

ממשק דילול צומח – טיפול באזורי חִיץ לאש והשפעתו על סכנת שריפה ביערות מחטניים

עיבוד למאמר מאת מור אשכנזי, יוג'ין דוד אונגר, יוסי משה, יחזקאל אברהם, חנוך צורף ויגיל אסם

אקולוגיה וסביבה, אפריל 2018, גליון 1, (עמ' 39-30)



יער מחטני (אורן) צילום: יהודית גרעין-כל, מתוך אתר פיקיוויקי

תמצית

עלייה בחומרת השריפות בישראל בעשורים האחרונים הביאה להקמת אזורי חִיץ לאש ביערות. אזור חִיץ הוא שטח שבו נעשה דילול של הצמחייה, ומטרתו להקטין את כמות החומר הצמחי היכול להתלקח במקרה של שריפה, ובכך להקטין את התפשטות השריפה. החוקרים בחנו את ההשפעה של טיפולי חִיץ שונים (דילול בעוצמות שונות) על הכמות וההרכב של חומרי דלק צמחי ועל סכנת השריפה. החוקרים סקרו עשרה אתרי יער מחטני שעברו טיפולי חִיץ בשבע השנים לפני המחקר. בכל אתר נבדקו הכמות וההרכב של החומר הצמחי בשלוש חלקות סמוכות שבכל אחת מהן התבצע דילול של עצי היער במידה שונה. הנתונים שנאספו לגבי חלקות אלה אפשרו ליצור מודל מתימטי-פיזיקלי לחיזוי התנהגות שריפה.

לפני שמתחילים:

חשיבות היערות בעולם

1. צפו בסרטון [The importance of forests](#) (2 דקות, אנגלית ללא תרגום) – ורשמו:

א. ציינו לפחות ארבע דרכים שבהן יערות מביאים תועלת.

ב. איזה איום על קיומם של יערות הוזכר בסרטון? מה הסיבות שבגללן הוא נוצר?

ג. אלו סכנות נוספות, שאינן מוזכרות בסרטון, מאיימות על קיומם של יערות?

ד. איזה פתרון לשמירה על היערות מוצע בסרטון? אילו יתרונות ואילו חסרונות יש לדעתכם לפתרון זה?

עליה בכמות השריפות בעולם – התופעה והגורמים לה

2. התחלקו לחמש קבוצות. כל קבוצה תחקור מוקד שריפות אחר מהעולם.:

1. אמזונס

2. סיביר

3. אוסטרליה

4. ארצות הברית

5. ישראל

לאחר קריאת המידע בקטע שקיבלתם ובקישורים שהוא מכיל, ערכו סיכום לגבי האזור שאתם חוקרים, אותו תציגו בפני חבריכם לכיתה. הכינו את הסיכום על פי השאלות שבסוף הקטע.

קבוצה 1 – שריפות באמזונס

מתחילת שנת 2019 התחוללו שריפות ענק ברחבי ברזיל. כמחצית מהשריפות היו באזור האמזונס. בכל שנה בעונה היבשה, מיולי ועד נובמבר, מתרחשות שריפות יער, אך בקיץ 2019 הקצב הואץ, ונכרה עליה של כ-80% במספר השריפות ביחס לתקופה מקבילה בשנים קודמות. ב-2019 נשרפו כ 10,000 קמ"ר. שריפות גדולות היו גם באזורי האמזונס הנמצאים במדינות השכנות: בוליביה, פרגוואי וארגנטינה. השריפות היו ברובן מעשי ידי אדם. השריפות נעשו בכוונה ונועדו לפנות את השטח לטובת חקלאות או גידול בקר, אך הן יכולות לצאת במהירות משליטה, במיוחד, בעונה החמה, כפי שאכן קרה. חלק מהשריפות נעשה בהיתר של נשיא ברזיל ז'איר בולסונארו, בשל רצונו לפתח את האזור העשיר במשאבים.

חלק ניכר מיערות האמזונס (60%) נמצא בשטחה של ברזיל. העצים הגדלים בהם משתמשים בפחמן הדו-חמצני האטמוספרי, כך שהיער סופג מדי שנה פחמן דו-חמצני, גז חממה שמגביר את ההתחממות הגלובלית. העצים ביער האמזונס פולטים אדים היוצרים ערפל כבד מעל יער הגשם, האדים הופכים לעננים המייצרים גשם, המשפיע על האקלים באמריקה הדרומית.

חשוב לזכור כי האמזונס מהווה בית גידול ל-20% מן המינים של בעלי החיים בכדור הארץ, שחלקם אנדמיים למקום. בגלל השרפות אובדים בעלי חיים וצמחים רבים.

מדעני אקלים טוענים כי בלי מספיק עצים ליצירת הגשמים הדרושים על ידי היער, תתארך העונה היבשה שתגרום לשינוי בית הגידול – כמחצית מיער הגשם – לסוואנה טרופית*. אם אכן יירדו מעט משקעים תיווצר בברזיל, באורוגוואי, בפרגוואי ובארגנטינה בצורת חורף העלולה להרוס את החקלאות.

* סוואנה טרופית - תצורת צומח האופיינית לאקלים טרופי צחיח למחצה, הכוללת שכבת עשבונים ושכבת עצים מפוזרים בצפיפויות משתנות

קראו עוד בנושא בקישורים או גם במקורות אחרים:

- [ראיון עם פרופ' אורי שיינס, כאן, 25.8.2019](#)
- [כתבה על המפגינים בעולם נגד השריפות, כאן, 25.8.2019](#)

הכינו את הסיכום אותו תציגו בפני חבריכם לכיתה על פי ראשי הפרקים הבאים:

א. מקומו של האזור שחקרתם על המפה.

ב. תמונה אחת או שתיים המייצגות לדעתכן את השריפה.

ג. מה היו הגורמים לשריפות?

ד. אילו השפעות היו לשריפות?

ה. מה נעשה כדי למנוע שריפות נוספות בעתיד?

