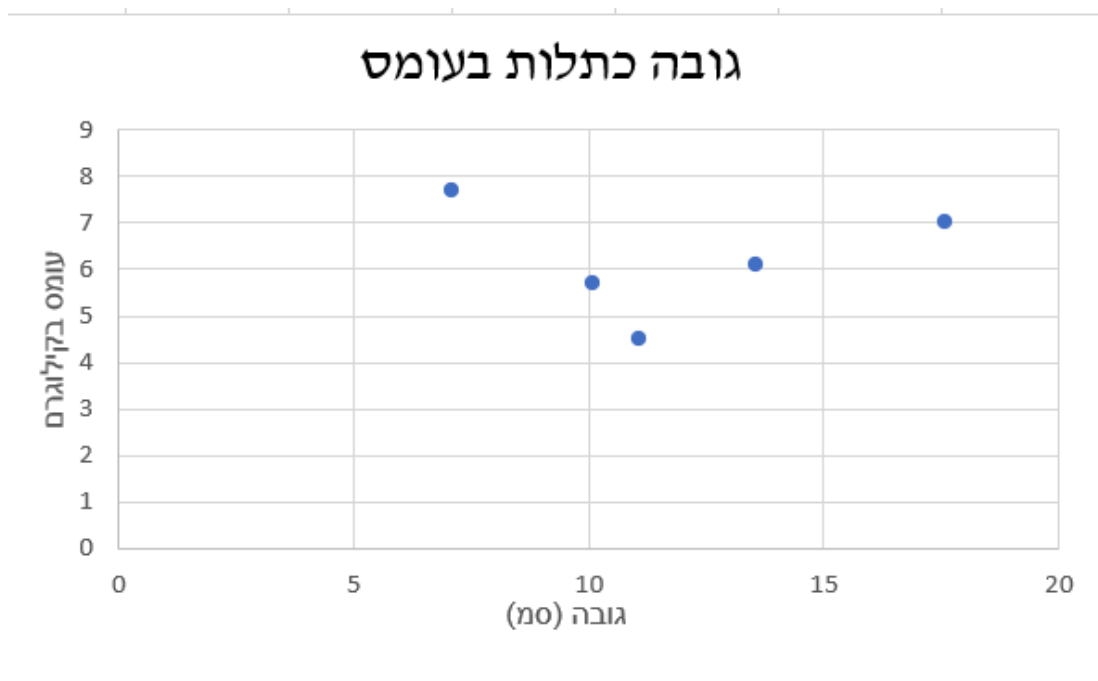
אנחנו מצפים שיש נקודה אופטימלית בכל גובה שנבחר והיא מתאימה לרוחב ספיציפי.  
אנו מצפים שחלק מהגרף נראה עליה והחלק השני ירידה וזה יהיה גם לגבי הרוחב וגם לגבי הגובה , הסיבה היא הנקודה האופטימלית שאנו מצפים למצוא אותה.

#### **מהלך הניסוי:**

בתחילת בחרנו רוחב ספיציפי והתחלנו לבנות גשרים בגבהים שונים , לאחר מכן העמדנו הגשרים והתחלנו לשים מסות באמצע הגשר עד לרגע השבירה.

#### **תוצאות הניסוי:**

| גובה (ס"מ) | עומס (kg) |
|------------|-----------|
| 7          | 7.7       |
| 10         | 5.7       |
| 11         | 4.5       |
| 13.5       | 6.1       |
| 17.5       | 7         |

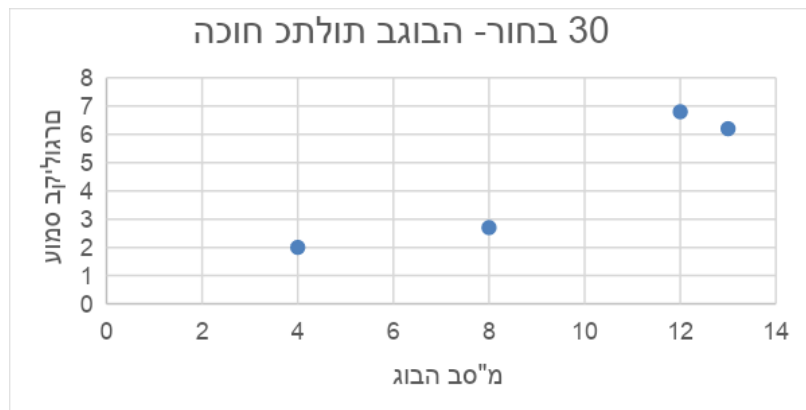
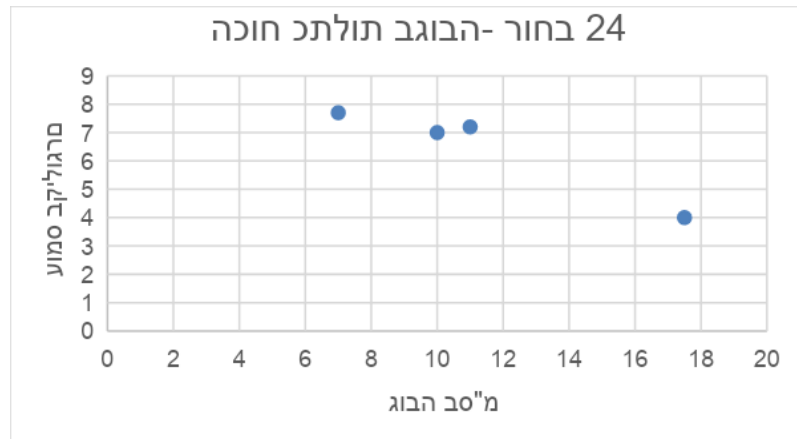


#### ניתוח התוצאות:

(\*) אנו רואים שכל שהגובה הולך וגדל העומס שהוא יכול להחזיק הינו יותר קטן

(\*) אבל אם נסתכל בניסוי אנו רואים שיש שני גבהים שלמרות שהם יותר גדולים אבל יוכלו להחזיק יותר עומס.

