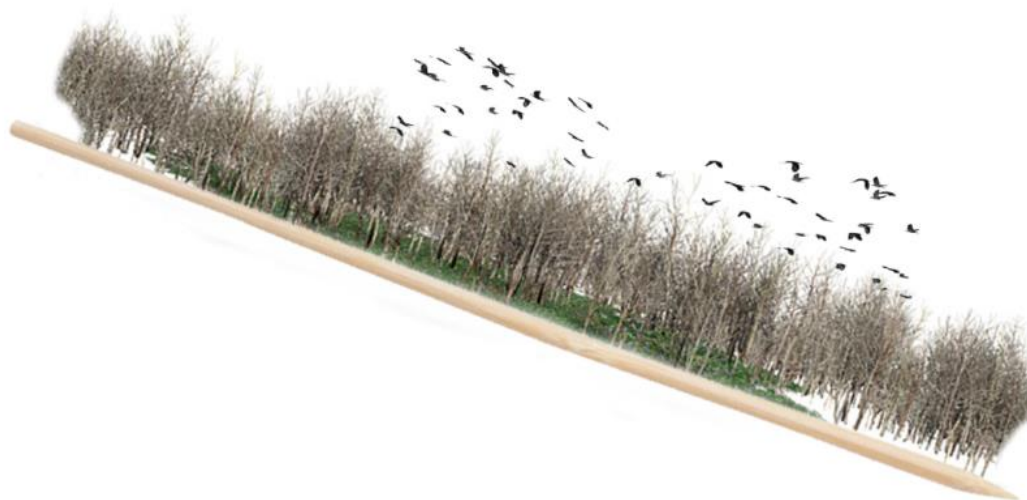


"כאש בשדה קוצים"



מגישים: יואל שרייבר, נווה פורת, זיו סובול

כיתה ט

שם ביה"ס: תיכון תורני ניסויי הרטמן בנים

ישוב: ירושלים

מחוז: מנח"י ירושלים

א. מבוא

הקדמה

במסגרת פעילותינו מחוץ לבית הספר, אנחנו חברים בחוג סיירות ובתנועת נוער. במהלך טיולים בשטח, אנחנו נדרשים להדליק אש, לבישול או סתם בשביל החוויה. בעבודה זו, ביקשנו לבדוק גורמים המשפיעים על מהירות התפשטות אש. הבנה זו תוכל לסייע בהדלקת אש (במדורה למשל) ובמניעת שריפה. לדוגמה: כיצד יש להניח את העצים כדי שהאש תדלק מהר יותר? באיזו זווית יש להניח את העצים כדי שהאש תדלק מהר יותר? האם יש חשיבות לענפים מהם בנינו את המדורה? מהו העובי העדיף של העצים למדורה? רצינו לבדוק כיצד כדאי להדליק אש במהירות, ביעילות ובזהירות. לצורך כך, בדקנו את קצב התפשטות האש בשיפועים שונים ובקטרים שונים של "עצים". בניסוי שלנו, השתמשנו בשיפודים עם קוטר שונה כמודל ל"עצים".

בשנים האחרונות, שמענו על לא מעט שרפות, כשהגדולה שבהן הייתה השריפה בכרמל בשנת 2010. במהלך העבודה, חשבנו שאפשר לקשר את תוצאות עבודתנו להערכת קצב התפשטות שריפה במרחב. לכן ניסינו לשער כיצד כדאי לשתול את העצים כך שבמקרה של שריפה, קצב התפשטות האש יהיה איטי יותר. לצורך כך, התייחסנו להתפשטות האש על השיפוד, כדגם להתפשטות שריפה ביער/במרחב. הנחנו שיפודים בעלי קוטר שונה בשיפועים שונים, כאשר שיפוע השיפוד מדמה את שיפוע המישור המיוער.

רקע מדעי

בעירה היא תגובה כימית של חומר דלק עם חמצן (2,1). כלומר כדי ליצור אש יש צורך ב: חומר דלק, חמצן וטמפרטורה מתאימה. כיבוי האש נעשה על ידי הפחתת ההשפעה של אחד מהמרכיבים (או יותר).

במאמרה של ד"ר מירי קסנר "מעכבי בעירה עם כל דבר" (4,3) יש התייחסות לתרכובות כימיות המשמשות כמעכבי בעירה, שמטרתן לעכב את קצב התפשטות האש. במאמר כתוב: "ע"י שילוב תרכובות הגורמות להפחתת השפעתם של גורמים אלו (הגורמים המזינים את האש) ניתן להפוך חומרים דליקים לחומרים פחות דליקים וכך לגרום להקטנת סיכוני השריפה". במאמר מוצעים פתרונות כימיים לעיכוב בעירה ואנו ביקשנו להציע פתרון פיזי - תכנון מבנה היער לפני נטיעתו.

בעבודתנו, ביקשנו לבדוק כיצד ניתן להאט את קצב התפשטות האש ע"י שינוי מכני/טכני, שהוא שינוי הזווית של החומר הנשרף - העץ.