קבוצה 2 – שריפות בסיביר



כמה מוקדי שריפות באזור קרסנויארסק צילום: AP מקור Ynet

באוגוסט 2019 השתוללה שריפת ענק במזרח רוסיה שכילתה 25,000 קמ"ר יער, ומאות ערים ועיירות התכסו עשן סמיך. מדובר בשטח הררי שהגישה אליו קשה, ולכן רוב השריפות השתוללו ללא מאמצי כיבוי. גם בשנים קודמות התרחשו בחודשי הקיץ שריפות גדולות ביערות של רוסיה, אבל ב-2019 זכו השריפות לתשומת לב רבה יותר, בגלל העשן

שהגיע לערים ובזכות פעילות של פעילי סביבה. חודש יוני 2019 היה חודש יוני החם ביותר שנמדד בעולם אי פעם בסיביר, והטמפרטורה הייתה גבוהה בשש מעלות ממוצע של השנים. השריפות של 2019 נמשכו זמן ארוך יותר והתפשטו יותר מששריפות ה"רגילות". כחלק מהמדיניות, הממשלה הרוסית כלל לא מנסה להשתלט על השריפות. רק לאחר שהתעוררה ביקורת בינלאומית, הוכרז מצב חירום והצבא נשלח לסייע בכיבוי השריפות.

קראו עוד בנושא בקישורים או גם במקורות אחרים:

- [שריפות הענק בסיביר: עשן כבד על ערי רוסיה, Ynet, 2.8.19](#)
- [שריפת היער הגדולה בעולם משתוללת כבר חודשים, הארץ, 14.8.19](#)

הכינו את הסיכום אותו תציגו בפני חבריכם לכיתה על פי ראשי הפרקים הבאים:

א. מקומו של האזור שחקרתם על המפה.

ב. תמונה אחת או שתיים המייצגות לדעתכן את השריפה.

ג. מה היו הגורמים לשריפות?

ד. אילו השפעות היו לשריפות?

ה. מה נעשה כדי למנוע שריפות נוספות בעתיד?

קבוצה 3 – שריפות באוסטרליה

במשך חודשים רבים בסוף 2019, השתוללו באוסטרליה שריפות ענק שכילו שטח מעל 84,000 קמ"ר, שהוא יותר מפי ארבע משטחה של מדינת ישראל. בחלק ממוקדי השריפה נאלצו הכבאים האוסטרלים להרים ידיים ולתת לשריפה להשתולל. רק לאחר חמישה חודשים של השריפה ירד גשם שהקל על ההתמודדות עם חלק מהשריפות. עם זאת, הגשם גרם לסחף של אפר לנחלים, ועקב כך לתמותה גדולה של דגים ובעלי חיים אחרים. שריפות קיץ נפוצות באוסטרליה, אבל בקיץ 2019 נשרף שטח הגדול פי עשר מהיקף השטח הממוצע הנשרף בכל שנה. בעיר סידני, שכוסתה עשן סמיך, רמת זיהום האוויר היתה הגבוהה ביותר שנמדדה מאז ומעולם. שנת 2019 הייתה השנה החמה ביותר והיבשה ביותר שתועדה בהיסטוריה של אוסטרליה, בנוסף לבצורת, יובש קשה ורוחות חזקות שהגבירו את עוצמת השריפות.

כתוצאה מהשריפות נספו 24 אנשים, 2000 בתים נהרסו כליל, ויותר מ-100 אלף אוסטרלים נדרשו לעזוב את בתיהם. לפי הערכת ארגון ה-WWF (הקרן העולמית להצלת חיות הבר) כתוצאה מהשריפות מתו כמיליארד בעלי חיים – יונקים, ציפורים וזוחלים, חלקם בעלי חיים ייחודיים ליבשת.

קראו עוד בנושא בקישורים או גם במקורות אחרים:

- [אוסטרליה עולה בלהבות: כ-350 קואלות מתו בשריפות, כאן, 19.11.2019](#)
- [למה אוסטרליה בוערת? מכון דוידסון, 31.12.2019](#)
- [כשצונאמי של אש הופך יבשת לגיהנום, והסוף לא נראה באופק, גלובס, 8.1.20](#)

הכינו את הסיכום אותו תציגו בפני חבריכם לכיתה על פי ראשי הפרקים הבאים:

א. מקומו של האזור שחקרתם על המפה.

ב. תמונה אחת או שתיים המייצגות לדעתכן את השריפה.

ג. מה היו הגורמים לשריפות?

ד. אילו השפעות היו לשריפות?

ה. מה נעשה כדי למנוע שריפות נוספות בעתיד?

קבוצה 4 – השריפות ארצות הברית

במערב ארצות הברית, ובקליפורניה בפרט, יש מקרים רבים, חוזרים ונשנים של שריפות יער. באיור המצורף תוכלו לראות את השינויים במספר השריפות ובמשך השריפות במערב ארה"ב משנות השבעים עד היום.

במהלך 2018 חוותה קליפורניה רצף של שריפות יער – כ-7500 שריפות שהכחידו שטח של כ-7,400 קמ"ר, וגרמו לנזק של קרוב ל-3 מיליארד דולר.

במהלך הקיץ היבש הצמחייה מתייבשת באיטיות והיא עלולה להתלקח בקלות. ניצוצות שנגרמים על ידי האדם מתלקחים ומתפשטים במהירות. מצד אחד, שריפות מכלות את הצמחייה, מצד שני כיבוי השריפה מונע מהתכלות הצמחייה ובכך בעצם מגדיל את הסיכוי לשריפות נוספות.

קראו עוד בנושא בקישורים או גם במקורות אחרים:

- [שריפות ענק בקליפורניה: לפחות תשעה נהרגו, עיירה שלמה נחרבה, וואלה, 10.11.2018](#)
- [קליפורניה עולה באש: 4 סיבות לכך שהמדינה סובלת משריפות רבות והרסניות, הארץ, 4.12.2018](#)
- [שריפות היער בקליפורניה, ויקיפדיה](#)

הכינו את הסיכום אותו תציגו בפני חבריכם לכיתה על פי ראשי הפרקים הבאים:

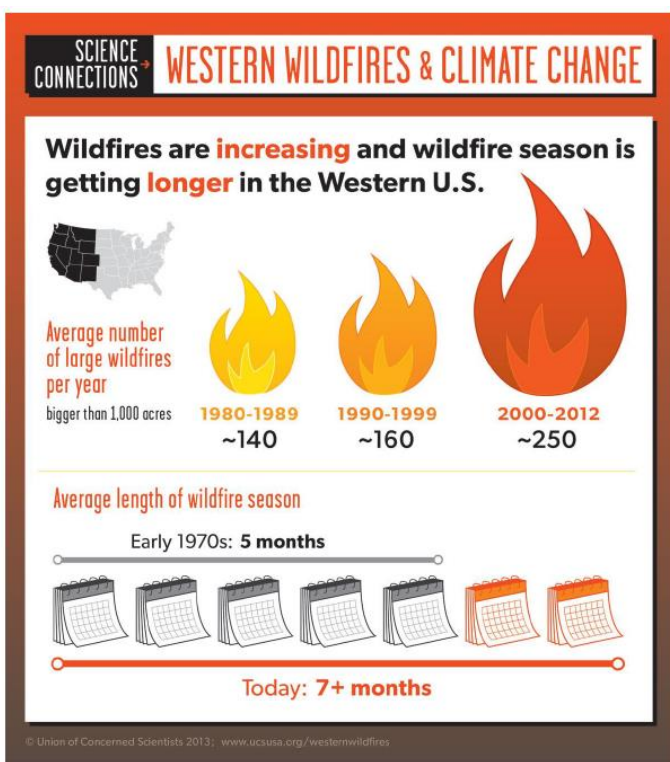
א. מקומו של האזור שחקרתם על המפה.

