



הזדקנות עצים

אביגיל הלר^{1*} | נעמה לוריה ארבילי² | יוסי ריוב³

- 1 אגרונומית
- 2 הנדסאית נוף, יועצת פרטית
- 3 המכון למדעי הצמח וגנטיקה בחקלאות, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות
- * avigailheller1@gmail.com

תקציר

להיעלמותם (בייחוד באזורים עירוניים). מוצגים מנגנוני ההתמודדות של סוגים ומינים של עצים עם אריכות ימים וכן גורמים התורמים לאריכות חייהם של פרטים מסוימים. במאמר מפורטים כלים מעשיים לניהול משמר של עצים זקנים.

התקופה שעץ מוגדר בה כזקן נחלקת לשלוש תקופות משנה: זקנה צעירה – עץ ותיק, זקנה אמצעית – עץ קשיש, זקנה מופלגת – עץ עתיק. לעצים זקנים, המאריכים חיים הרבה מעבר לחייו של אדם, בשל גודלם, עוצמתם, הפרי והצל שהם נותנים, יש משמעות רוחנית ומעמד של קדושה ופולחן בדתות שונות ולעמים שונים. הם מביאים תועלת רבה מסוגים שונים – ערך סביבתי (כמו שימור המגוון הביולוגי), נופי, רגשי, היסטורי, כלכלי ועוד. בארץ, קיימת מודעות לשימור עצים זקנים, אך כמו במקומות רבים בעולם, מספרם הולך ופוחת. מאמר זה עוסק במעגל החיים של העצים ומציג את תהליך הזדקנותם וכן את הסיבות

מילות מפתח

עץ ותיק, עץ קשיש, עץ עתיק

חשיבותם של עצים זקנים

בני האדם מייחסים לא פעם משמעות רוחנית לעצים זקנים הגדלים בסביבתם. בשל עוצמתם, עמידותם וגילם הם קודשו במהלך ההיסטוריה על ידי עמים ודתות שונים, ונקשרו עם קברי קדושים, גיבורים וצדיקים. קיימים עצים שקדושתם חוצה תרבויות. בארץ מוכרים עצים שפוקדים אותם בני דתות שונות: יהודים, ערבים, דרוזים ונוצרים (דפני, 2010).

עצים בכל גיל מביאים תועלת רבה מסוגים שונים: קיבוע כחמן, פליטת חמצן לאטמוספירה, שיפור הבריאות הנפשית והגופנית של האדם ועוד. סוגי התועלת האלה כומתו בערכים כספיים, ונמצא כי שיעורם השנתי (פחות עלות הטיפול בעץ עקב נזק) עולה עם הגיל. McPherson ושות' (2006) העריכו כי סך התועלת השנתית המכומתת של עצים גדולים בשטחי ציבור היא 107–127 דולר, גדולה מזו של עצים בינוניים (31–40 דולר) או קטנים (50–62 דולר). ערך זה גדול פי 20 כאשר העץ גדל בתנאים איכותיים, בעיקר בקרקע משופרת המאופיינת בנפח רחב של בית השורשים ובמצע משופר מבחינת אוורור, שימור לחות וחומרי הזנה. לפי ברמן ושות' (2022) הערך הנוכחי הנקי של עץ רחוב (Net Present Value – NPV) בבית גידול איכותי עומד על כ-8,000 ש"ח, והתועלת מכסה את עלות ההשקעה תוך 13 שנים מיום נטיעת העץ (לפי מדד ROI – Return On Investment). ככל שממדי העץ גדלים יותר, כך גדלה תרומתו, ועל כן לעץ זקן בודד יש ערך רב.

בשנים האחרונות עלתה המודעות לתרומת העצים הזקנים למגוון הביולוגי, הבאה לידי ביטוי בעושר בתי גידול המצויים בצמרת העץ, בתוך הגזע ובחלקיו החיצוניים (חורים וחללים), בינות לענפים, בענפים שבורים, באזור השורשים ועוד. גם חלקי עץ שנראים פגועים, כמו פצעים או אזורי ריקבון, הם בתי גידול לאורגניזמים שונים, כגון פטריות (Dujesiefken et al., 2016). העצים מספקים מזון לאורגניזמים שונים, בסביבתם נוצרת שכבת רקבובית אורגנית ("הומוס"), והם אף משמשים נקודות ציון, למשל ללהקות ציפורים נודדות. Cannon ושות' (2022) מציינים כי חשיבותם של עצים זקנים תועדה באופן נרחב במיוחד עבור יצורים קטנים.

מרבית העצים המגיעים לזקנה מאופיינים בשונות גנטית גבוהה ביחס לבני מינם, מה שמאפשר להם התאמה ועמידות לעקות ביוטיות ואביוטיות, וכושר שרידות גבוה מזה של מרבית אוכלוסיית המין. כך הם יכולים להעמיד צאצאים בעלי יתרון וכושר שרידות למצב של תנאי סביבה קיצוניים. לפיכך, אובדנם עלול להפחית במידה רבה את פוטנציאל ההתפתחות של המין (Cannon et al., 2022).

עצים זקנים יכולים לייצר מספר רב של זרעים. לדוגמה: בעצי גינקו דו-אונתי (*Ginkgo biloba*) זקנים לא ניכרת ירידה מובהקת בכוריות הזכרית, ועצי זכר בני יותר מ-1,000 שנים עדיין מייצרים גרגרי אבקה חיוניים. יתרה מכך, הרבה עצי נקבה בני 1,000 שנה ויותר בסין מייצרים מדי שנה כמות גדולה של זרעים. לא נמצא הבדל מובהק בחיוניות הזרעים שנאספו מעצים ותיקים, קשישים או עתיקים. נוסף על כך, ממוצע שטח העלים (מדד פוטוסינתטי) נותר ללא שינוי ועמד על כ-24.5 סמ"ר, ותמונה דומה התקבלה במדדים פוטוסינתטיים נוספים (Li Wang et al., 2020). תופעה של ייצור זרעים בכמויות גבוהות מאפיינת גם עצי אורן ירושלים (*Pinus halepensis*) זקנים.

יש לציין כי עם ההזדקנות תיתכן פחיתה בסוגים שונים של תועלת, למשל הפחתה בפליטת חמצן, אם בגלל האטת תהליכים ואם בגלל פחיתה במסה הצמחית של הנוף.

עצים זקנים יוצרים תנאים שונים בסביבתם הקרובה

בסביבתם של עצים זקנים קיים בקרקע מארג של מיקרואורגניזמים שעשיר יותר מזה שנמצא בקרקע בסביבת עצים צעירים יותר. העץ הזקן משמר בית גידול של מינים רבים של צמחים ובעלי חיים ויוצר מיקרו-סביבה (microenvironment). לדוגמה, במערכות אקולוגיות מסוימות חללים מהווים מקום לקינון ומחסה ל-30% מבעלי החוליות (Lindenmayer et al., 2012). במקרים אחרים העץ מספק מזון, ויש לו תפקיד מכריע במשטר ההידרולוגי המקומי, למשל בהפחתת נגר. למרבה הצער, קיימת מגמת ירידה במספר העצים הזקנים הגדולים בעולם, והיא צפויה להימשך בשטחים פתוחים ובמרחבים מיושבים. לדוגמה, בין 1930 ל-1990 קטנה צפיפות העצים הגדולים בפארק הלאומי יוסמיטי שבקליפורניה ב-24% (Lindenmayer et al., 2012). אם מגמת התמותה תמשיך לעלות בעשורים הבאים, עצים בני אלפי שנים ייכחדו ברחבי העולם, וייעשו תופעה נדירה בנוף. שימור ושיקום של העצים האלה מפני הכחדה הוא מטרה דחופה לעתיד בר-קיימא.