ביקשנו לבדוק מה ההשפעה של הזווית בה מונח חומר הבעירה על קצב ההתפשטות של האש.

ניתן להיעזר בתוצאות עבודתנו להערכת קצב התפשטות שריפה במרחב:
 כיצד שיפוע של מרחב מיוער משפיע על קצב התפשטות השריפה? כלומר האם שריפה ביער הררי
 תתפשט מהר יותר מאשר ביער מישורי?
 בחנו התפשטות אש על שיפוד, כדגם ליער. השתמשנו בשיפוע השיפוד כדגם לשיפוע היער. בחנו
 שיפועים שונים בהם מונח השיפוד, כדגם להתפשטות שריפה באזורים מיוערים בעלי שיפועים
 שונים.

ב. שאלות החקר והשערות החקר

שאלות החקר:

1. כיצד משפיע שיפוע השיפוד על מהירות התפשטות האש לאורכו?
2. כיצד משפיע קוטר השיפוד על מהירות התפשטות האש לאורכו?

השערות חקר:

1. ככל ששיפוע השיפוד גדול יותר, מהירות התפשטות האש גדולה יותר.
 כיוון שהלהבה עולה כלפי מעלה, ככל ששיפוע השיפוד גדול יותר כך החשיפה לחומר
 הבעירה יותר גדולה.
2. ככל שקוטר השיפוד גדול יותר, מהירות התפשטות האש קטנה יותר.
 כיוון שיש יותר חומר בעירה בשטח החתך של השיפוד, התפשטות האש מתעכבת.

ג. תכנית החקר ושיטות העבודה

שיטת המחקר שלנו הייתה ניסוי מבוקר.

מבנה המערכת

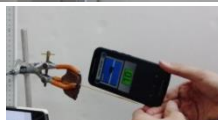
תחילה היה עלינו לתכנן מערכת מתאימה. לאחר כמה ניסיונות ותיקונים בנינו את המערכת
 הבאה:



1. על מעמד (סטטיב) א' הרכבנו ידית.
 הצמדנו גוש פלסטלינה לידית המעמד ולתוכו הכנסנו שיפוד.



2. קיבענו מצלמה על מעמד נוסף (מעמד ב'), מול מעמד א'.



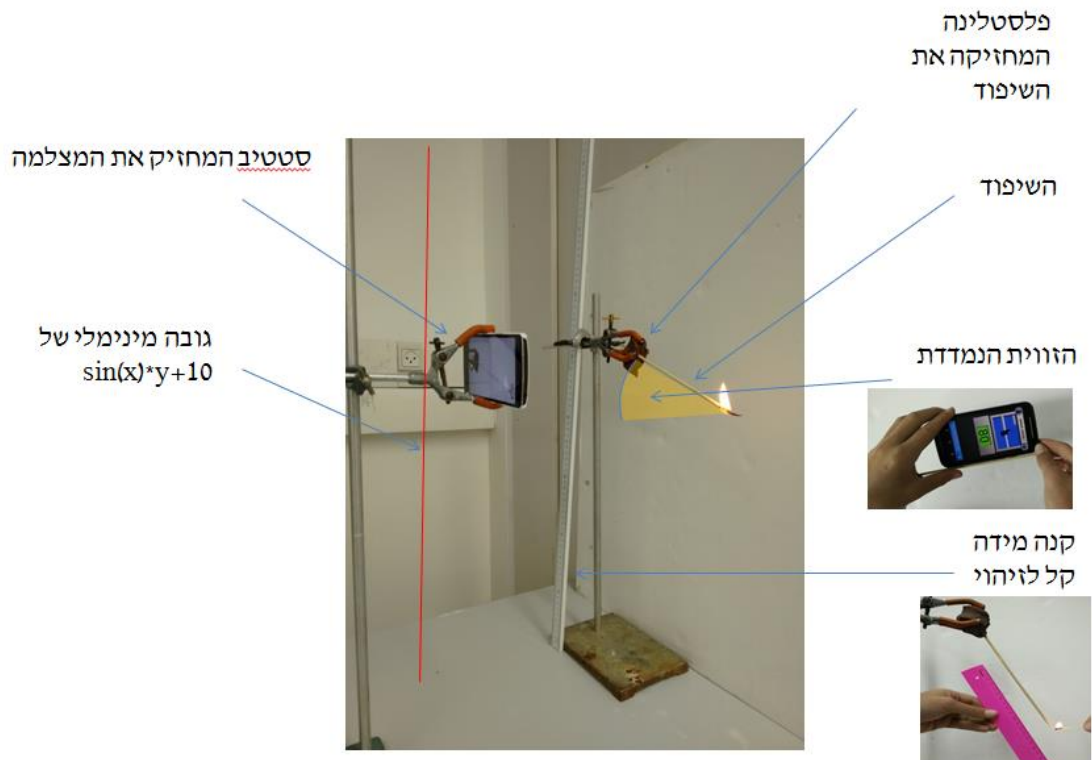
3. במהלך הניסוי שינינו בכל פעם את זווית השיפוד.
 כדי לקבוע את זווית השיפוד נעזרנו באפליקציית
 "angel meter" שחישבה את הזווית ביחס לרצפה.