(\*) למען פירוש תופעה זו החלטנו לחזור על הניסוי ולבדוק את הרחב והגובה מחדש לגשרים, ומה שגילנו ששני גשרים אלה היו בעל רחב יותר גדול מהשאר, וההבדל הינו יותר מ 5 ס"מ אז אנו מסבירים את השינוי הזה והעליה הפתאומית מסיבה שלא שמרנו על רחב שווה ולכן מה שהחלטנו לעשות עוד ניסוי לבדיקה, תוצאות ניסוי הבדיקה הינן להלן



(\*) מהגרפים למעלה אנו רואים שברוחב 24 ככל שהגובה גדל החזיק קטן והגשר יכול להחזיק פחות מסה (עומס).

(\*) ברוחב של 30 אנו רואים שבהתחלה ככל שגובה עלה גם המסה גדלה אבל לאחר גובה 12 ס"מ אנו רואים ככל שהגובה גדל העומס קטן

## סיכום

- ✓ (\*) **בניסוי המקדים הראשון מצאנו:** אנו רואים ככל שהמסה גדלה גם העומק גדול בכל האורכים.
- ✓ אנו רואים שגם אם המסה קבועה אבל אורך העץ יותר גדול גם העומק גדל.
- ✓ העומק בניסוי זה מעיד על מידת ההשפעה של חוזק הגשר, ואנו רואים שחוזק הגשר מושפע משני פרמטרים גם המסה וגם האורך
- ✓ ככל שהמסה גדלה והאורך גדל החוזק של הגשר נהיה פחות והוא תקרב להישבר
- ✓ (\*) בניסוי מקדים שני - שלב ראשון מצאנו: **ביצים עם הצד הרחב הינם מחזיקות מסה מאוד גדולה יחסית למסה שלהם.**
- ✓ בניסוי מקדים שני - שלב שני מצאנו: **ככל שגודל הביצה גדל גם המסה שהוא יכול לשאת הינה יותר גדולה**
- ✓ (\*) בניסוי מרכזי מספר 1:
- ✓ אנו רואים שבעת שמירה על גובה קבוע ושינוי הרוחב יש נקודת מקסימום שהיא יכולה לשאת עומס הכי כבד, נקרא לנקודה זו הנקודה האופטימית שלנו.
- ✓ הניסוי בוצע רק פעם אחד אבל בכדי להגיע לתוצאות מדויקות יותר היינו חייבים לחזור על הניסוי יותר מפעם אחת אבל בניית הגשרים צריך זמן רב ולא הספקנו לחזור על הניסוי רק פעם אחת
- ✓ (\*) בניסוי מרכזי מספר 2:
- ✓ מהגרפים למעלה אנו רואים שברוחב 24 ככל שהגובה גדל החוזק קטן והגשר יכול להחזיק פחות מסה (עומס).
- ✓ ברוחב של 30 אנו רואים שבהתחלה ככל שגובה עלה גם המסה גדלה אבל לאחר גובה 12ס"מ אנו רואים ככל שהגובה גדל העומס קטן



✓ סיכום לגשר הכי חזק: לכל רוחב של הגשר יש

גובה ספציפי בו הוא יכול להחזיק הכי הרבה

ז"א רוחב וגובה אידיאלי תלוי

## הצעות המשך:

(\*) לחזור על כל ניסוי יותר מפעם אחת  
(\*) לבצע יותר בדיקות עבור כל אחד מהניסויים.

(\*) לנסות בניית סימולציה

## תודות

לאחר שנה ארוכה, מלאה בהרבה הפתעות, הגענו לסוף המחקר שלנו, ואני לא יכול לסיים את העבודה אלא לאחר הקדשת תודה מאוד גדולה למנחה והמורה שלי שליוותה אותי במהלך כל החקר, שהאמינה ביכולות שלי ותמיד הצליחה לשכנע אותי שהיא רואה את סוף המחקר והתהליך שאנו עוברים. פאתנה תורה רבה לך מורה יקירה ומנחה מדהימה.

אני גם רוצה להודות לבית ספר שלנו על זה שהוא נותן לנו את ההזדמנות הזו להתנסות בחקר, שמעבר לכל הלמידה בתחום הפיזיקה הוא מלמד אותנו תכנון זמנים והסתגלות במצבים מוציא מאיתנו היצירתיות הטמונה בתוכנו.

למרכז אחר"ת אשר מאמין והאמין כל הזמן בעיקרון הלמידה באמצעות החקר אני אומר תודה מאוד גדולה שפתחתם בפני התלמידים אופציה כזו של חקירה, המעשים שלכם לא מובן מאליו.

אני מקווה שנהניתם בקריאת העבודה, כמו שאני נהנית ולמדתי

ואני מקווה שהעבודה הזו תהווה השראה לעוד תלמידים ללמוד דרך חקר.

## ביבליוגרפיה

<http://shturem.net/index.php?section=news&id=47295>

<https://www.youtube.com/watch?v=b9niGbPGqs8>

<https://www.youtube.com/watch?v=B1dSRRVfGp4>