ב. תמונה אחת או שתיים המייצגות לדעתך את השריפה.

ג. מה היו הגורמים לשריפות?

ד. אילו השפעות היו לשריפות?

ה. מה נעשה כדי למנוע שריפות נוספות בעתיד?



קבוצה 5 - השריפות בישראל

בכל שנה מתרחשות בישראל מאות שריפות ולעיתים חלקן הופכות לשריפות יער ענקיות – כך היה בכרמל ב-1989 וב-2010, בשער הגיא (בפרוזדור ירושלים) ב-1995 וכן בקיץ 2016 בחיפה, בזיכרון יעקב, בגליל ובהרי ירושלים. שריפת היער הגדולה בישראל התרחשה בכרמל בדצמבר 2010 וגרמה ל-44 קרבנות בנפש ולנזק של מאות מיליוני שקלים. מהירות הרוח בימי השריפה ב-2010 הייתה גבוהה, 30-70 קמ"ש, והיא שגרמה בין השאר להתפשטות המהירה של האש. ארוע זה היה הקטלני ביותר מבחינת מספר הנפגעים מבין כל אסונות טבע שהתרחשו מאז קום המדינה. מרבית השריפות היו תוצאה של רשלנות אדם ולעיתים נגרמו כתוצאה מהצתות מכוונות. תנאים של מזג אוויר יבש ורוחות מזרחיות גרמו להתפשטות השריפות עד כדי אובדן שליטה עליהן, בעיקר לאחר שנות בצורת ותקופת יובש ארוכה, כאשר הצמחייה היבשה נדלקת בקלות ומשמשת חומר בעירה. השריפות פגעו במערכות האקולוגיות של היערות, ותהליכי הסחיפה ואובדן הקרקע מהווים בדרך כלל פגיעה בלתי הפיכה, בעוד שהצמחייה ומערכות ביולוגיות אחרות משתקמות לאחר עשרות שנים. בנוסף לפגיעה בערכים אקולוגיים נגרם נזק כלכלי גדול בגלל פגיעה בשטחים ירוקים המשמשים לנופש, ירידה בניצול המסחרי של העץ, שריפת בתים בקרבת היערות והעלות הגבוהה של כיבוי האש.

קראו עוד בנושא בקישורים או גם במקורות אחרים:

- [שריפות יער בישראל, ויקיפדיה](#)
- [שריפות יער ומניעתן, אתר קק"ל](#)
- [איפה יש יותר שריפות בישראל? תלוי את מי שואלים, זווית, 24.11.2016](#)

הכינו את הסיכום אותו תציגו בפני חבריכם לכיתה על פי ראשי הפרקים הבאים:

א. מקומו של האזור שחקרתם על המפה.

ב. תמונה אחת או שתיים המייצגות לדעתכן את השריפה.

ג. מה היו הגורמים לשריפות?

ד. אילו השפעות היו לשריפות?

ה. מה נעשה כדי למנוע שריפות נוספות בעתיד?

יער, חורש וחורשה – מה מאפיין אותם?

החורש הים תיכוני הוא תצורת צומח אופיינית לאזורים בהם שורר אקלים ים תיכוני, בסמוך לים התיכון. האקלים הים תיכוני מאופיין בקיץ חם, יבש וארוך, חורף לח ומתון, ובין שתי העונות עונות מעבר – סתיו ואביב קצרות מאד. החורש נוצר בהדרגתיות, באופן טבעי, וכולל צמחים אופייניים: עצים, שיחים, מטפסים ועשבוניים היוצרים ביחד שכבות צומח (קומות) וסבך.

לפי ההגדרה המקובלת בישראל, יער הוא שטח בן חמישה דונמים לפחות, בעל צמרות המכסות לפחות 10% מהשטח, ועצים הצומחים לגובה חמישה מטרים ומעלה. בישראל מרבית היער הוא יער מחטני נטוע, ומיעוטו יער טבעי. יערות אלונים תבור היו יערות טבעיים שכיסו בעבר חלקים נרחבים מהגליל התחתון והשרון, אולם מרביתם נעלמו ונותרו שרידים חלקיים. ביערות האלונים ניתן לראות פריחה רבה במרחבים שבין העצים. יערות האורן הם הנפוצים במיוחד בישראל, בזכות נטיעות שהובילה הקרן הקיימת לישראל (קק"ל). שטחי היערות מכסים כ-8% משטח המדינה. לעיתים תחת העצים מתפתחים שיחים וצמחים עשבוניים המכונים תת יער.

חורשות הן תצורות צומח של עצים שנטעו על ידי האדם בזמן מסוים, ולכן גיל העצים זהה והם נטועים בסדר מסוים. החורשות קטנות יותר מהיערות.

מגוון העצים המרכיבים את היערות והחורשות בארץ משתנה. יערות נטועים וחורשות ניתן למצוא בכל אזורי האקלים, גם דרומית יותר במקומות בהם לא צומח חורש הים תיכוני, כמו למשל בבאר שבע, ערד, דרום הר חברון.

3. סכמו את ההבדלים בין תצורות הצומח השונות בארץ בטבלה הבאה:

	חורש ים תיכוני	יער טבעי	יער נטוע	חורשה
אזור אקלימי אופייני				
טבעי/נטוע				
מאפייני הצמחייה				
ארגון הצמחייה				



2. צילום: יהודית גרעין-כל, מתוך אתר פיקיוויקי



1. צילום: אריאלה שטיין, מתוך אתר פיקיוויקי



4. צילום: יהודית גרעין-כל, מתוך אתר פיקיוויקי



3. צילום: החברה להגנת הטבע

4. זהו את תצורות הצומח המופיעות בתמונות – הוסיפו את המספר המתאים.