4. הנחנו סרגל, במקביל לשיפוד, כדי לקבוע את התקדמות
 השריפה (רלוונטי להמשך).

5. הצתנו את השיפוד בקצהו.

תמונת המערכת השלמה :



לאחר בניית המערכת ניגשנו לבדוק את השערות החקר שלנו.

מהלך הניסוי :

א. בדיקת השפעת זווית השיפוד על מהירות התפשטות האש :

גורם משפיע : שיפוע השיפוד.

גורם מושפע : מהירות התפשטות האש לאורך השיפוד.

1. קיבענו שיפוד בזווית של 10° והצתנו את השיפוד בקצהו התחתון.
 2. מרגע ההצתה צילמנו סרטון של הלהבה המתקדמת.
 3. את הסרטון המתקבל העלנו על המחשב וניתחנו באמצעות תוכנת ה-TRACKER. עקבנו אחרי החלק השרוף (השחור) בשיפוד.
 4. חזרנו על הניסוי (שלב 3-1) עבור כל אחת מהזוויות הבאות של השיפוד: 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , 80° . (בתוצאות נפרט לגבי זוויות 0° ו- 90° של השיפוד).
 5. חזרנו על הבדיקה של כל אחת מהזוויות של השיפוד לפחות שלוש פעמים וחישבנו ממוצע של מהירות התפשטות האש עבור כל אחת מהזוויות שנבדקו.
- * בכל הניסויים שביצענו הקפדנו על בידוד משתנים. כלומר, כל התנאים בכל הניסויים היו זהים: סוג החומר, קוטר השיפוד והמערכת, פרט לזווית השיפוע של השיפוד אותה שינינו בכל ניסוי.

ב. בדיקת השפעת קוטר השיפוד על מהירות התפשטות האש :

גורם משפיע : קוטר השיפוד.

גורם מושפע : מהירות התפשטות האש לאורך השיפוד.

חזרנו על שלבים 1-5 המתוארים בחלק א', בשיפודים בעלי הקטרים הבאים : 2 מ"מ, 3 מ"מ ו-4 מ"מ. כלומר עבור זווית של 10° , ביצענו את הניסוי עם שלושה שיפודים בקטרים שונים : 2 מ"מ, 3 מ"מ ו-4 מ"מ וכן עבור כל אחת מהזוויות האחרות. *בכל הניסויים שביצענו הקפדנו על בידוד משתנים. כלומר, כל התנאים בכל הניסויים היו זהים : סוג החומר, זווית השיפוד והמערכת, פרט לקוטר השיפוד אותו שינינו בכל ניסוי.

ד. הצגת הממצאים וסיכומם

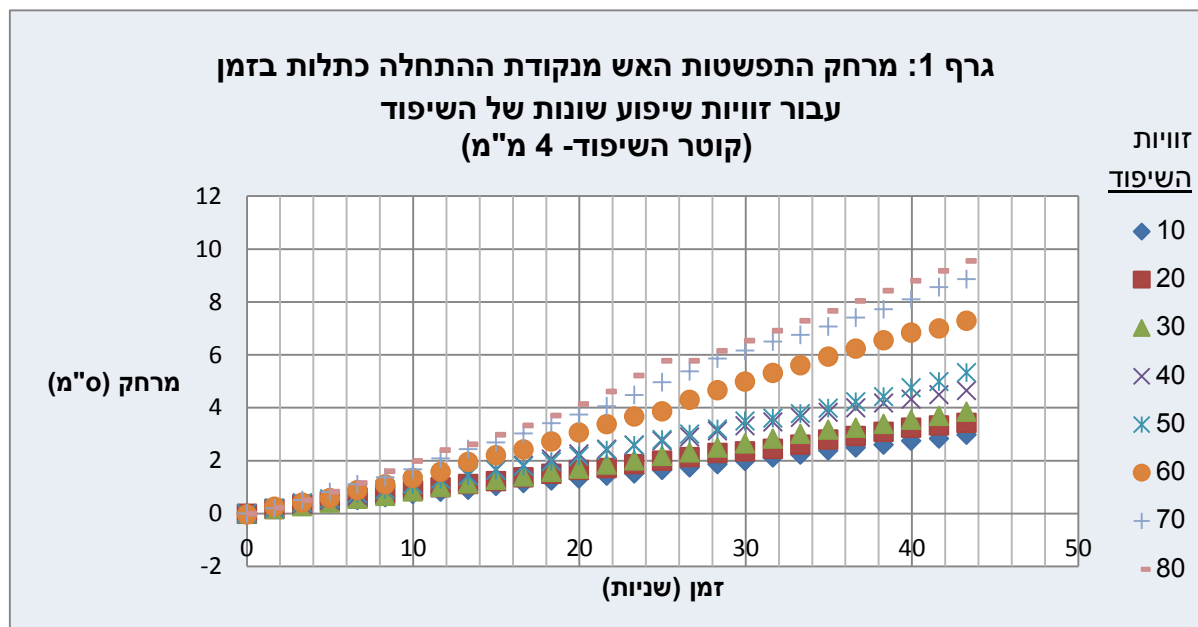
אופן עיבוד וניתוח התוצאות :