הסיבות להיעלמות עצים זקנים

Cannon ושות' (2022) מציינים כי כאשר העץ גדל בממדיו, משאביו פוחתים, והקצאתם למשימות השונות קטנה. היחס בין רקמות שמבצעות פוטוסינתזה לרקמות שאינן מבצעות פוטוסינתזה קטן, ויש פחות עלים המייצרים סוכרים לצימוח ולתמיכה בשלד עץ גדול, לתהליך הנשימה ולתגובות מידור, שמצריכות אנרגיה מהעץ, בשל פציעות. מצד שני, גם העצים

הזקנים, שמשאביהם פחותים, נאלצים להתמודד עם שינוי האקלים ועם אירועי הקיצון שתדירותם עולה.

פעילות האדם משפיעה אף היא – שטחים פתוחים עוברים ביעור וכריתה, שרפות מכוונות, זיהום אוויר ורעיית יתר. עצים זקנים רבים המצויים בשטחים שיש בהם עומס רעייה גבוה, צפויים להיעלם בפרק זמן של 50–90 שנה, ואחרים תוך 100–180 שנה, כתלות במקום (Lindenmayer et al., 2012). גם בשטחי גינון מתבצעת כריתה בעקבות פיתוח ובנייה, מסיבות של בטיחות או בגלל בעיות נוספות (למשל פגות הפיקוס המהוות מטרד תברואתי ובטיחותי במרחב הציבורי).

1. צעיר – משלב הזרע עד לבגרות מינית.
2. בוגר – העץ מגיע לשיא ממדיו, הצימוח השנתי השוטף נוטה להיות בנפח וברוחב קבועים, שטח הטבעות השנתיות פוחת, ומספר רקמות ההובלה שאינן מתפקדות עולה.
3. זקן – התקופה נחלקת לשלוש תקופות משנה:
 - זקנה צעירה (Early Ancient) – עץ ותיק
 - זקנה אמצעית (Mid Ancient) – עץ קשיש
 - זקנה מופלגת (Late Ancient) – עץ עתיק
 נקרא לעיתים עץ מורשת או עץ תפארת.

נוסף על כך, לעיתים קיימת השפעה של פגם מבני, חשיפה לתנאי סביבה שאינם מיטביים או לגורמים שמעוררים תגובה בצמח (אירועי קיצון, פגיעה בשורשים, גיזום לא מבוקר ועוד), עקות מתמשכות והתקפת נגעים (Clark and Matheny, 1991). מדובר ברצף אירועים, שכל אחד כשלעצמו אינו גורם למוות, אך ישנה השפעה מצטברת בטווח המידי וגם בטווח הארוך, שמקטינה בכל שלב את חיוניות העץ ומגבירה את רגישותו לעקות (טבלה 1). התקדמות התהליך עלולה להביא את העץ ל"סחרור מוות", מצב שבו העץ אינו בר-שיקום ועלול למות.

- בשלוש התקופות האלה העץ עובר תהליכים שונים:
- א. עץ ותיק – העץ יכול להגיב בשתי צורות: התנוונות בחלקי העץ השונים או עמידות והסתגלות (חידוש הנוף, rejuvenescence). בהתנוונות חלה ירידה בצימוח השוטף בנפח וברוחב של הטבעות השנתיות, הפעילות הפטרייתית מתגברת, וקיימת נטייה מקומית לצמצום הצמרת. מאידך גיסא, הצימוח השוטף עשוי לגדול בגזע הראשי, המתבטא בהתפתחות רקמות קמביום (רקמה יוצרת) מתפקדות. תהליך זה יאפשר בהמשך התפתחות צינורות הובלה הקשורים למערכת שורשים עצמאית, כלומר יצירה של מעין גזעי משנה מסביב לליבה חלולה, שכל אחד מהם יתפקד באופן עצמאי. כמו כן, מתקיים איחוד של עמודות ריקבון היוצרות עמודות קמביאליות מתפקדות.
 - ב. עץ קשיש – העץ יכול לעבור תהליך של התנוונות או

נוסף על כך, לעיתים קיימת השפעה של פגם מבני, חשיפה לתנאי סביבה שאינם מיטביים או לגורמים שמעוררים תגובה בצמח (אירועי קיצון, פגיעה בשורשים, גיזום לא מבוקר ועוד), עקות מתמשכות והתקפת נגעים (Clark and Matheny, 1991). מדובר ברצף אירועים, שכל אחד כשלעצמו אינו גורם למוות, אך ישנה השפעה מצטברת בטווח המידי וגם בטווח הארוך, שמקטינה בכל שלב את חיוניות העץ ומגבירה את רגישותו לעקות (טבלה 1). התקדמות התהליך עלולה להביא את העץ ל"סחרור מוות", מצב שבו העץ אינו בר-שיקום ועלול למות.

שלבי החיים של עצים ותהליכי ההזדקנות בעצים

Dujesiefken ושות' (2016) מחלקים את מהלך חיי העצים לשלוש תקופות: צעיר (young), בוגר (mature) וזקן

פגם בענף צמרת או בגזע, עקירה מהשורש, ריקבון, חיגור	פגם מבני
הצפה, שרפה, ונדליזם, פיתוח תשתיות, יובש, טמפרטורות גבוהות או נמוכות (קרה), רוחות סוערות, חומרי הדברה/כימיקלים, זיהום אוויר, המלחה, השקיה עודפת בעונה לא מתאימה, פגיעה מכנית (כגון חיתוך שורשים)	התדרדרות קיצונית בתנאי הסביבה
עקות מתמשכות – יובש, רעילות קרקע (למשל מעודף דישון או מחסור), הידוק קרקע, זיהום אוויר, מרחב גידול מוגבל, גיזום לא מבוקר	בעיות כרוניות
חרקים, פטריות, חיידקים, וירוסים, אורגניזמים דמויי מיקרופלזמה, צמחים טפילים	התקפת נגעים
גיזום לא מקצועי שעלול ליצור נזק בלתי הפיך	טיפולים לא מקצועיים

טבלה 1

גורמים שעלולים לגרום לתמותת עצים בתנאי גינון מבוסס על Clark ו-Matheny (1991), כולל תוספות מהמחברים.

ארוכה, העץ שורד כל עוד הוא מצליח להצמיח איברים חדשים במיקום חדש ובמהירות גדולה יותר על גבי חלקים ישנים שנשברו או נפגעו. למשל, נמצא ששושן הצבעונים (*Liriodendron tulipifera*) רגיש יותר לאורגניזמים גורמי ריקבון כשקצב הצימוח שלו יורד, והריקבון מתפתח מהר יותר מרקמות חדשות (Cannon et al., 2022).