- חורש ים תיכוני - תמונה מספר _____
- יער מחטני נטע אדם - תמונה מספר _____
- יער אלונים טבעי - תמונה מספר _____
- חורשת אקליפטוסים – תמונה מספר _____

מודלים לחזוי שריפות

5. התבוננו בסרטונים המתארים סימולציה של התפשטות שריפה:

- <https://www.nist.gov/video/fire-dynamics-simulator-fds-simulation-wildfire>
- <https://www.youtube.com/watch?v=dyfJYOZgiyA>

יוצרי הסימולציות העריכו את התפשטות השריפה על סמך גורמים שונים. ציינו שלושה גורמים המשפיעים על התפשטות שריפה שיש לכלול במודל לחיזוי.



שריפה מעל בית אורן, 2010. צילום: מרכז להבה טירת כרמל מאלבום משפחת אורי גונן, מתוך אתר פיקיוויקי

שטחי חיץ למניעת שריפות

6. [קראו את הכתבה המספרת אודות שטחי החיץ ברמת הנדיב.](#)

א. באלו דרכים נעשה דילול הצומח ברמת הנדיב?

ב. הסבירו את השלבים של תחזוקת אזור החיץ ברמת הנדיב.

7. עיינו באיור המתאר את אופן הטיפול בצומח בשטחי חיץ. אילו פעולות מבוצעות לשבירת הרצף האנכי, ואילו פעולות מבוצעות לשבירת הרצף האופקי?



טיפול בצומח בחיץ. מקור: אזורי חיץ למניעת שריפות סביב יישובים ולאורך דרכים, [המשרד להגנת הסביבה](#)

מבוא

בעשורים האחרונים נרשמת מגמת עלייה בחומרת השריפות באזורים ים-תיכוניים ואחרים ברחבי העולם. העלייה בחומרת השריפות בישראל, מיוחסת בעיקר לשילוב של הצטברות חומר דלק צמחי עקב התפתחות היער והחורש, עם רצף של שנות בצורת שגרם להתייבשות החומר הצמחי המשמש כחומרי דלק. דוגמאות לכך הן שריפות הענק בכרמל בשנים 1989 ו-2010, וכן גל השריפות שפקד את ישראל בחודש נובמבר 2016.

אזור חיץ לאש (או חיץ לשם הקיצור) הוא שטח שהכמות והפיזור של הצמחייה בו טופלו באופן שנועד להפחית משמעותית את העוצמה והרצף של האש כדי לסייע בעצירה או בקביעת גבולות השריפה. שתי ועדות מקצועיות שהתכנסו לאחר השריפות הגדולות בכרמל (1989, 2010) המליצו על השימוש באזורי חיץ כמרכיב עיקרי בטיפול בצומח לצמצום סכנת שריפות. המטרה של אזורי חיץ בישראל הוגדרה כהפחתת קצב ההתקדמות והעוצמה של האש, כך שתתאפשר פעולה בטוחה ויעילה של כוחות כיבוי קרקעיים. כיום מוקמים ברחבי הארץ אזורי חיץ סביב יישובים, או לאורך דרכים מרכזיות על פי הנחיות שגיבשו במשותף הגופים המנהלים שטחים פתוחים בישראל. פעולה זו, הכרוכה לרוב בשינוי ניכר של נוף היער בסמיכות ליישובים, זוכה לא פעם להתנגדות חריפה מהתושבים השכנים ליער וכן מגורמים נוספים. הטיעונים להתנגדות מתמקדים לרוב בשלושה היבטים: א. פגיעה בחזות הנוף; ב. פגיעה בקרקע ובמגוון הצומח; ג. עידוד התרבות של צמחייה עשבונית ושיחים עקב דילול העצים, ובעקבות זאת הגברת הסכנה לדליקות בשטח המטופל. מאמר זה מתמקד בהשפעת טיפולי חיץ על ההיבטים הקשורים לסכנת שריפה.

'סכנת שריפה' היא מושג מורכב המשקלל מספר היבטים ובהם הסיכויים להתפרצות השריפה, התנהגות האש הצפויה, רמת הקושי בעצירת האש והנזק הצפוי לאדם ולטבע. סכנת שריפה מושפעת ממספר גורמים מרכזיים,

ובהם הטופוגרפיה, תנאי האקלים, גורמי הצתה והכמות והאופי של חומרי הדלק בשכבות הצומח השונות ביער. אומדן הכמות, האופי והפריסה המרחבית של חומרי הדלק הצמחיים בשטח הוא רכיב מרכזי בהערכה של סכנת שריפה ובקביעת פעולות ממשק¹ נדרשות. מקובל לתאר את כמות הדלק במונחים של 'עומס דלק' כלומר, ביומסה² יבשה ליחידת שטח. כדי לחזות התנהגות אש בתא שטח נתון נהוג להשתמש במודלים מתימטיים-פיזיקליים³ הניזונים מנתוני הדלק הצמחי כדוגמת כמות ואיכות הצמחייה או הביומסה שלה, ומנתוני התנאים הסביבתיים, כדוגמת שיפוע הקרקע ומהירות רוח. לצורך חיזוי התנהגות האש במרחב, נהוג לבחון מספר רב של יחידות שטח בעלות מאפיינים שונים. עם זאת, תקפותם של מודלים מרחביים כאלה ככלי לחיזוי שנויה במחלוקת בשל מורכבותה הרבה של התנהגות האש.

מטרת המחקר שיתואר בהמשך הייתה לבחון את ההשפעה של טיפולי חיץ על סכנת השריפה ביערות מחטניים⁴ בישראל כשבע שנים לאחר ביצוע הטיפולים. המחקר התמקד בשלושה סוגי טיפולים אופייניים המרכיבים את אזור החיץ ונבדלים בצפיפות עצי היער הבוגרים בהתאם לעוצמות דילול שונות: א. חיץ פתוח (דילול חזק של חופת היער⁵); ב. חיץ מוצל (דילול מתון של חופת היער); ג. ביקורת (שטח שלא דולל – חפיפה בין צמרות העצים). נבחנו השינויים במבנה הצומח, לרבות הצטברות חומר צמחי מת, תוך התמקדות במשתנים המכתיבים סכנת שריפה, קרי, העומס, האיכות והארגון של חומרי הדלק במרחב. סכנת השריפה נקבעה באמצעות מודל מתימטי-פיזיקלי, החוזה התנהגות אש ביחידת שטח נתונה על בסיס מאפייני הדלק ומשתני טופוגרפיה ואקלים.

מושגים:

¹ **ממשק** – אופן הניהול של שטח והטיפול בו ביחס לתוצאה רצויה. ממשק כולל בתוכו פעולות שונות החל מהימנעות משינוי ועד להתערבות יזומה בשטח באופנים וברמות שונים. דרכי ממשק אפשריות ביער מחטני הן דילול ידני או על ידי הכנסת רעיה, נטיעה, גידול ועוד.