- 1) העלנו את כל הסרטונים שצלמנו במהלך הניסויים למחשב.
- 2) ניתחנו את הסרטונים בתוכנת ה-tracker video analysis, והעברנו את התוצאות לקובץ excel. יצרנו קובץ excel עבור כל קוטר שיפוד שנבדק (2 מ"מ, 3 מ"מ, 4 מ"מ), ובו פתחנו גיליון לכל זווית וגיליון לסיכום. בגיליון הסיכום יצרנו גרף המציג את מרחק התפשטות האש מנקודת ההתחלה כתלות בזמן עבור זוויות שונות, עבור כל קוטר שיפוד שנבדק. ראו דוגמה גרף 1 (בסעיף התוצאות).
- 3) קיבלנו 3 גרפים שונים (עבור כל אחד מ-3 הקטרים של השיפודים שנבדקו). מנתוני 3 הגרפים חילצנו את מהירות התפשטות האש עבור כל זווית ויצרנו גרפים המציגים את מהירות התפשטות האש לאורך שיפוד כתלות בזווית השיפוד, עבור כל קוטר. ראו דוגמה גרף 2 (בסעיף התוצאות).
- 4) לסיכום, יצרנו גרף המשווה בין המהירויות של התפשטות האש בזווית מסוימת, עבור כל אחד מהקטרים שנבדקו ראו גרף 3 בסעיף תוצאות.

תוצאות :

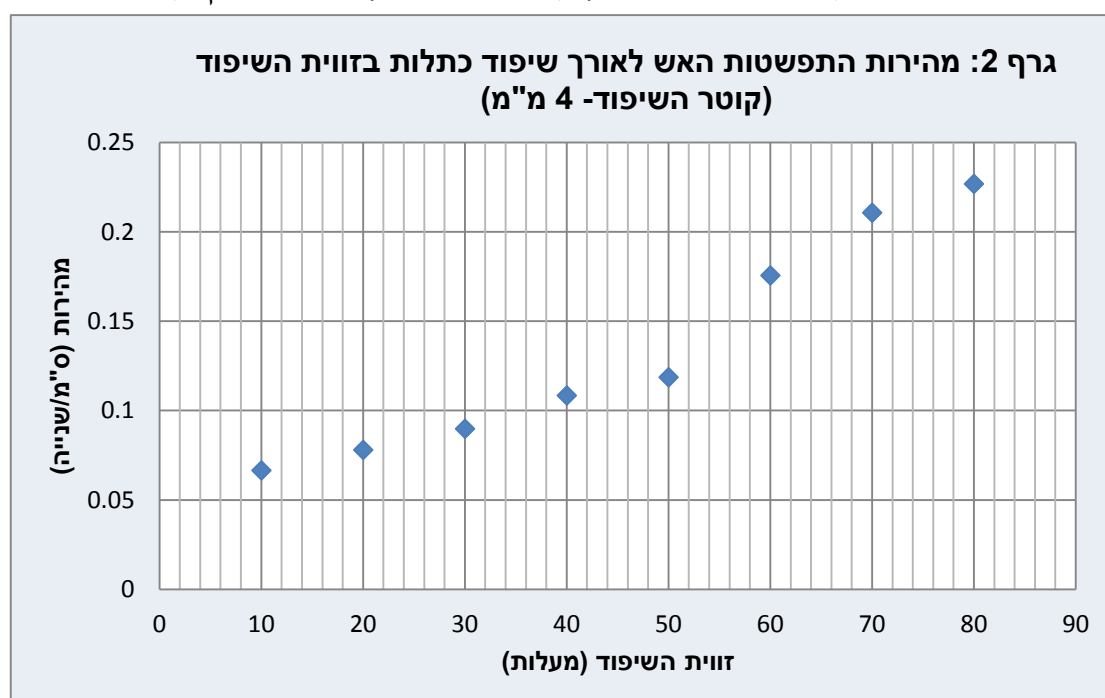
בהתחלה, בשלב "ההרצה" של הניסוי, ביצענו את הניסויים גם עבור זוויות של 0° ו- 90° . את תוצאות הניסויים הללו לא הכנסנו לגרפים ולטבלאות שיוצגו בהמשך מכיוון ש :
א. שיפודים שקובעו בשיפועים של 0° לא נדלקו (כלומר נדלקו וכבו כמעט מיד).
ב. שיפודים שקובעו בשיפועים של 90° , השחיתו לגמרי תוך שניה אחת.
עבור שיפוד שקובע בזווית של 90° , החשיפה של חומר הבעירה לאש היא מלאה, לכן השיפוד משחים כולו בתוך שניה (גם אם הוא לא בער ממש, גובה הלהבה מכסה אותו). בניסויים אלה לא הייתה לנו נקודה מהימנה לעקוב אחריה באמצעות תוכנת ה-tracker video analysis שהרי עבור כל זווית עקבנו אחרי נקודת הבעירה/ההשחמה המתקדמת ביותר ולא אחרי גובה הלהבה. הלהבה לא נחשבת נקודה מהימנה מכיוון שהיא תזזיתית ולא ניתן לעקוב אחריה. בנוסף, מעקב אחרי הלהבה לא דווקא מספק מידע על קצב הבעירה, אלא מספק מידע על גובה הלהבה.