3. צמצום חלקים בעץ במקביל לחידוש הנוף על ידי

עידוד פעילות של מריסטמות – העץ מצמצם את הצמרת על ידי התנוונות ענפים בצמרת ונשירה שלהם מצד אחד, ומצד שני הגדלת הצימוח בחלקיו התחתונים. באותו זמן חלה עלייה בפעילות של פטריות ואוכלוסיות נוספות המפרקות את העצה (saproxylic) בגזע הפנימי ובענפים גדולים, ואזורי ריקבון מתמזגים. מריסטמות (רקמות המכילות תאים שמתחלקים ומתמיינים) בשורשים ובנצר מתעוררות לפעילות, תהליך המביא להארכת החיים ולשכפול עצמי בעיקר בחלקים התחתונים של העץ. באמצעות יצירת שורשים אדוונטיביים, המסתעפים מאיברים אחרים, והתפתחות ענפים בתוך ענפים גדולים שנרקבו ובגזע החלול, מתרחש בעץ תהליך של חידוש נוף. הצימוח נעשה דרך המצע הפנימי הרקוב ומגיע עד הקרקע, ובאותו זמן נוצרות רקמות קמביום בתוך העצה הפעילה בגזע. התהליכים האלה מחברים בין הצמרת למערכת השורשים, מצב שיכול להביא ליציבות ולעצמאות מוחלטת של יחידות מתפקדות מצמח האם.

4. סבילות לגיל ומניעת הזדקנות בסוגים ובמינים

שונים – Cannon ושות' (2022) טוענים כי מניעת ההזדקנות כוללת שני היבטים: מצד אחד סבילות לגיל, ומצד שני התחמקות ממאפייני ההזדקנות, עיכוב שלהם ויכולת מתחדשת של רבייה או צימוח, המאפשרת כביכול לאתחל את השעון הביולוגי ולהתחמק מהזדקנות.

סבילות לגיל כוללת:

- א. סבילות לעקה, למשל אצל מיני עצי מחט, כמו אורן, אשוח וערער, המגיעים לגילים שמעל ל-2,000 שנה;
- ב. יכולת ריבוי אל-מיני, למשל אצל מיני אלון המתחדשים מסורים, ומיני איקליפטוס המתחדשים מענפים אפיקורמיים;
- ג. שבירות נמוכה של העץ, למשל אצל מיני ארז.

מניעת הזדקנות כוללת:

- א. צימוח מתמשך לגובה, כדוגמת הצימוח של סקוויה נאה (*Sequoia sempervirens*), ולרוחב הגזע, כדוגמת הצימוח של גינקו דו-אונתי. בשני המקרים המריסטמות

של המשך חידוש הנוף. כאשר חלים צמצום והתנוונות בממדי הצמרת החיה, מקצות הענפים החיצוניים והפנימיים לכיוון הגזע (dieback) גם עקב הצללה עצמית, נוספים להם: שבר ענפים וצימוח ענפים אפיקורמיים (ענפים ארוכים וזקופים הפורצים על פני פצעים ושברים, צומחים ומתעבים מהר, וחיבורם לגזע המרכזי רופף), ריקבון של עצת גלעין ויצירת חללים, ועלייה בהתיישבות של ציפורים, חרקים וחזזיות. הצימוח השוטף בנפח וברוחב של הטבעות השנתיות ממשיך לרדת, ורצף הטבעות בהיקף העץ אובד. לעומת זאת, כשתנאי הסביבה מיטביים, ישנה עלייה בצימוח חוזר של הצמרת והגזע, והצימוח השוטף ממשיך, כולל התפתחות של עמודות גזעים עצמאיים.

ג. עץ עתיק – בתקופה זו מתרחשים הזדקנות מאוחרת

והמשך חידוש נוף או תמותה. בהזדקנות המאוחרת חלה ירידה בחיוניות וצימוח, ישנה עלייה בפעילות של פטריות ואוכלוסיות מפרקות וממחזרות ובריבון של שורשים. ההתעוררות בצמרת ובגזע ממשיכה כששורשים תנאים מועדפים.

מנגנוני התמודדות של עצים התורמים לאריכות ימים

קיימות מספר גישות המנסות להסביר מדוע מינים או סוגים מסוימים של עצים מגיעים לגיל מופלג בעוד אחרים הם קצרי חיים.

1. הקצאת משאבים ליצירת מערכת הגנה כימית ומבנית

חזקה – ההגנה מאופיינת כעמידות לאורגניזמים גורמי ריקבון, כגון בתגובת פציעה, ולתקיפת חרקים בשילוב עם חוזק מבני (Clark and Matheny, 1991). עצים מהירי צימוח, כמו מיני ערבה וצפצפה, מקצים כמות קטנה יחסית של משאבים להגנה (סוכרים, מים וכ"ו), וחיים בדרך כלל תקופה קצרה יותר מעצים בעלי צימוח איטי. לעומתם, עצים המקצים משאבים רבים יותר להגנה, כמו מיני עצי מחט ומיני אלון, ייתכן שיצמחו לאט יותר, אך יאריכו חיים גם כאשר שיעור הצימוח שלהם פוחת.

תמיכה לגישה זו, שלפיה קיים מתאם בין הקצאת משאבים ליצירת מערכת הגנה חזקה, מתקבלת מממצאיהם של Cannon ושות' (2022). בעצים רחבי עלים נמצא מתאם בין עמידות לריקבון והשקעת אנרגיה בעצה.

2. צימוח איברים במיקום חדש ומהיר יותר מצימוח

אברים על גבי חלקים ישנים שנפגעו – במינים יוצאי דופן, שהם מהירי צימוח המאופיינים בתוחלת חיים

Flanary and) יחסית ופעילות מוגברת של טלומראז (Kleteschaka, 2005).

6. שילוב של מאפיינים שונים

המין גינקו דו-אונתי מגיע לגיל של יותר מ-1,000 שנים. Li Wang ושות' (2020) מצאו כי במין זה נשמרו מאפיינים שונים, כמו פוריות, שיעורי נביטה, מדדים פוטוסינתטיים ומדדים הקשורים ליצירת אינטראקציה עם פתוגנים ולהגנה על עצים, בדומה לעצים צעירים, ומצד שני נרשמו עלייה בהורמון מוסת צמיחה ABA המופיע בצמחים בתנאי עקה, ותוספת צמיחה בבסיס העץ, שנבעה מהתעבות משנית – יצירת טבעות שנתיות, אם כי צרות יותר ככל שהעץ מזדקן. הממצא האחרון תואם את גישתם של Cannon ושות' (2022), ושמירת היכולת ליצירת אינטראקציה עם פתוגנים והגנה על עצים תואמת את גישתם של Matheny ו-Clark (1991).

גורמים המשפיעים על אריכות חיים של פרטים בסוג ובמין

Cannon ושות' (2022) מצאו בהדמיות מודלים שונים כי עצים שונים ביערות מגיעים לשיא (Climax) מוקדם יותר ולגיל מופלג יותר, ככל שהאוכלוסייה גדולה יותר וככל ששיעורי התמותה באוכלוסייה נמוכים יותר.

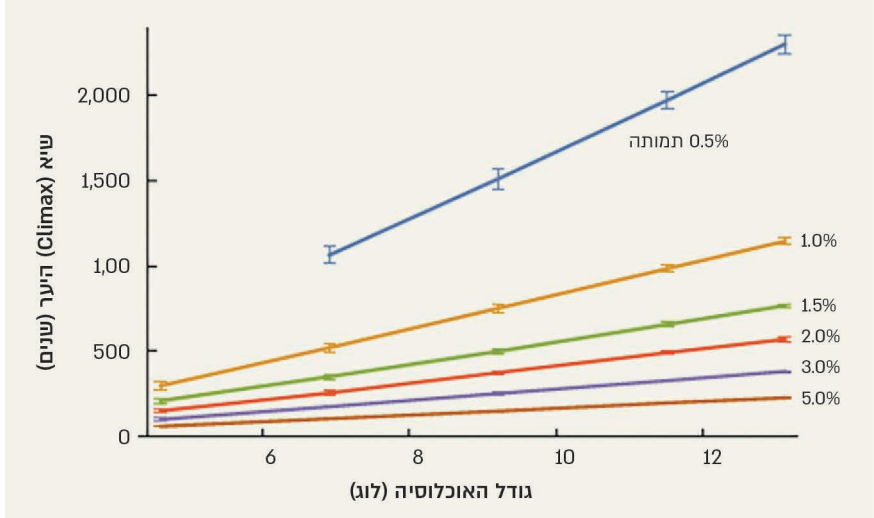
במודל הראשון שיא היער נמצא ביחס ליניארי ללוגריתם של גודל האוכלוסייה ולשיעור התמותה השנתית (איור 1). ניתן לראות שגיל העצים עולה באופן ליניארי עם העלייה בלוגריתם של גודל האוכלוסייה. לעומת זאת, גיל העצים מושפע באופן שילי משיעור התמותה השנתית באוכלוסייה. כלומר, ככל ששיעור התמותה השנתית נמוך יותר, העצים מגיעים לגיל

חיוניות ויוצרות איברים חדשים (צימוח בחלקים מקומיים, יצירת מערכות הובלה);
 ב. גמישות וגטטיבית – מריסטמות חיוניות בנוף ובשורשים (הרכבות על עצים צעירים, ענפים אפיקורמיים, שהם כאמור גם דוגמה ליכולת ריבוי אל-מיני);
 ג. יכולת צימוח מודולרית – יכולת צימוח מתחדש היא המנגנון היעיל ביותר למניעת הזדקנות. במינים מאריכי חיים מתקיים מנגנון זה, לרבות בסקוויה נאה, שמגיעה לגובהה המרבי בגיל מתקדם יחסית, ולרוב אינה מראה ירידה בחיוניות הצימוח. עם זאת, למנגנון זה יש מגבלות – עקת מים גדולה בעלה בשל לחץ הידראולי ומכני עשויה לבסוף להגביל את הצימוח לגובה וכן להאט את קצב הפוטוסינתזה. הצימוח לגובה מוגבל לגובה של 130 מטר, גם בקרקע שופעת לחות (Cannon et al., 2022).

5. פעילות מוגברת של הטלומר

הטלומר (telomere) שומר על כושר השכפול של ה-DNA בכרומוזומים. הטלומר נמצא בשני קצות הכרומוזומים, כך שלכל כרומוזום יש שני טלומרים. ללא נוכחות הטלומרים הכרומוזומים היו מתקצרים עם חלוקת התאים, מאבדים את כושר השכפול של ה-DNA ולכן גם מידע גנטי חיוני, מזדקנים ומתים. הטלומרים המורכבים מנוקלאוטידים (חומצות גרעין המרכיבות את ה-DNA וה-RNA) ומחלבונים ספציפיים, מתקצרים במקום הכרומוזומים עצמם עם חלוקת התאים, כך שהחלק שהולך לאיבוד אינו חלק מהרצף הגנטי של התא, אלא חלק מהטלומרים שאין לו חשיבות מבחינה גנטית. כדי לשמור על פעילותם לאורך זמן, הטלומרים מוארכים על ידי האנזים טלומראז (telomerase). בצמחים מאריכי חיים, בעיקר באורנים, נמצאה מערכת פעילה של טלומרים, כלומר טלומרים ארוכים

איור 1
שיא גיל היער ביחס לגודל האוכלוסייה הנורמלית ולשיעור התמותה השנתית
 מוצגות שש רמות שונות של שיעורי תמותה (0.5% בכחול, 1% בצהוב, 1.5% בירוק, 2% באדום, 3% בסגול ו-5% בחום). שיא היער מוגדר כנקודת הזמן שנוותר בה עץ עתיק אחד בחלקת היער שמקורה ביער חד-גילי, והיא מבטאת את גיל העצים.



טווח (למשל שימור הקיים על פני הזדמנויות תכנוניות להחלפת מינים, נטיעות עתודה) ועוד. כדי למנוע התנוונות של עצים יש לנהל את משק העצים במטרה ליצור יציבות עם מספר מזערי של הפרעות סביבתיות ושל תקיפות נגעים (Clark and Matheny, 1991).

באתרים עירוניים שדואגים בהם לגיטון חלים שינויים תכופים בתנאי הסביבה (בנייה, תדירות השקיה ועוד), דבר שמאלץ את העץ לשנות את דפוס הצימוח שלו כדי לבסס מחדש איזון פנימי בהתאמה לתנאי הסביבה המשתנים. יש להקפיד על תוכנית טיפול בהסתכלות ארוכת טווח (5-50 שנים ולא עונה בודדת) ועל יישום מגוון של כלים ופעולות למען הקצאת משאבים והשגת יציבות ואיזון. יש להעדיף תחזוקת מנע על פני תחזוקת שבר. ניתן להתערב ולהשתמש בעיקר בעיצוב מבנה יציב פיזיקלי ובפיתוח סביבה יציבה (Clark and Matheny, 1991) כולל טיפולי מניעה וטיפול בנגעים.

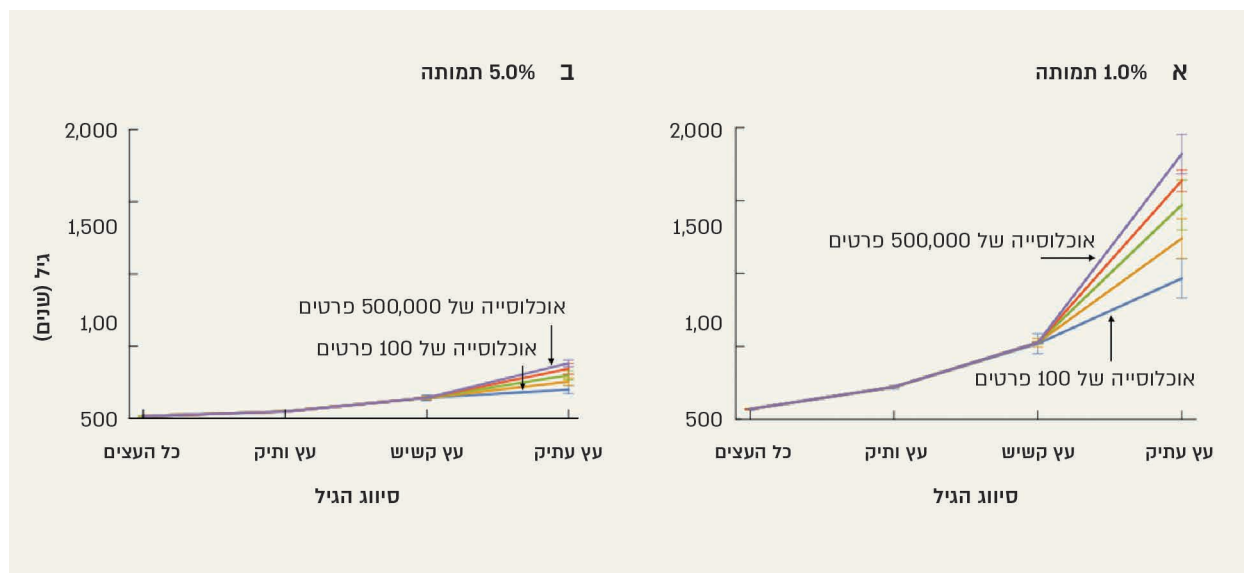
היכולת לתת טיפול מיטבי לעצים תלויה גם בחוסן שלהם, כלומר ביכולתם להגיב ולהסתגל לשינויים בתנאי הסביבה (צל/שמש, תחרות על משאבי מקום ואנרגיה, עבודות תשתית סמוכות). חוסן כולל חיוניות, זמינות משאבים והתאמות גנטיות. חשוב להכיר ולהביא בחשבון גם את אורך החיים הפוטנציאלי של המין, כי ניהול של עצים קצרי חיים יהיה שונה מזה של עצים מאריכי חיים.

מופג יותר. למשל, כשיעור התמותה באוכלוסייה עומד על 5%, שיא גיל העצים ביער נמוך מ-200 שנה, ואילו כשיעור התמותה באוכלוסייה עומד על 0.5%, שיא היער הוא מעל 2,000 שנה.

במודל נוסף נבחנה ההשפעה של גודל האוכלוסייה ושיעור התמותה השנתית על הגיל הממוצע של אוכלוסיות שונות של עצים זקנים (איור 2). נמצא שבשני שיעורי התמותה המוצגים, גודל האוכלוסייה השפיע באופן חיובי רק על הגיל הממוצע של אוכלוסיית העצים העתיקים. לעומת זאת, שיעור התמותה השפיע באופן שלילי על הגיל הממוצע של כל האוכלוסיות. למשל, בשיעור של 1% תמותה הגיל הממוצע של אוכלוסיית העצים העתיקים באוכלוסייה של 500,000 פרטים היה קרוב ל-2,000 שנה (איור 2א), בעוד שבשיעור של 5% תמותה הגיל הממוצע של האוכלוסייה הזו באותו גודל אוכלוסייה היה כ-400 שנה (איור 2ב).

מניעת התנוונות עצים

תחזוקת משק עצים בסביבה מיושבת מונעת ממערכת שיקולים מורכבת, ובהם הצביון והחזות של המקום, אילוצים וצרכים הקשורים לתכנון, בינוי ופיתוח, בטיחות ושלום הציבור, תקציב (עלות מול תועלת), תוכנית עירונית ארוכת



איור 2

גיל ממוצע של אוכלוסיות שונות של עצים זקנים (ותיקים, קשישים ועתיקים) ביחס לגודל האוכלוסייה ושיעור התמותה השנתית
 א: 1% תמותה שנתית; ב: 5% תמותה שנתית.
 מוצגות חמש רמות שונות של גודל האוכלוסייה (100 פרטים בכחול, 1,000 בצהוב, 10,000 בירוק, 100,000 באדום ו-500,000 בסגול) בממוצע של 25 חזרות.

- הימנעות משימוש בחומר איטום לפצעים, ואיסור מילוי חללים בבטון, קידוח וניקוז של חללים וכיסי מים.

שימור והכשרת סביבה יציבה

בסביבה יציבה ההפרעות והשינויים במרחב הצימוח של העץ מזעריים. עם זאת, אפילו שינויים מינוריים בסביבת העץ עלולים לגרום השלכות שליליות משמעותיות. לדוגמה, השקיית עצים הגדלים באזור ללא גשמי קיץ, עלולה לגרום לריקבון שורשים או להתפתחות עצה רכה ושבירה.

שמירה על חיוניות העצים תפחית את סיכוייהם להיכנס למצב של סחרור מוות. ניתן להשיג זאת באמצעות מניעת עקות ראשוניות, כגון יובש, אזור לקוי בקרקע, מחסור בחומרי הזנה וגרימת נזקים כימיים ומכניים. הטיפול האלה חשובים במיוחד בעצים מהירי צימוח, שתוחלת חייהם תלויה בשמירה על שיעור הצימוח המהיר. לדוגמה: השקיה ודישון יכולים להפחית את רגישותו של עץ השֶׁדֶר (*Betula papyrifera*) לחדירת נוברים (Clark and Matheny, 1991).

ניהול משק עצים המצוי בתהליכי התנוונות

במרבית המקרים נבחין בהתדרדרות העץ בשלב מאוחר יחסית, כשהעץ כבר נמצא בסחרור מוות. אם העץ במצב בר-שיקום, יש לסייע לו לצאת מתנאי סחרור המוות ולבסס מחדש את האיזון בינו לסביבתו. במרבית המקרים הפתרון צריך להיות איטי, רגיש וארוך טווח. יש להביא בחשבון שגם במיני עצים הנחשבים חסונים, התגובה לשינויים איטית. בכל מקרה יש לבחון אם הטיפול יסייע לעץ או שמא הוא עלול לדרדר את מצבו.

יישום מעשי

- **היסטוריה** – בשלב ראשון יש לנסות לברר את ההיסטוריה באתר, למשל, אם בוצעו עבודות תשתית סמוך לעץ, אם נותקו מערכות השקיה, אם נחשף השטח לאחרונה לרוחות או לקרינה בעקבות נפילת עץ סמוך וכדומה. המידע עשוי לסייע בדינו לבחון עקות אפשריות שהעץ עבר או עובר.
- **קרקע** – מומלץ לבצע בדיקות קרקע ובדיקות עלים במטרה לקבל נתונים על מרקם הקרקע, תכולת המים, חוסרים במינרלים וגורמים מגבילים. בהתאם לתוצאות הבדיקות ניתן לקבל החלטה מושכלת באשר לטיפול הדרוש, כגון אזור קרקע, מתן חומרי הזנה או ביצוע שטיפה כנגד המלחה.
- יש לעבד את הקרקע בקלטור שטחי בלבד, ובכל מקרה יש לוודא טרם הביצוע כי לא מדובר בעצים ששורשיהם רגישים אף לעיבוד שטחי.

עיצוב וטיפוח של שלד עץ יציב מבחינה מבנית

יש לשקול גיזום מוקדם של הנוף ליצירת מבנה יציב ולמניעת כשלים, תוך שימוש בטכניקות גיזום נכונות ובמערכות תמיכה ותוך בקרה על יחס תקין של נוף ושורש.

העץ מגיב לגיזום בפריצת פקעים רדומים, בצימוח ענפים אפיקורמיים שעלול להצריך גיזום המשכי, וכן בהגלדה ובסגירת פצעי הגיזום – תהליכים הדורשים אנרגיה. עם זאת, בשל פעולת הגיזום פוחת נפח העלווה המבצעת פוטוסינתזה, ובהתאם פוחתת יכולת יצירת מאגרי האנרגיה, מה שמכניס את העץ לגירעון. נוסף על כך, רגישות העץ לחדירת נגעים וקרינה לחלקי עץ חשופים עולה. לעיתים מומלץ לשקול שימוש במערכות תמיכה כתחליף או כתוספת לגיזום.

גישתם של משמרי עצים עד העת האחרונה הייתה כי עצה מתה גורמת נזק לעץ ומהווה מדד להתנוונות ולסיכון. מקובל היה לבצע סניטציה, עם דגש על הסרת עצה מתה או נגועה וטיפול בחללים ובריבון. Dujesiefken ושות' (2016) מציעים לבחון מחדש גישה זו לאור הכרת הערך של עצה נרקבת ומתה, שלא בהכרח גורמת נזק, חללים וכיו"ב, כבתי גידול המסייעים לשימור המגוון הביולוגי. הם מעודדים ניסיון להבחין בין התדרדרות העץ לבין תהליך של חידוש נוף, ומעלים את המודעות לכך שצמצום טבעי של הצמרת אינו מעיד בהכרח על ירידה במצב הבריאותי. ייתכן שהצמצום הפיך, ולעיתים הוא קשור לתהליך של חידוש הנוף. גישה זו צריכה להיבחן בהיבט של בטיחות וניהול סיכונים. הם מדגישים כי חובה לוודא שהותרת עצה נרקבת ומתה או חללים לא תבוא על חשבון יציבות ובטיחות של העץ.

בכל מקרה יש לנקוט גישה של גיזום מצומצם והדרגתי ככל הניתן, תוך ניסיון להתחקות אחר תהליך הצמצום הטבעי של הצמרת באמצעות הסרת ענפים בעלי חיוניות נמוכה ועידוד הצימוח של הצמרת התחתונה.

עקרונות הטיפול המומלצים:

- גיזום של פחות מ-10% עלווה ונוף;
- גיזום בעונה ובמועד שהעץ מצוי בתנאים מיטביים מבחינת טמפרטורה ותכולת מים בקרקע. אין לגזום עץ המראה סימני עקה;
- חתכים בקוטר שאינו עולה על 20–50 מ"מ;
- התמקדות בצימוח היקפי;
- ביצוע באמצעות כלים ידניים, ולרוב מבמת הרמה, בהתאם לצרכים ולשיקולים מקצועיים;
- בקרה וטיפול חוזרים ככל הנדרש;
- העדפת מערכות תמיכה שאינן חודרניות, במקרה הצורך;

מביצוע עבודות בנייה ופיתוח בסביבת העץ, כגון שינוי מפלט הקרקע, שינוי בתנאי הניקוז, במשטר הרוחות ובחשיפה לשמש בשל הצללה על ידי מבנה חדש. להרחבה ניתן לעיין בהנחיות עבודה בקרבת עצים של אנף יער ואילנות באתר משרד החקלאות ופיתוח הכפר (בורגר ושות', 2015).

- **ניטור העץ** – יש לערוך ניטור תדיר במטרה לאתר מבעוד מועד סימני עקה והתנוונות והתדרדרות בתנאי הסביבה, כדוגמת פריצת ביוב ופריצת מערכת השקיה. בעצים ותיקים וגבוהים בעלי שורשים שטחיים, כגון מיני ברוש ואורן, ניתן לבדוק יציבות באמצעות מכשיר משיכה כדי למזער סיכון לסביבה. עצים ותיקים צריכים להיבדק לא רק בגזעים, אלא גם בזרועות הגבוהות באמצעות טומוגרף או רזיסטוגרף. בכל מקרה יש לערוך ניטור למלוא גובה העץ באמצעים מתאימים, ולא להסתפק בבחינה מהקרקע.
- **פיתוח תוכנית לניהול נגעים בהתאם למין** – ניתן לגבש תוכנית תחזוקה וטיפול על בסיס פילוח מיני העצים בתא השטח המנוהל. תוכנית זו תפרט את אופן הטיפול הדרוש, מועדי הטיפול, בקרה, ניטור ועוד.

ניהול עצים בעלי חללים כדוגמה לשימור עצים זקנים בתנאים עירוניים

Le Roux ושות' (2014) מציינים כי קיימת אי-ודאות לגבי עתיד בתי הגידול של עצים זקנים בשטחים עירוניים, ששוהים בהם בני אדם רבים. זהו מצב מאתגר, הדורש התייחסות ייחודית. לפיכך, הם השתמשו במחקרם במודל שנועד לחזות את עתידם של עצים מקומיים חלולים בשטחים עירוניים שנמצאים בתהליכי התרחבות בעיר קנברה ובאזור הסמוך לה באוסטרליה. כמו כן, נבחנו תרחישי ניהול שישמרו ככל הניתן את מספר העצים החלולים. בהדמיה שערכו נבדקו מינים שונים של עצי איקליפטוס בשמורות טבע ובשטחים ירוקים עירוניים. הם ניסו לחזות את מספר העצים בעלי החללים לשטח של 10 דונם במהלך 300 שנים בתנאי התחזוקה הקיימים. ממסקנותיהם עולה כי מספר העצים בעלי החללים ל-10 דונם בשטחים עירוניים צפוי לרדת ב-87% תוך 300 שנים, ממספר התחלתי של 5.74 עצים ל-10 דונם ל-0.76 עצים ל-10 דונם (איור 3). בתרחיש הגרוע ביותר כל העצים החלולים עשויים להיעלם מהנוף העירוני תוך 115 שנים, ואילו בתרחיש הטוב ביותר מספרם ימשיך וירד עם הזמן. לעומת זאת, צפיפות העצים בשמורות הטבע צפויה להישמר ולהיות בשיעור ממוצע של 13.4 עצים ל-10 דונם.

באיור 4 מוצגים שישה תרחישים לניהול לבחינת הגדלת מספר העצים בעלי חללים ל-10 דונם במהלך 300 שנים.

בכל מקרה מומלץ לטייב את הקרקע בדשן אורגני (הומוס או קומפוסט), לחפות את אזור השורשים מתחת להיטל הצמרת בחיפוי אורגני בעובי של 10 ס"מ לפחות, ולוודא שאזור השורשים יהיה מוגן מהפרעות.

יש להגן על העץ מפני הידוק קרקע. נוסף על החיפוי מומלץ להגביל כניסת כלי רכב ואף הולכי רגל לאזור השורשים שנמצא מתחת להיטל הצמרת. ניתן להתקין מדרך "מרחף" שיאפשר למבקרים להתקרב אל העץ מבלי לגרום להידוק.

באזורים מרוצפים מומלץ להסיר את הריצוף באופן ידני, לטייב את הקרקע ולהוסיף חיפוי אורגני. אם צוואר השורש מכוסה, יש להסיר את הכיסוי באופן ידני תוך בדיקה שלא קיימת צמיחת שורשים אל הקרקע שכיסתה את האזור, כדי למנוע ריקבון שורשים.

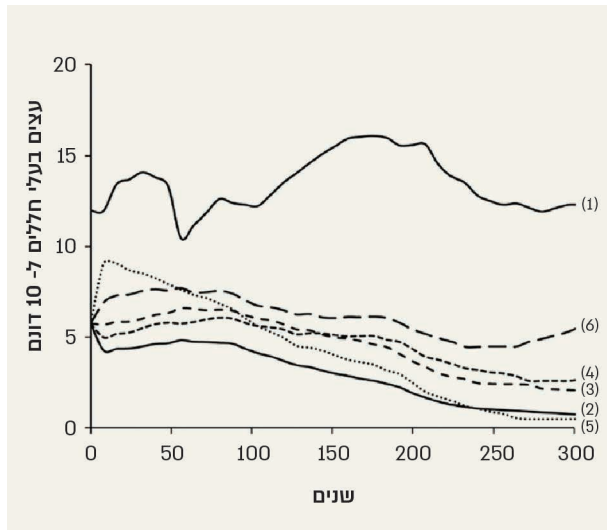
- **השקיה** – יש להשקות בהתאם לצורכי מין העץ, על פי מקדם פנמן-מונטיס, בהתאם לתנאי הסביבה הטבעיים של העץ (תנאי אקלים וקרקע) ומרווחי ההשקיה (להרחבה ראו: הלר 2008, 2009; הלר ושות', 2016). יש להקפיד להשלים את מנת המים שהעץ זקוק לה באופן שוטף ולהקפיד על כך בייחוד בתנאי מזג אוויר בלתי שגרתיים, כגון עצירת גשמים ימי שרב. מאידך גיסא, יש לנקוט זהירות במתן תוספת השקיה לעץ שקודם לכן הסתפק במי גשמים בלבד. יש להקפיד שסביבת העץ לא תוצף (למשל עקב פריצת מערכת השקיה או גשמים מרובים לאחר מספר שנות יובש), ובמקרה של הצפה יש לנסות לנקז את סביבת העץ או לאוורר את הקרקע, אף על פי שהפתרונות מורכבים ליישום. בעץ מושקה יש לוודא שמערכת ההשקיה תתפרס בהיקף היטל הצמרת ולא צמוד לאזור הגזע בלבד. בשטחים משופעים יש להביא בחשבון את הנגר.

- **שבר ענפים עקב השקיה** – לעיתים יש נטייה לשבר ענפים בעצים מושקים. הסיבה אינה ברורה, ואין סימוכין לכך שהדבר נגרם מיצירת עצה רכה יותר או מכך שההשקיה מעודדת צימוח של עלווה ופרי היוצר עומס משקל עצמי.

- **חומרי הזנה** – יש לספק חומרי הזנה באופן מבוקר על בסיס תוצאות בדיקות קרקע או בדיקות עלים. דישון יתר עלול לגרום לצימוח יתר בעץ זקן, בייחוד עץ המצוי בתנאי עקה, שייתכן שאין בו איזון פנימי.

- **מניעת תחרות עם צמחים נוספים** – יש להפחית הצללה, תחרות בין שורשים, עשבים שוטים וכיו"ב. יש לדאוג לסביבה שתאפשר התפתחות מיטבית של העץ במינימום תחרות על משאבים.

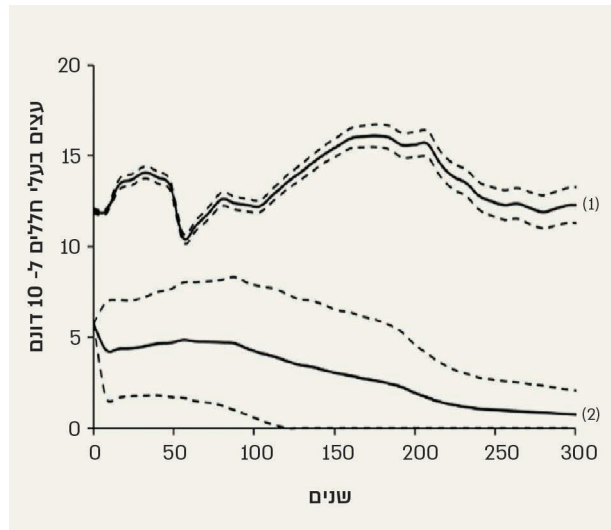
- **הגנה מפגיעות מכניות ושינויים סביבתיים בקרבת העץ** – יש להגן על העץ מפגיעות מכניות באמצעות גידור ואמצעי הגנה נוספים, או גיזום באזור שצפיפות לעבור בו משאיות. כמו כן, יש להימנע משינויים סביבתיים הנגרמים



איור 4

שיעור העצים בעלי חללים ל-10 דונם של נטיעות עירוניות הצפוי במהלך 300 שנים בעקבות טיפולים שונים.

1. תרחיש המתקיים בשמורות טבע בתנאי התחזוקה הנוכחיים (קבוצת ביקורת ללא מינפולציות); 2. תרחיש המתקיים בשטחים עירוניים בתנאי התחזוקה הנוכחיים (קבוצת ביקורת ללא מינפולציות); 3. תרחיש של טיפולים להארכת חיי העצים ל-500 שנים; 4. תרחיש של הגדלת כמות העצים עד 60 שתילים ל-10 דונם, באמצעות השלמת נטיעה כנדרש או התחדשות טבעית; 5. תרחיש של שימוש באמצעים מלאכותיים להגדלת מספר העצים בעלי חללים ב-62% מעל הממוצע בתרחיש 2; 6. תרחיש המתאר שילוב של הטיפולים להארכת חיי העצים ל-450 שנים, נטיעת 60 שתילים ל-10 דונם ושימוש באמצעים מלאכותיים להגדלת מספר העצים בעלי החללים בכ-30% מעל הממוצע בתרחיש 2. מתוך: Le Roux ושות', 2014.



איור 3

הדמיה שמנסה לחזות את המספר היחסי של עצי איקליפטוס בעלי חללים, שצפויים להיות בשטח של 10 דונם לאורך 300 שנים

ההדמיה מוצגת בשני תרחישים: בתנאי התחזוקה הנוכחיים בשמורות טבע (1) ובאזורים עירוניים (2). הקווים המקווקווים מציינים את הטווח ש-95% מהאוכלוסייה מצויה בו. מתוך: Le Roux ושות', 2014.

באיור מוצגים שוב, כקבוצות ביקורת, התרחישים בשמורות טבע ובאזורים העירוניים ללא התערבות המופיעים באיור 3, וכן תרחישים נוספים הכוללים התערבויות שונות.

תרחישים 3 ו-4 באיור 4 מתארים שיעור עלייה מתון במספר העצים בעלי חללים בטווח מאה השנים הראשונות ולאחר מכן חלה מגמת ירידה. תרחיש 5 מתאר עלייה בשנים הראשונות במספר העצים בעלי חללים מ-5.74 ל-9 עצים ל-10 דונם, ולאחר 300 שנים חלה מגמת ירידה ל-0.46 עצים ל-10 דונם. תרחיש 6 מתאר מגמה יציבה במספר העצים בעלי חללים למשך כל טווח השנים הנבדק. עם זאת, בתחילה עלה המספר ל-7 עצים ל-10 דונם, ולאחר מכן, בטווח שבין 200-250 שנים חלה מגמת ירידה ולאחר מכן שוב קיימת מגמת עלייה. מימוש הגדלת מספר העצים בעלי חללים מתאפשר באמצעות נטיעה נרחבת, כמו גם עידוד ההתחדשות הטבעית במקומות רלוונטיים, טיפוח תנאי סביבה מיטביים וכן הפחתת תמותת השתילים בבתי גידול עירוניים.

מאיור 4 עולה כי כל אחד משלושת הטיפולים בנפרד (3-5) לא תרם במידה רבה להעלאת מספר העצים נושאי החללים. עם זאת, גישת תחזוקה משולבת (6) של שלושה תרחישי ניהול בעת ובעונה אחת תגדיל את מספר העצים החלולים בטווח הארוך.

סיכום

ברחבי העולם ניכרת מגמת ירידה בכמות העצים הזקנים, בעיקר בשל פעילות האדם, הפוגעת בעץ עצמו או גורמת להתדרדרות בתנאי הסביבה. מגוון עקות יכול להוביל עצים ל"סחרור מוות", שקשה להם להשתקם ממנו. הירידה במספר העצים הזקנים מצמצמת את התועלת שכלל העצים מספקים.

חשוב לערוך ניטור ולקיים ניהול משמר עצים במטרה להבין מהם הגורמים להתנוונות ולתמותה של עצים זקנים, וכיצד למנוע אותן. ניהול משמר עצים יכול לסייע גם בהפחתה ואף במניעה של נזקים מגורמי מחלות ומזיקים, שחלק מהם מינים פולשים. כמו כן, קיימת חשיבות רבה לנטיעת עצים בקבוצות במטרה ליצור אוכלוסיות גדולות, שעשויים להתפתח בהן פרטים גדולים, המגיעים לגיל מופלג ומספקים שירותי מערכת אקולוגית שערכם הכלכלי גדול יותר (McPherson et al., 2006).

מספר סקרים על ידי משרד החקלאות ופיתוח הכפר חלקם בוצע בסיוע מתנדבים. המידע שנאסף הניב ספרים, חוברות ומפות טיולים.

על מקבלי ההחלטות והעוסקים בתחום שימור העצים בארץ, לגבש עמדה סדורה ולמצוא את עמק השווה בין ניהול שיאפשר שמירה על בטיחות ושלום הציבור מחד גיסא, בצד שימור עצים זקנים מאידך גיסא. המשימה להעלאת המודעות לנושא שימור העצים ולהנחלת תרבות לשמירת עצים היא בבחינת משימה לאומית רבת חשיבות.

פקודת היערות וצו היערות מאפשרים בקרה ומניעה של כריתת עצים בישראל. עם זאת, קיים קושי למנוע התנוונות עצים בשל התדרדרות טבעית, ובעיקר בשל ניהול לוקה בחסר והיעדר מדיניות מכוונת לשימור עצים. התוצאה היא אובדן עצים זקנים יקרי ערך, יחד עם בית הגידול שהם מקיימים. בארץ לא קיימים תקנים לטיפול בעצים כפי שיש באירופה וארה"ב, אך קיימות הנחיות והמלצות של משרד החקלאות ופיתוח הכפר לנושאים שונים, כמו גיזום או הערכת סיכונים (הלר, 2019). בישראל קיימת במידה מסוימת מודעות לחשיבותם של העצים הזקנים. נערכו

מקורות

- Cannon CH, Piovesan G, and Munn-Bosch S. 2022. Old and ancient trees are life history lottery winners and vital evolutionary resources for long-term adaptive capacity. *Nature Plants*, 8, 136–145.
- Clark JR and Matheny N. 1991. Management of mature trees. *HortScience*, 17(7), 173–184.
- Dujesiefken D, Fay N, De Groot JW, and De Berker N (Witkos-Cnack K and Tyszko-Chmielowiec P [Eds]). 2016. *Trees – a Lifespan Approach*. Roads for Nature. Cracow, Poland.
- Flanary BE and Kletetschaka G. 2005. Analysis of telomere length and telomerase activity in tree species of various life-span, and with age in bristlecone pine *Pinus longaeva*. *Biogerontology*, 6, 101–111.
- Le Roux DS, Ikin K, Lindenmayer DB, Adrian D, Manning AD, and Gibbons P. 2014. The future of large old trees in urban landscapes. *PLoS ONE*, 9(6), 1–11.
- Li Wang L, Cui J, Jin B, Zhao J, Xu H, Lu Z, et al. 2020. Multifeature analyses of vascular cambial cells reveal longevity mechanisms in old *Ginkgo biloba* trees. *PNAS*, 117(4), 2201–2210.
- McPherson EG, James R, Simpson JP, Gardner SL, Vargas KE, Maco SE, et al. 2006. *Costal Plain Community Tree Guide: Benefits, Cost and Strategic Planting*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest, Research Station, General Technical, Report PSW-GTR-201.
- בורגר ח, לוריא נ, גלון י ועמית ת. 2015. הנחיות לעבודה בקרב עצים. פקיד היערות, משרד החקלאות ופיתוח הכפר. <https://www.gov.il/he/departments/policies/moag-pro-014>
- ברמן ז, אליה ע, לן ע, מזרחי ת, פרדמן א, ברקאי א וצוות עבודה מטעם ממשלת ישראל. 2022. קידום עצי רחוב בערי ישראל – הצללה וקירור של המרחב העירוני באמצעות עצי רחוב כהיערכות לשינויי האקלים. סיכום והמלצות בעקבות שולחן עגול ממשלתי בנושא ייעור עירוני. 50 עמודים. אתר משרד ראש הממשלה, נספח להחלטת ממשלה מס' 1022 מיום 23.12.2022. https://www.gov.il/he/departments/policies/dec1022_2022
- דפני א. 2010. עצים מקודשים בישראל. הוצאת קק"ל והקיבוץ המאוחד.
- הלר א. 2008. ישראל עוברת משחור לירוק – דרכים לחיסכון במים בגן הנוי, חלק א'. עולם הפרח, נובמבר, 58–61.
- הלר א. 2009. ישראל עוברת משחור לירוק – דרכים לחיסכון במים בגן הנוי, חלק ב'. עולם הפרח, פברואר-מרץ, 56–59.
- הלר א, שילה א, הורביץ ט, פרל מ, לוינגרט-אייצ'יי"י ע, בן-שחר י ושות'. 2016. שינוי שיטת החישוב בהשקיית גינות נוי – קביעת מנת השקיה על פי מקדמים אקלימיים בהתאם להתאדות מחושבת על פי פנמן-מונטסי ולא על פי התאדות מניגית. דפון בהוצאת שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
- הלר א. 2019. ניהול סיכונים במשאב העצים העירוני. משרד החקלאות ופיתוח הכפר. <https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/tree-risk-management>



אלון מצוי זקן בחורשת הארבעים שבכרמל, אוגוסט 2023
צילום: אביגיל הלר



קיבוץ בארי, דרום אדום, זיכרון עוטף
מישל קישקה