² **ביומסה** – המסה הכוללת של כל החומר האורגני של יצורים חיים באזור ובזמן מסוים, למשל של הצמחים שגדלים בתת-היער. ביומסה נמדדת כמשקל יבש ליחידת שטח. ביומסה של צמחים מודדים על ידי קצירת הצמחים בשטח מוגדר, ייבושם ושקילתם. הייבוש חשוב משום שביומסה כוללת רק את חומר האורגני (שיעור החומר האנאורגני שנשאר אחרי הייבוש קטן מאד, ולכן מתעלמים ממנו בחישוב).

³ **מודלים מתימטיים-פיזיקליים** – מודל הוא כלי חישובי המאפשר לחזות מצב אפשרי בעתיד על סמך נתונים שהתקבלו ממצבים דומים בעבר. למשל: ניתן להשתמש במודל על מנת לחזות קצב של התפשטות שריפה הצפוי בתנאים מסוימים. לשם הפעלת המודל יש צורך בנתונים קיימים כמו כמות הצמחייה, תנאי האקלים, הטופוגרפיה וכדומה, שמאפשרים לחשב את הקצב של התפשטות השריפה בתנאים שונים.

⁴ **יער מחטני** – יער המורכב ברובו מעצים מחטניים. העצים המחטניים הם בעלי עלים דמויי מחט, ובעלי זרעים שאינם נמצאים בתוך פירות אלא חשופים על קשקשי האצטרובל. רוב מיני המחטניים הם ירוקי-עד. מחטניים נפוצים בישראל הם מינים שונים של אורן וברוש.

⁵ **חופת היער** – השטח של צמרות העצים היוצרות כעין גג או חופה צפופה של כיסוי ירוק מעל היער. אזור זה חשוף לקרינת שמש רבה ולכן עשיר בעלים, פרחים ופירות ובמינים מלווים כמו עופות, יונקים, חרקים וצמחים מטפסים.

עונים לאחר הקריאה:

8. מדוע שטח חיץ מגן טוב יותר מפני התפשטות שריפה מאשר שטח שלא עבר דילול?

9. מהם הגורמים המשפיעים על סכנת שריפה שאותם יש לשקלל במודל לחיזוי התנהגות האש?

10. מדוע נערך המחקר שבע שנים לאחר הטיפול בדילול?

שיטות

למודל הוכנסו נתונים משלושה סוגים: נתונים שנמדדו בשטח, נתונים שחושבו בעזרת נוסחאות ונתונים שנלקחו מהספרות המחקרית בתחום. להלן דוגמאות של נתונים מכל סוג:

דוגמאות לנתונים שנמדדו בשטח:

- עומס דלק – מורכב מהמשקל של קבוצות הצמחייה השונות (נמדד בק"ג למ"ר).
- עומק הדלק – גובה ממוצע של צומח תת-היער. חושב מתוך הנתונים שנאספו בסקר צומח תת-היער. חשיבותו גבוהה משום שמשפיע על הסכנה להצתת צמרות עצים.
- שטח הפנים של חומרי הדלק החשופים לבעירה – ככל שחומר הדלק דק יותר (כמו מחטי אורן), חומרי הדלק זמינים יותר לבעירה, מפני ששטח הפנים שלהם החשוף לחום וחמצן גדול יותר.
- צפיפות גושית – היחס בין עומס הדלק וגובה הצומח בתת-היער. ככל שהצפיפות הגושית גבוהה יותר, כלומר, מבנה הצומח דחוס יותר, כך קצב התפשטות השריפה הצפוי יהיה איטי יותר כיוון שבמבנה צומח כזה יש קושי בחדירת חמצן החיוני לבעירה.
- גובה מינימלי של בסיס הצמרות – גובה זה נלקח בחשבון ביצירת רצף אנכי בין תת-היער לבין חופת היער.

דוגמאות לנתונים שחושבו בעזרת נוסחה:

- פקטור המדרון – ערך (מספר) שחושב בעזרת נוסחה ומבטא יחס בין השיפוע של המדרון לבין צפיפות חומר הדלק בתת היער. הנוסחה המבטאת את השפעת השיפוע היא חלק מהמודל.
- מקדם רוח – ערך שחושב בעזרת נוסחה ומבטא יחס בין מהירות הרוח בגובה חצי הלהבה, לבין מאפייני פיזור הצמחייה המשמשת דלק לשריפה.

דוגמאות לנתונים שנלקחו מהספרות המחקרית:

- תכולת חום – ערך המבטא את אנרגיית החום הפוטנציאלית שיכולה להשתחרר מחומר דלק.

- פקטור הפחתת הרוח – ערך המבטא את היחס שבין מהירות הרוח שבגובה 1.6 מטר לבין מהירות הרוח בגובה הלהבות. ערך זה משקף את המידה שבה צמרות העצים מקטינות את מהירות הרוח.

המודל מורכב מ-25 גורמים שונים המפורטים [בנספח](#) למאמר.

עונים לאחר הקריאה:

11. מה הקשר בין כמות החמצן החודרת לחומר הנשרף לקצב התפשטות השריפה? הסבירו את התשובה.

תוצאות - מבנה צמחייה ועומס דלק



הצמחייה המעוצה בתת-היער הייתה הנמוכה ביותר בחלקות הביקורת, ועלתה בהדרגה בחלקות שטופלו כאזורי החיץ המוצלים והפתוחים. הבדלי ההתפתחות באו לידי ביטוי הן באחוז השטח שהיה מכוסה בצמחיה והן בגובה הצמחייה. הביומסה המעוצה בחיץ פתוח הייתה גבוהה פי שניים מאשר בחיץ מוצל, ויותר מפי שלושה מאשר בחלקות הביקורת.

מגמה דומה התקבלה גם בצומח העשבוני בתת-היער.

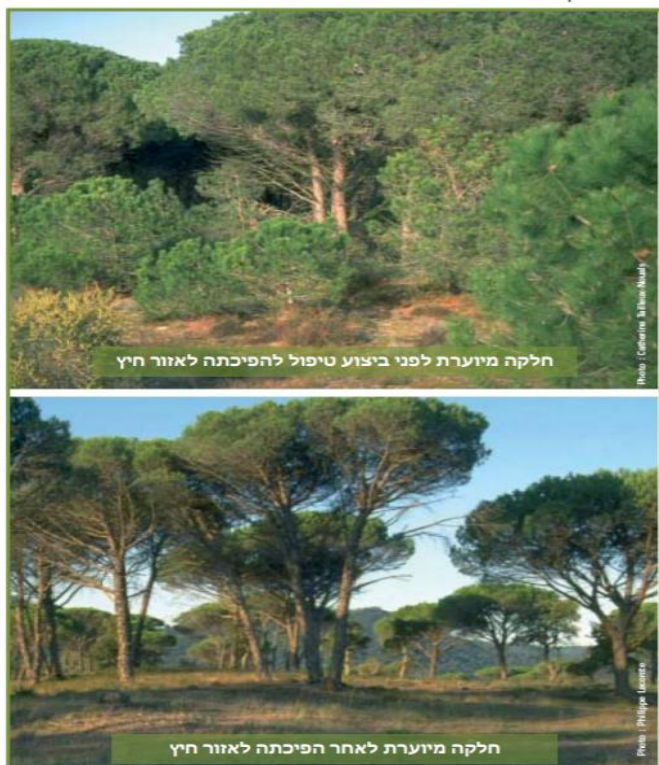
לעומת זאת, ביומסת נשר עלים⁶ הראתה מגמה הפוכה. כלומר: צמחיית תת-היער צילום: אקולוגיה וסביבה
ביומסת נשר העלים הייתה הגבוהה ביותר בחלקות הביקורת, נמוכה יותר בחיץ מוצל, והנמוכה ביותר בחיץ פתוח. לא נמצאו הבדלים בכמות ובהרכב של חומר העץ המת על הקרקע בין הטיפולים השונים.

מושגים:

⁶ **נשר עלים** – העלים, הפירות או הענפים הדקים שנשרו מן העץ או השיח ונמצאים על הקרקע תחתיו.



תלמידים בוחנים את נשר העלים צילום: רמת הנדיב



אזורי חיץ למניעת שריפות סביב ישובים ולאורך דרכים.
מקור: [המשרד להגנת הסביבה](#)

עונים לאחר הקריאה:

12. התבוננו בתמונה המתארת חלקה מיוערת לפני ואחרי הפיכתה לאזור חיץ. לאחר הטיפול, איזה שטח חיץ התקבל – חיץ פתוח או חיץ מוצל?

13. הטבלה הבאה מסכמת את הנתונים השונים שנאספו בכל אחד מהטיפולים בהשוואה לשני הטיפולים האחרים. השלימו את הטבלה.

חץ פתוח (דילול חזק)	חץ מוצל (דילול מתון)	ביקורת (ללא דילול)	
			כמות צמחיה מעוצה בתת-יער (גבוהה/בינונית/נמוכה)
			ביומסה מעוצה (פי 2, פי 3, שליש, חצי)
			צומח עשבוני בתת-היער (פי 2, פי 3, שליש, חצי)
			הביומסה של נשר העלים (גבוהה/בינונית/נמוכה)

14. מחקו את המיותר במשפטים הבאים:

- ככל שמידת הדילול היתה גבוהה יותר, הצמחיה המעוצה בתת-היער היתה גבוהה/נמוכה יותר.
- ככל שמידת הדילול היתה גבוהה יותר, הביומסה המעוצה בתת-היער היתה גבוהה/נמוכה יותר.
- ככל שמידת הדילול היתה גבוהה יותר, הביומסה של הצומח העשבוני בתת-היער היתה גבוהה/נמוכה יותר.
- ככל שמידת הדילול היתה גבוהה יותר, הביומסה של נשר העלים בתת-היער היתה גבוהה/נמוכה יותר.

15. לפי אילו מדדים השוו את כמות הצמחייה המעוצה בתת-היער בין שלושת הטיפולים?

16. א. מה גרם להבדל בביומסה של הצומח העשבוני והמעוצה בין תת-היער וחלקות הביקורת? הסבירו את תשובתכם.

ב. העלו השערות - מדוע הביומסה של נשר העלים הייתה גבוהה יותר בחלקות הביקורת מאשר בשטחי החיץ?

תוצאות – התנהגות חזויה של שריפה

הקצב החזוי של התפשטות האש בתת-היער, לפי המודל, היה הגבוה ביותר באזור החיץ הפתוח, נמוך בהרבה באזור החיץ המוצל והנמוך ביותר בחלקות הביקורת (טבלה 1). נוסף על כך, התקבלו הבדלים משמעותיים במדד הצתת הצמרות⁷ החזוי על פי המודל: באזורי החיץ המוצלים ובחלקות הביקורת נדרשה מהירות רוח גבוהה בערך פי 10 ופי 20 בהתאמה ממהירות הרוח שבחיץ הפתוח כדי להצית את צמרות העצים (טבלה 1). מהירויות רוח גבוהות כפי שהתקבלו במודל משקפות סיכוי נמוך מאוד להצתת צמרות בכל שלושת הטיפולים, מכיוון שמהירויות רוח כאלה אינן קיימות במציאות.

כמו כן נמצא כי הסכנה לשריפה פעילה של צמרות העצים⁸, הייתה הגבוהה ביותר באזורי החיץ הפתוחים, נמוכה יותר באזור החיץ המוצל ונמוכה עוד יותר בחלקות הביקורת (טבלה 1).

טבלה 1: ערכי המדדים להתנהגות האש בכל אחד מטיפולי החיץ

סכנת שריפה	חיץ פתוח	חיץ מוצל	ביקורת
קצב התפשטות שריפה - ROS (מטר לדקה)	1.6	0.86	0.67
סכנה להצתת צמרות - TI (קמ"ש)	470	4,580	9,415
סכנה לשריפת צמרות פעילה - CI (קמ"ש)	50	71.5	79

מושגים:

⁷ **מדד הצתת הצמרות (TI)** – מדד המבטא את פוטנציאל ההידלקות של הצמרות. זוהי תוצאה חישובית שנותן המודל, הקובעת מהי מהירות הרוח הנדרשת (ביחידות של קמ"ש) כדי שתתפתח שריפת צמרות ביער. מדד זה מושפע ממאפייני הדלק בתת-היער, הרצף בין תת-היער לבין צמרות העצים, ורמת הדליקות של צמרות העצים שנקבעת על פי הכמות וההרכב של חומרי הצומח בצמרות. מדד זה שונה ממדד שריפות צמרות פעילה המתייחס לשריפה בפועל של צמרות העצים.

⁸ **מדד שריפת צמרות פעילה (CI)** מדד המבטא את מהירות הרוח (ביחידות של קמ"ש) שתביא לכך ששריפת צמרות העצים לא תגווע מעצמה, כלומר, היא תוכל להתקיים באופן מתמשך ולהתפשט בין צמרות העצים ביער. מדד זה מושפע ממאפייני הדלק בתת-היער, ממאפייני הדלק בשכבת הצמרות ומצפיפות העצים.

עונים בעקבות הקריאה:

17. הסבירו את התוצאות המוצגות בטבלה 1 תוך התייחסות לתוצאות שהתקבלו לגבי מבנה הצמחייה ועומס הדלק.

18. מדוע מבוטאים מדד הצתת צמרות העצים ומדד שריפת הצמרות הפעילה ביחידות של קמ"ש?

19. א. מדוע מהירות הרוח בתוך היער איטית בהשוואה למהירות הרוח בשטח הפתוח?

ב. כיצד משפיעה מהירות הרוח על הסכנה להצתת צמרות והתפשטות השריפה בין הצמרות?

20. לאור הממצאים המוצגים בטבלה 1, האם ההמלצה על שימוש באזורי חיץ כמרכיב עיקרי בטיפול בצומח לצמצום סכנת שריפות מוצדקת? נמקו את דעתכם.

21. באילו תנאים יש הצדקה לקיום של אזורי חיץ? הסבירו את תשובתכם.



מסקנות ודיון

צומח תת-היער

שבע שנים לאחר הדילול, התפתחות הצמחייה בתת-היער בחלקות שטופלו כחיץ פתוח, הייתה כפולה מזו שהתקבלה בחיץ מוצל, וגדולה פי שלושה מזו שבחלקות הביקורת. ההתפתחות המואצת של צומח תת-היער בהשפעת טיפולי חיץ מוסברת על-ידי פתיחת מרחב המחיה. דילול העצים הגדיל את כמות המשאבים – אור, מים ומינרלים – הזמינים לצמחייה בתת-היער. השפעה זו של דילול יער על התפתחות הצומח בתת-היער היא תופעה מוכרת, שתועדה במחקרים רבים. ניתן להסביר את ההתפתחות המהירה של צומח תת-היער לאחר הדילול, בתכונות המאפיינות את הצמחייה הים תיכונית המותאמת להפרעות כגון כריתה, רעייה ושריפה, עקב היסטוריה ארוכת שנים של השפעות אדם.

מאפייני דלק והתנהגות חזויה של שריפה בתת-היער

קצב התקדמות האש הוא מדד בסיסי של התנהגות שריפה. מתוצאות המודל עולה כי קצב התפשטות השריפה הצפוי בתת-היער גבוה יותר בחלקות שדוללו חזק יותר והושפעו מעומס חומר הדלק שנוצר בעקבות השפעת הדילול על התפתחות צמחיית תת-היער. מלבד עומס הדלק, גם מאפיינים נוספים של הדלק, כגון צפיפות גושית (היחס בין עומס הדלק לגובה הצומח), יחס שטח פנים לנפח (נובע מהרכב קבוצות הדלק), צפיפות חלקיקים ותכולת הרטיבות של חומרי הדלק, עשויים להשפיע באופן ניכר על התנהגות האש. למשל, ככל שהצפיפות הגושית גבוהה יותר, כלומר, מבנה הצומח דחוס יותר, כך קצב התפשטות השריפה הצפוי יואט מפאת הקושי היחסי בחדירת חמצן החיוני לבעירה, במבנה צומח כזה. עם זאת, במחקר זה לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין טיפולי החיץ שנבחנו במאפייני הדלק הללו.

סכנה להתלקחות שריפת צמרות

מתוצאות המודל עולה כי בתקופת המחקר, הסיכוי להצתת צמרות היה נמוך ביותר בכל שלושת הטיפולים. כלומר, המודל הציג מהירויות רוח גבוהות באופן בלתי מציאותי (כ-500 קמ"ש ויותר) הנדרשות להצתת הצמרות. עם זאת, ניתן להבחין בהבדלים משמעותיים בין הטיפולים. הסכנה הגבוהה ביותר להצתת הצמרות התקבלה בחלקות החיץ הפתוח (מהירות רוח נדרשת – 470 קמ"ש), הבינונית באזורי החיץ המוצלים (4,580 קמ"ש) והנמוכה ביותר בחלקות הביקורת (9,415 קמ"ש). הבדלים אלה קשורים בעיקר לעומס הדלק בתת-היער, כלומר למידת התפתחות הצמחייה, והם מלמדים שהתפתחות הצמחייה עשויה להוות סכנה מבחינת הסיכוי להצתת צמרות.

נוסף על עומס הדלק בתת-היער, גם המרחק בין צומח תת-היער לצמרות של העצים הוא גורם חשוב בקביעת הסכנה להצתת צמרות, אולם לא נמצאו הבדלים משמעותיים במשתנה זה בין הטיפולים.

תוצאות המחקר ממחישות את החשיבות הרבה של התפתחות צומח תת-היער בקביעת הסיכוי להתלקחות שריפת צמרות, ומדגישות את הצורך לטפל בתת-היער כדי למזער סכנה זו. על פי תוצאות המחקר, מומלץ לבצע טיפול

תקופתי בתת-היער על מנת למנוע התפתחות של עומס דלק של 1 ק"ג למ"ר, שכן מעל עומס זה, יש עלייה ניכרת בסיכוי להצתת צמרות.

חשוב להזכיר כי משתנים נוספים, טופוגרפיים או אקלימיים, יכולים אף הם להשפיע משמעותית על הסיכוי להצתת הצמרות, וכי במחקר זה גורמים הללו הוכנסו למודל כגורמים קבועים, על מנת שתתאפשר השוואת מאפייני הצומח בין הטיפולים.

סכנה לקיום שריפת צמרות

בדומה למדד הצתת הצמרות, גם במדד שריפת הצמרות נמצא כי ככל שכמות הביומסה בתת-היער גדולה יותר, כך סכנת השריפה עולה (בטיפולים שנבדקו). דבר זה הביא לכך שהערך שהתקבל עבור הסכנה לשריפת צמרות פעילה היה הגבוה יותר לגבי שטח החיץ הפתוח והנמוך ביותר לגבי חלקות הביקורת. הדבר ממחיש את ההשפעה הרבה של צומח תת-היער על סכנת השריפה ביער.

עונים בעקבות הקריאה:

22. מהם הגורמים האביוטיים והביוטיים המשפיעים על ההתפתחות המואצת של צמחייה בתת-היער בחלקת החיץ הפתוח?

23. במאמר הוזכרו גורמים נוספים, טופוגרפיים או אקלימיים, שיכולים גם הם להשפיע משמעותית על הסיכוי להצתת הצמרות. מדוע הוכנסו גורמים אלה למודל כגורמים קבועים?

מסקנות ודיון - המשך

מהסתכלות כוללת על התוצאות של התנהגות השריפה בטיפול החיץ השונים עולה תמונה בעייתית: המצב הבטוח ביותר מתקבל דווקא בחלקות הביקורת, ואילו סכנת השריפה הגבוהה ביותר מתקיימת באזור החיץ הפתוח. תוצאה זו מחדדת שתי תובנות חשובות:

- טיפול בתת-היער – קיים הכרח לטפל באופן תקופתי בצמחיית תת-היער באזורי החיץ. הזנחת תת-היער תוביל לא רק לכך שיעילותם של אזורי החיץ תיפגע משמעותית, אלא גם לכך שהם יגבירו את התפשטות השריפה.
- מגבלת המודל – במודל הנוכחי חסר ממד מרחבי שישקף את ההשפעה המשמעותית של דילול עצי היער על חומרי הדלק בשכבת הצמרות. לגורם זה חשיבות רבה הן בהיבט של עוצמת הרוח הנדרשת לשריפת

צמרות פעילה, והן בהיבט של הסכנה הנשקפת לכוחות כיבוי בשטח. בשני היבטים אלה המודל לא נותן הערכה מספקת לגבי היעילות של דילול חופת היער. סוגיה זו היא נושא להמשך מחקר ופיתוח.

על בסיס תוצאות המחקר, פותח מודל המותאם באופן פרטני לצומח האופייני ביערות אורן בוגרים בישראל לצורך תכנון וניהול של שטחי חיץ. מודל זה הוא תוכנה שיש להזין בה את נתוני האתר הנבדק – נתוני הצומח של שכבת תת-היער ושכבת הצמרות, שיפוע טופוגרפי ועצמת הרוח. לאחר הרצת המודל, מתקבלים ערכי המדדים המבטאים את הסכנה החזויה של שריפה באתר הנבדק – קצב התפשטות האש, מדד הצתת הצמרות ומדד שריפת הצמרות.

אזור חיץ פתוח לעומת אזור חיץ מוצל

בקרב בעלי מקצוע מתנהל דיון באשר ליעילות של אזורי חיץ פתוחים לעומת אזורי חיץ מוצלים. באזורי חיץ פתוחים, בגלל דילול העצים, עומס הדלק והרצף שלו בשכבת הצמרות נמוכים הרבה יותר מאשר באזורי חיץ מוצלים. עם זאת, כפי שהראה המחקר המתואר, הצטברות עומס דלק בתת-היער צפויה להיות מהירה יותר באזורי החיץ הפתוחים. לפיכך, ישנו יתרון מסוים לאזורי חיץ מוצלים מבחינת התדירות הנדרשת לטיפול חוזר בתת-היער.

לעומת זאת, בעומס דלק שווה בתת-היער בחיץ הפתוח ובחיץ המוצל, הסכנה להתפתחות שריפת צמרות פעילה בחיץ הפתוח נמוכה יותר מאשר בחיץ המוצל.

לנוכח הממצאים הללו, המצב הרצוי ביותר באזורי חיץ מבחינת סכנת שריפה ובטיחות כוחות הכיבוי הוא חיץ פתוח עם תת-היער המתוחזק היטב, כך שלא מתפתחת בו שצמחיה. לצורך תחזוקה של תת-היער בשטחי החיץ מומלץ לשלב רעייה קבועה או עונתית עם טיפולים מכניים על פי הצורך. כאשר קיים קושי בתחזוקה שוטפת של צומח תת-היער, יש יתרון מסוים לאזורי חיץ מוצלים שבהם התפתחות תת-היער איטית יותר.

תוצאות המחקר תומכות בגישה הנהוגה כיום בישראל, הכוללת שילוב של חיץ פתוח וחיץ מוצל. בשטח מוגבל ונגיש בקרבת דרך ראשית או שולי יישוב יוצרים, באמצעות דילול בעוצמה חזקה, אזור חיץ פתוח, המבטיח פעולה בטוחה של כוחות כיבוי קרקעיים ויכולת תחזוקה סבירה. ברצועה שנייה מרוחקת וגדולה יותר יוצרים, באמצעות דילול בעצמה נמוכה יותר, חיץ מוצל, המגביל את התפתחות תת-היער ומקטין את עלויות התחזוקה של החיץ.

עונים בעקבות הקריאה:

24. כותבי המאמר ממליצים לטפל בצמחיית תת-היער באופן תקופתי.

א. לאיזה טיפול הכוונה?

ב. באילו אמצעים ניתן לבצע טיפול זה?

25. החוקרים מציינים את מגבלת המודל: "בהיעדר מידע על עומס הדלק בשכבת הצומח של הצמרות, לא ניתן לחזות בצורה יעילה את השפעת דילול חופת היער". מה ניתן לדעתכם לעשות על מנת להתגבר על מגבלה זו, ובאילו אמצעים?

26. א. מי לדעתכם יכול לעשות שימוש בתוכנה שפותחה בעקבות המחקר?

ב. אתם ממלאים תפקיד בכיר במועצה אזורית שהיישובים השייכים לה מוקפים ביערות אורנים. היערות עצמם אינם נמצאים בשטח המועצה ואינם באחריותכם, אלא באחריות קק"ל. אתם צריכים להחליט אם לרכוש את התוכנה לחיזוי קצב התפשטות שריפות. הציגו טיעון בעד וטיעון נגד, והסבירו את החלטתכם.

27. הסבירו את היתרון והחיסרון של אזורי חיץ פתוחים על פני אזורי חיץ מוצלים.

28. אתם אחראים על ניהול שטח יער שעבר דילול ויש לכם משאבים מוגבלים לתחזוקה של השטח. אתם צריכים להחליט אם לנהל אזור חיץ פתוח או מוצל. מה תחליטו? הסבירו את החלטתכם.

לאחר הקריאה

29. קראו את הכתבה אודות אנשי טבעון המתנגדים לפעולות החיץ סביב היישוב שלהם. [תושבי טבעון נאבקים](#)

[נגד תכנית כריתת עצים להגנה מפני שרפות, הארץ, 26.4.2016](#)

א. הביאו טיעונים בעד הסדרת שטח החיץ ונגד הסדרת החיץ על סמך המאמר שקראתם.

ב. אלו נימוקים נוספים יש לתושבי טבעון נגד הסדרת החיץ?

ג. אילו הייתם גרים בטבעון, בסמוך ליער – מה הייתה עמדתכם בנושא? הסבירו.