בגרף 1 מוצגים הנתונים שעובדו מתוך סרטוני השריפה בכל זוויות השיפוע שנבדקו עבור שיפוד בקוטר של 4 מ"מ. (הגרפים הנוספים- עבור שיפודים בקטרים של 2 מ"מ, ו-3 מ"מ מופיעים בנספחים).
הגרף מציג ממוצעים שהתקבלו לפחות משלוש חזרות.



מהתוצאות המוצגות בגרף ניתן לראות כי, עבור כל זווית מתקיים יחס כמעט ליניארי בין המרחק לזמן. כלומר, קצב התפשטות האש לאורך שיפוד מסוים הוא כמעט קבוע. הקצב משתנה עבור שיפודים בשיפועים שונים.

עבור כל זווית בגרף 1 הוספנו קו מגמה וחילצנו את שיפוע הקו (מהירות התפשטות האש). בגרף 2 ובטבלה 2 הצגנו את מהירות התפשטות האש עבור כל זווית שיפוע של שיפוד בקוטר של 4 מ"מ.



טבלה 2: מהירות התפשטות האש לאורך שיפוד כתלות בזווית השיפוד

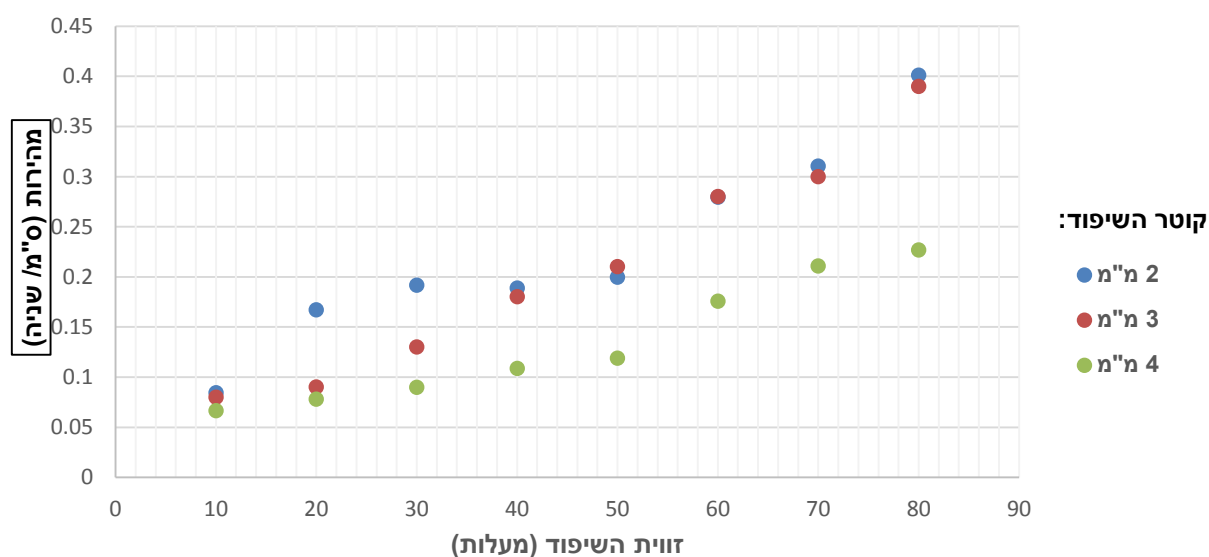
(קוטר השיפוד 4 מ"מ)

זווית (מעלות)	מהירות (ס"מ/שניה)
10	0.0665
20	0.0781
30	0.0899
40	0.1085
50	0.1187
60	0.1756
70	0.2108
80	0.2268

ניתן לראות מהגרף ומהטבלה, ששינוי הזווית עבור שיפוד בקוטר של 4 מ"מ, מביא לשינוי במהירות התפשטות האש. כשהגדלנו את הזווית, מהירות התפשטות האש עלתה.

על הניסוי המוצג בגרף 1, בגרף 2 ובטבלה 2 חזרנו עם שיפודים בקטרים שונים.
בגרף 3 ובטבלה 3 מוצגת מהירות התפשטות האש לאורך שיפוד כתלות בזווית השיפוד, בשיפודים בעלי קטרים שונים.

גרף 3: מהירות התפשטות האש לאורך שיפוד כתלות בזווית השיפוד בשיפודים בעלי קטרים שונים



טבלה 3 : מהירות התפשטות האש לאורך שיפוד כתלות בזווית השיפוד

בשיפודים בעלי קטרים שונים

שיפוד בקוטר 4 מ"מ		שיפוד בקוטר 3 מ"מ		שיפוד בקוטר 2 מ"מ	
מהירות (ס"מ/ שנייה)	זווית שיפוד (מעלות)	מהירות (ס"מ/ שנייה)	זווית שיפוד (מעלות)	מהירות (ס"מ/ שנייה)	זווית שיפוד (מעלות)
0.0665	10	0.08	10	0.0844	10
0.0781	20	0.09	20	0.1669	20
0.0899	30	0.13	30	0.1915	30
0.1085	40	0.18	40	0.1889	40
0.1187	50	0.21	50	0.1995	50
0.1756	60	0.28	60	0.2795	60
0.2108	70	0.30	70	0.3104	70
0.2268	80	0.39	80	0.401	80

ניתן לראות מהגרף ומהטבלה, ששינוי הזווית עבור שיפודים בקטרים שונים, מביא לשינוי במהירות התפשטות האש. כשהגדלנו את הזווית, עבור כל אחד משלושת השיפודים השונים שנבדקו, מהירות התפשטות האש עלתה.

ניתן גם לראות, שעבור כל זווית, ההבדל בין מהירות התפשטות האש בין שיפוד בקוטר של 2 מ"מ לשיפוד בקוטר של 3 מ"מ הוא זניח יחסית. עבור כל זווית, ההבדל בין מהירות התפשטות האש בין שיפוד בקוטר של 4 מ"מ לשיפודים בקוטר של 2- מ"מ ו-3 מ"מ הוא משמעותי יחסית.

ה. מסקנות ודיון

עוצמת האש תלויה בכמות חומר הבעירה, בסוג חומר הבעירה, בכמות החמצן ובטמפרטורה. במחקר שלנו בדקנו את חשיפת הלהבה לחומר הבעירה. סברנו כי ככל שהחשיפה של הלהבה לחומר בעירה נתון תהיה גדולה יותר, מהירות התפשטות האש תהיה גדולה יותר. שיערנו כי הגורמים המשפיעים על החשיפה לחומר הבעירה הם: הזווית בה מונח חומר הבעירה ושטח החתך של חומר הבעירה. ביצענו את ניסוי החקר שלנו באמצעות שיפודים ששימשו כחומר בעירה, הנחנו את השיפודים בזוויות שונות ועבדנו עם שיפודים בעובי שונה, במטרה לבדוק את השערותינו. מתוצאות המחקר שביצענו ניתן להסיק, כי:

א. מהירות התפשטות האש מושפעת מזווית השיפוד. ככל שהזווית בה מונח חומר הבעירה (השיפוד) גדולה יותר (מתקרבת ל- 90°), מהירות התפשטות האש גדולה יותר.

ב. עובי השיפוד לא תמיד משפיע על מהירות התפשטות האש. לא נמצאו הבדלים משמעותיים במהירות התפשטות האש בשיפודים בקוטר של 2 מ"מ ו-3 מ"מ. אולם, נמצאו הבדלים במהירות התפשטות האש בין שיפודים בקוטר 2 מ"מ ו-3 מ"מ לשיפוד בקוטר 4 מ"מ. מתוצאות אלו הסקנו כי ככל שקוטר השיפוד גדול יותר (4 מ"מ לעומת 2 מ"מ ו-3 מ"מ), מהירות התפשטות האש קטנה יותר. יכול להיות שאם היינו בודקים גם שיפודים בקטרים גדולים יותר היינו רואים הבדלים משמעותיים יותר.

התוצאות והמסקנות מאששות את ההשערות שלנו, כי הגורמים המשפיעים על החשיפה לחומר הבעירה הם: הזווית בה מונח חומר הבעירה והעובי של חומר הבעירה.

מתוך המחקר שביצענו נובע כי:

- א. בהדלקת גפרור, חשוב לאחוז אותו בזווית קטנה ככל האפשר ביחס לקרקע, כדי להבטיח התקדמות איטית של האש.
- ב. כאשר אנו מדליקים מדורה בטיול מומלץ לבחור בהתחלה בגזרי עצים דקים ולהניחם בשיפוע גדול ביחס לאדמה כדי שהאש תתפשט במהירות רבה יחסית.
- ג. שריפה ביער הררי תתפשט מהר יותר משריפה ביער מישורי (בהנחה שהשריפה מתחילה בתחתית ההר ואין גורמים משפיעים אחרים). לכן מומלץ לשתול יער על גבי טרסות (מדרגות בהר), או כל משהו אחר שיהיה מישורי.

המלצות להמשך החקר:

בחנו את התפשטות האש על שיפוד, כדגם להתפשטות שריפה ביער. מובן ששיפוד אינו מודל מושלם ליער. מומלץ להמשיך את המחקר בקנה מידה גדול יותר ולבדוק התפשטות אש עבור:

- א. שיפודים עבים וארוכים יותר.
- ב. שיפודים מחוספסים כמו ענפים.
- ג. מודל במבנה של יער, שכולל ענפים קטנים עם מרווחים ביניהם.

שאלות נוספות שניתן לבדוק:

כיצד משפיעים הגורמים הבאים על קצב התפשטות האש בשיפוד:

- א. סוג העץ ממנו עשוי השיפוד.
- ב. אחוז הלחות בסביבה.
- ג. טמפרטורת הסביבה.
- ד. מידת הרטיבות של השיפוד.

ו. מקורות המידע

- (1) אתר "The Straight Dope", "[What exactly is fire?](#)", Cecil Adams, (2002).
- (2) יאיון מלכה, קצביץ דבורה, "החדשות הבווערות מהכרמל", (יעוץ מדעי: ד"ר מירי קסנר). קישור [למאמר](#).
- (3) קסנר מירי, (1996). מעכבי בעירה עם כל דבר. עיתון המרכז לקשר בין התעשייה הכימית ומערכת החינוך, "קשר לתעשייה הכימית", גיליון מספר 1. קישור [למאמר](#).
- (4) תשובות מד"ר מירי קסנר בעקבות שאלות שהפנינו אליה.
- (5) [What is fire?](#) (סרטון יוטיוב)
- (6) המורים שלנו.

ז. רפלקציה

התחלנו את העבודה בהשראה מחוגי הסיירות ומתוך סקרנות וביקשנו לבדוק מהי הדרך הכי יעילה לבניית מדורה. בנוסף, לאחר האסון בכרמל, רצינו לדעת האם השריפה התפשטה מהר יותר באזורים בעלי שיפועים חדים יותר בהרי הכרמל.

חשבנו ששיפוד העץ יכול להוות מודל טוב:

- (1) ליער הררי בו ענפי העצים נוגעים זה בזה ומתחברים למעין יחידה אחת.
 - (2) לשורשי העצים ביער הררי שנוגעים זה בזה ומתחברים למעין יחידה אחת.
- אנו סבורים שהשיפוד הבודד מדמה בצורה טובה את התפשטות השריפה בכרמל, מכיוון ששם השריפה התפשטה גם דרך הענפים וגם דרך השורשים. לכן ניתן לטעון, שהעצים כמעט מחוברים אחד לשני.

במהלך העבודה שמנו לב שעשויים להיות גורמים נוספים שישפיעו על קצב התפשטות האש, לדוגמה :

1. עובי השיפוד ולכן החלטנו לחקור גם את השפעתו.
 2. רוח- גילנו שבחדר שבו ביצענו את הניסויים היה חלון, ושהרוח יכולה להשפיע על התוצאות (גם כשהחלון סגור), אז העברנו את הניסוי לחדר אטום.
- ככל שהתקדמנו בעבודה גילינו כמה חשוב לדייק במהלך הניסוי, במדידות וביצירת תנאים אופטימליים. לדוגמה, העמדנו קנה מידה גדול יותר בכדי שאחוז הטעות שלנו יהיה קטן ביותר. במהלך העבודה למדנו המון על תהליך המחקר, ובעיקר נהנינו מביצוע הניסויים הרבים, אך כתיבת העבודה הייתה מייגעת וארוכה.
- חלוקת התפקידים בעבודה לא הייתה מוגדרת. לכל אחד הייתה את המסוגלות לעזור בכל חלק של העבודה : ביצוע הניסויים וצילומם, ניתוח הנתונים וסיכומם בדוח ובפוסטר. ובאמת, כל אחד עזר בכל אחד מן החלקים הללו. אבל בכל זאת, לכל אחד היה את החלק שבו התפקיד שלו היה קצת יותר מרכזי : יואל בעיצוב הפוסטר, נווה בתכנון הגרפים וזיו בצילום הסרטונים. במהלך העבודה לא היו לנו מריבות וויכוחים מיותרים, וכצוות עבדנו בצורה טובה.



35 כאש בשדה קוצים

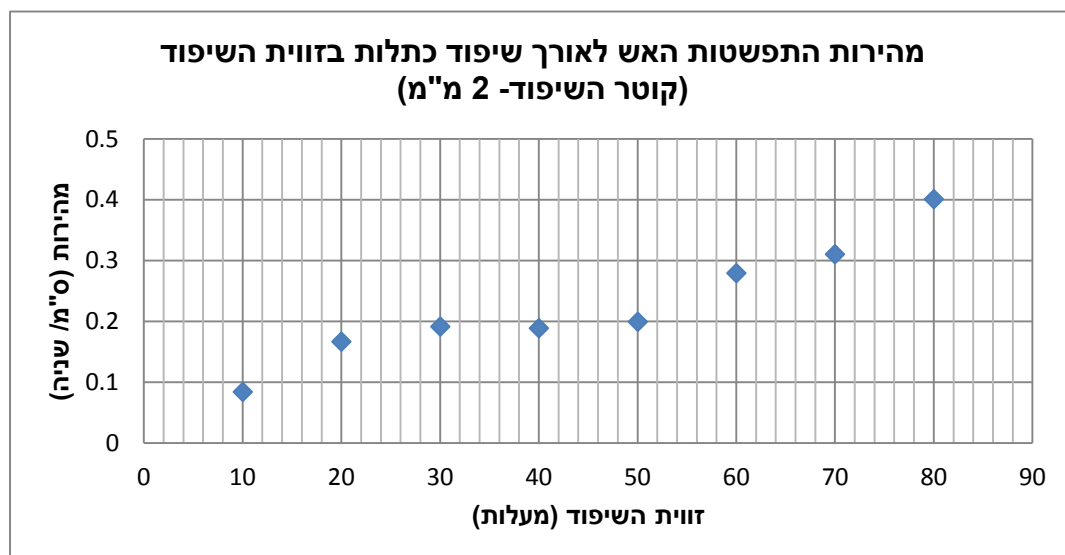
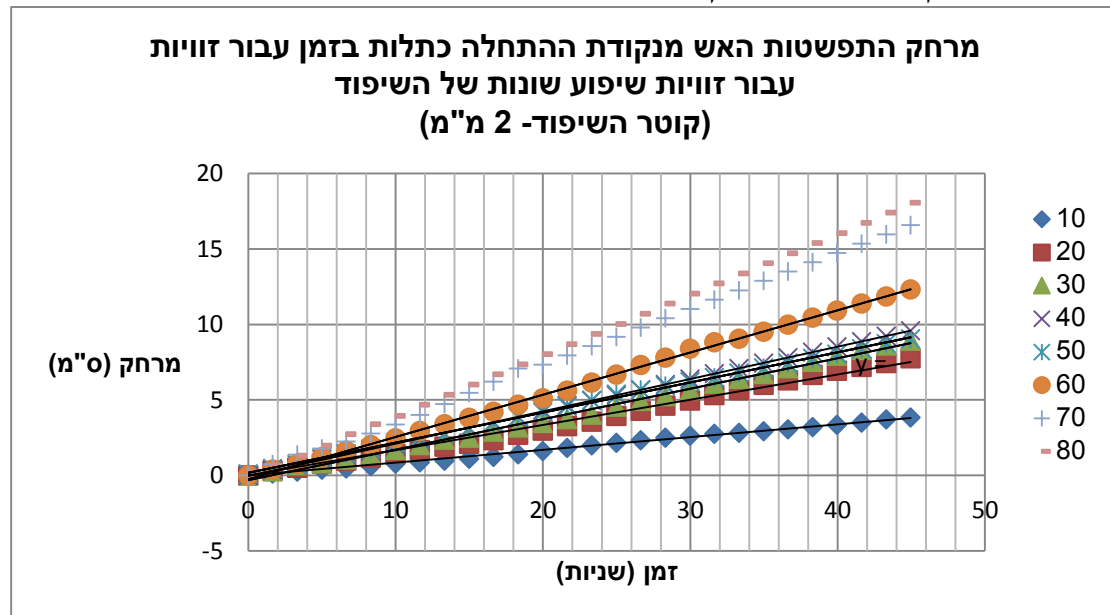
① הבעיה

קבוצת חיילים התאמנה במתחם שבו יש צמחייה עבותה. מזג האוויר היה שרבי ורוח מזרחית עזה נשבה. לפתע הדליק אחד הכדורים הנותבים אש בשדה הקוצים שממזרח לחיילים וגל של לשונות אש נע לעברם. המפקד אמד בכ-7 דקות את הזמן שנותר לאש להגיע לחייליו. החיילים החלו לנוס מערבה, אך מהירותם הייתה פחותה מזו של מהירות התקדמות האש. המפקד הבין איפוא שמצבם אבוד. האומנם?

④ הפתרון

החיילים ידליקו אש במקום שבו הם עומדים. הרוח המזרחית החזקה, תשא את האש מערבה ובמשך 7 דקות תשרוף את כל הקוצים שממערב להם. כשתגיע האש העיקרית ממזרח, ייסוגו החיילים אל עבר השטח המפוחם והנקי מקוצים. האש העיקרית תדעך והחיילים ינצלו.

2. הגרפים שהתקבלו עבור שיפוד בקוטר של 2 מ"מ :



3. הגרפים שהתקבלו עבור שיפוד בקוטר של 3 מ"מ:

