

השינויים בממשק היער הנטוע באזור הים-תיכוני בישראל: מיער חד-מיני וחד-גילי ליער מעורב רב-גילי

חלק ג': השלכות על ממשק היער הבוגר וחידוש היער

עמרי בונה

המדען הראשי, מינהל פיתוח הקרקע, קק"ל

omrib@kkf.org.il

תקציר

ממשק היער הנטוע הבוגר בישראל נועד לתמוך בהתפתחות יער בר-קיימא, העמיד לגורמי נזק שונים. הגדלת מגוון המינים והגילים ביער והרחבת מרחב המחיה של העצים, בהתאמה לכושר הנשיאה של בית הגידול, באמצעות דילולים בררניים, מהווים את הכלים המרכזיים להשגת מטרה זו. מאז תכנית ממשק היער של 1990, קיימת מגמה להקטנת צפיפות העצים ביער, והגדלת הכמות והאיכות של תפוקת העץ אינם מהווים שיקול מרכזי בקביעת מדיניות הייעור. מאז 1990, הנטיעות החדשות ושיקום היערות שנפגעו מגורמי הנזק השונים בוצעו במודל של נטיעות מעורבות, וכיום היער המעורב תופס כ-40% משטח היערות הנטועים בישראל. בנוסף לכך, בלא מעט יערות באזור הים-תיכוני בישראל נוצר יער מגוון כתוצאה מתהליכים של התחדשות טבעית של רחבי עלים בתת היער המחטני הנטוע.

דילול וגיוון העצים וטיפול בשאריות העץ הנותרות ביער לאחר פעולות אלה, במיוחד בקווי חיץ, משמשים כלי עיקרי להפחתת האפשרות להתפשטות שריפות יער הרסניות אשר מהוות את גורם הנזק העיקרי ליערות בישראל. גורמים נוספים לפגיעה ביערות, המחייבים חידוש של עומדים שנפגעו הם: המצוקוקוס הא", התייבשות עצים לאחר שנות בצורת, סופות שלגים, התפרצויות של חיפושיות קליפה ובשנים האחרונות הזדקנות והתנוונות של יערות הדור הראשון.

ממשק היערות הנטועים הוותיקים שבהם מגוון המינים נמוך ואשר בצעירותם התפתחו בתנאי צפיפות יתר צריך להיות מכוון להארכת מחזור הגידול של הדור הראשון באמצעות המשך ביצוע של דילולים מתונים בבתי הגידול, שבהם צפויה לדילול תרומה משמעותית לחיוניות העצים. אולם, בבתי גידול, שבהם העומדים של הדור הראשון, ובמיוחד של אורן ירושלים (*Pinus halepensis*), אשר התפתחו תקופה ארוכה מידי בצפיפות יתר והעצים בהם נוטים על צידם וקורסים בהדרגה, צריך להמשיך בכריתה לשם חידוש היער, תוך כדי השארת עצים מצטיינים במרחקים גדולים זה מזה וכן מיני מחטניים אחרים ומיני חורש טבעי, כבסיס ליער מגוון, שהוא רב-מיני, רב-גילי

ובעל מספר שכבות. המגוון והמורכבות המבנית של היער צריכים לבוא לידי ביטוי גם ברמה המצומצמת של העומד וגם ברמה הרחבה יותר של נוף היער כולו.

מילות מפתח: יער חד-מיני, יער מעורב, יער חד-גילי, יער רב-גילי, דילול, גיוון, חידוש יער.

הגדרות

יער חד-מיני (pure forest stand): חלקת יער, שבה לפחות 85 אחוז מהעצים הם ממין אחד (U.S Forest Service Glossary, 2015).

יער מעורב (mixed forest): יער שבו מתפתחים בדו-קיום, לאורך כל מחזור הגידול, לפחות שני מיני עצים, אך השיעור היחסי שהם תופסים יכול להשתנות עם השנים (Bravo-Oviedo, Pretzsch, Ammer et al., 2014).

יער רב-שכבתי (multi-layered forest): יער המכיל לפחות שלוש שכבות. למשל, אורנים בשכבה העליונה, מיני חורש רחבי עלים בשכבת הביניים ושיחים ועשבונים בשכבה הנמוכה.

יער חד-גילי (even-aged forest): יער שהוא תוצר של נטיעת שתילים באותה שנה או של התחדשות טבעית, למשל אחרי שריפה.

יער רב-גילי (uneven-aged forest): יער המכיל לפחות שתי קבוצות גיל, למשל עצים ותיקים מעטים מהדור הראשון ועצים צעירים יותר מנטיעה או מהתחדשות טבעית של הדור השני של היער.

יער מגוון: יער מעורב רב-גילי ורב-שכבתי.

מבוא

ממשק היער הבוגר בישראל מיועד להבטיח התפתחות מאוזנת של העצים ולעודד היווצרות של יער בר-קיימא בעל חוסן ועמידות בפני עקות וגורמי נזק שונים, שצפויים להתגבר בשל שינויי האקלים. למגוון הביולוגי (biological diversity) של מיני העצים, השיחים והעשבונים ביער תפקיד

(Pinus brutia) וברוש מצוי (*Cupressus sempervirens*). אולם בפועל, עיקר הטיפול בדילול זריעים ביערות קק"ל בוצע בעת חידוש חלקות של אורן ירושלים, המין המחטני הנפוץ ביותר ביערות הארץ, שכן הוא נפגע מגורמי נזק המיוחדים רק לו, כמו כנימת המצוקוקוס הא". כמו כן, הוא ניזוק יותר משריפות, בשל קליפת הגזע הדקה שלו, ושכירות בשל הצטברות שלג בכותרות, בהשוואה למיני אורן אחרים.

ביער של אורנים מקובל להבחין בין חידוש יער לאחר שריפה, לחידוש שבא לאחר כריתה בשל גורמי נזק אחרים או לשם חידוש היער בסוף מחזור הגידול שלו (שילר, 1978; Osem, Yavlovich, Zecharia et al., 2013). סוף מחזור הגידול בחלקות מבוגרות של אורן ירושלים נטוע, שגילן עולה על 50 שנים, מאופיין בהתקמות ובנטייה הדרגתית הצידה של העצים ונפילה גוברת והולכת שלהם, שנובעת מהרבה מקרים מצפיפות יתר של היער בשלבי ההתפתחות המוקדמים.

אורן ירושלים הוא המין אשר צפיפות ההתחדשות הטבעית שלו לאחר שריפה היא הגבוהה ביותר בהשוואה למינים מחטניים אחרים, כמו אורן ברוטיה וברוש מצוי. צפיפות הנביטה, שהתקבלה לאחר שריפה ביער טבעי של אורן ירושלים, שהתחוללה בכרמל באוקטובר 1989, ירדה בתוך שנה וחצי מעשרות עד ל-13 למ"ר וכעבור חמש שנים מהשריפה ירדה הצפיפות עוד והגיעה לארבעה זריעים למ"ר, (4,000 לדונם), (נאמן, 1996). שילר (1978) מצא, שככל שמועד השריפה קרוב יותר לגשמי הסתיו הראשונים, שבעקבותיהם חלה הנביטה, כך גדל מספר הזרעים שלא נאכלים על ידי נמלים ואוכלי זרעים וצפיפות הנביטה צפויה לגדול. ספיר וכרמל (2010) פיתחו מודל לחיזוי ההתחדשות של אורנים ורחבי עלים לאחר שריפות בחלקות יער נטוע בגליל. הם מצאו שאורנים התחדשו בעיקר בקרקעות רנדזינה בהירה לאחר שריפות שפרצו בקיץ ולא באביב, ואילו רחבי עלים התחדשו בקרקעות טרה רוסה.

צפיפות ההתחדשות הטבעית של אורן ברוטיה נופלת כאמור מזו של אורן ירושלים, אך היא גבוהה דיה כבסיס לדור שני של יער לאחר שריפה. בונה ואבלגון (1994) מצאו, ששנתיים לאחר שריפה ביער אשתאול בחלקת אורן ברוטיה, המוקפת בחלקות של אורן ירושלים, 63% מהזרעים, שצפיפותם הממוצעת הגיעה ל-450 לדונם, היו של אורן ברוטיה, והשאר היו זריעים של אורן ירושלים, שזרעיו הגיעו מהחלקות הסמוכות של מין זה שנשרפו. כמו כן, הם מצאו שבשני המינים הנביטה נמשכה גם בשנה השנייה, בה נבטו 12% מסך כל הזרעים של אורן ברוטיה ו-27% מסך כל הזרעים של אורן ירושלים. פרי (2009) מצאה בדומה, שצפיפות הזרעים שלוש שנים לאחר שריפה בחלקת אורן ברוטיה ביער ביריה הגיעה ל-530 לדונם, ושהנביטה נמשכה לאורך שלוש השנים, למרות שמרבית הזרעים נבטו בשנה הראשונה לאחר השריפה.

חשוב בהגברת החוסן של המערכת האקולוגית של היער, ויכולתה להתאושש לאחר עקות והפרעות מסוגים שונים (Thompson, Mackey, McNulty et al., 2009). חוקרים אלה מציינים שגם **למורכבות המבנית** (structural complexity), הנקבעת על פי שילוב של **הפריסה האופקית** של עצים ממינים, גילים וצפיפויות שונים, ו**הפריסה האנכית** של נוף העצים והשיחים מהמינים השונים לשכבות נפרדות, תרומה חשובה להגברת החוסן והעמידות של היער. בנוסף לכך, הם מציינים, שחשוב שהמורכבות המבנית תבוא לידי ביטוי גם ברמה המצומצמת של עומד היער, אולם גם ברמה הרחבה יותר של נוף היער כולו (landscape scale), כך שיכלול פסיפס של עומדים וכתמים בעלי מאפיינים שונים וכן קרחות יער. להיבט הנופי של היער המגוון יש לא רק חשיבות אקולוגית. נמצא, שציבור המבקרים ביערות קק"ל מעדיף לחזות בנוף שבו מגוון של מיני צומח וכן מורכבות מבנית, כלומר שילוב של גבהים, צבעים וצורות שונים (משגב, 1994). השינויים במדיניות הייעור של קק"ל מ-1990 באו לתת מענה לפגיעה שנגרמה ליערות נטועים רבים מגורמי נזק שונים, כמו שריפות, מזיקים ויובש מתמשך, וכן לפיגור הרב בטיפול הדילול ביער הצעיר, שאינם כלכליים. פיגור זה יצר ביערות צפיפות יתר שהפחיתה עוד יותר את עמידות העצים לגורמי הנזק השונים והביאה להזדקנות ולהתנוונות מוקדמת שלהם. לפיכך, הוצע להגדיל את מגוון המינים בנטיעת היערות ולבצע דילולים בררניים ביער הצעיר והבוגר במטרה לעודד את ההתפתחות של מיני החורש הטבעי בתת היער ולהגדיל את מרחב המחיה של העצים בכל שלבי התפתחות היער (בונה, 1990). גינסברג (2003), המליץ על טיפולים יעריניים נקודתיים להחלפתו ולגיוונו של מבנה היער, טיפוח עצי תת היער והשאתת כתמים לא נטועים. אוסם, ברנד, טאובר ואחרים (2012) ציינו את החשיבות של דילול היער ככלי עיקרי לעיצוב יער בר-קיימא לנוכח שינויי האקלים הצפויים. המטרה של חלק ג' של הסקירה בנושא השינויים בממשק היער הנטוע באזור הים-תיכוני בישראל, היא לפרט את השינויים באופן ביצוע הפעולות היעריניות העיקריות, המבוצעות בשלבים השונים של התפתחות היער הצעיר והבוגר, ואת הקשרן לעידוד ההתפתחות של יער מגוון. כמו כן, נסקרים הגורמים המרכזיים לפגיעה ביער, שבעטיים נדרש, לעתים קרובות, חידוש היער, והאופן שבו חידוש היער שימש כלי מרכזי לשינוי חלקות רבות של יער חד-מיני וחד-גילי, בעיקר של אורן ירושלים, לחלקות שבהן יער מגוון.

דילול זריעים של אורנים וברושים

במהלך חידוש יער נטע אדם מחטני, שנפגע מגורמי נזק שונים, מתפתחת, לעתים קרובות, נביטה צפופה של המינים המחטניים העיקריים שניטעו בו: אורן ירושלים, אורן ברוטיה



תמונה 1: זרעיי אורן ירושלים שהתפתחו באופן טבעי בכתמים של 1.5 x 1.5 מ' אשר רוססו במונעי נביטה סביב לגדמים גדולים של עצי אורן ירושלים, שנכרתו במסגרת חידוש חלקת יער בגלבוץ (צילום: עמרי בונה, 2016).

Picture 1: Natural regeneration of *Pinus halepensis* seedlings in patches (1.5 x 1.5 m) around large Aleppo pine stumps treated with herbicides to prevent competition with weeds and enhance seedling survival, in a dry habitat on Mt. Gilboa. Patches around large stumps represent the best niches on site (Photo: Omri Bonne, 2016).



תמונה 2: חיתוך ועקירה של זרעיי אורן ירושלים שהתפתחו בחלקה שבה ניטעו עצי חורש טבעי במסגרת חידוש יער בן 55 שנים של אורן ירושלים שהתנוון בגלבוץ (גיל שתילי החורש שלוש שנים) (צילום: עמרי בונה, 2016).

Picture 2: Cutting and uprooting natural regeneration of *Pinus halepensis* that developed in a 3-year-old stand of native broadleaves that were planted to replace an aging and declining 55-year-old pure first forest generation Aleppo pine stand (Photo: Omri Bonne, 2016).

שיעור הנביטה וההתחדשות הטבעית ביער מחטני נטוע, שלא לאחר שריפה, תלוי בתנאי בית הגידול: סוג הקרקע, כמות המשקעים והמפנה. שילר (1978) מצא, שהנביטה וההתבססות של זרעיים של אורן ירושלים הייתה רבה יותר בקרקעות רנדזינה על מסלע גיר קשה למחצה וקירטון, בכמות משקעים שנתית גבוהה ובמדרונות בעלי מפנה צפוני, ואילו בקרקעות טרה רוסה, המתפתחות על מסלע גיר קשה ודולומיט שאינו מכיל מים, כמו הקירטון הרך, תאחיזת המים הנמוכה בשכבת הקרקע העליונה והתחרות עם הצמחייה החד-שנתית העשירה המתפתחת עליהן הקטינו במידה רבה את שיעור הנביטה וההתבססות.

אוסם (2012), שבדק את שיעור ההתחדשות הטבעית של ברוש מצוי בתנאי בית גידול שונים, שלא לאחר שריפה, מצא שההתחדשות הטבעית מושפעת באופן חיובי מכמות המשקעים השנתית, והיא רבה יותר בבתי גידול שבהם המסלע הוא קירטון וחואר מאשר במסלע של גיר קשה ודולומיט.

שילר (2013) קבע, שלשם חידוש טבעי של יער אורן ירושלים עם תום מחזור הגידול, יש להשאיר 10 עצי אם לזרעים לדונם, אשר ייכרתו לאחר שתסתיים תקופת חידוש היער ויתקבלו כ-200 זרעיים טובים לדונם, תקופה שצפויה להימשך כחמש שנים. להמלצות דומות, באשר לצפיפות העצים שיש להשאיר בכריתה לשם חידוש היער, הגיעו גם אוסם ואחרים (Osem, Yavlovich, Zecharia et al., 2013). הם גם מציינים, שבהמשך לכריתה לחידוש היער נדרשים טיפולים לדיכוי הצומח העשבוני, ככל שכמות המשקעים פוחתת, על מנת להבטיח הצלחה של ההתחדשות הטבעית. ואמנם, בחידוש יער שלא לאחר שריפה, בקרקעות טרה רוסה יובשניות, מומלץ לרסס במונעי נביטה סביב הגדמים הגדולים ביותר שנותרו לאחר כריתת העצים של הדור הראשון, בנקודות שמהוות ככל הנראה את הנישות האיכותיות ביותר להתפתחות עצי הדור השני של היער, ובכך לעודד ולהגביר את הישרדותם (תמונה 1). כאשר צפיפות ההתחדשות הטבעית של אורן ירושלים בשנה הראשונה לאחר הכריתה גבוהה (מעל 500 זרעיים לדונם), יש לשקול ביצוע דילול מוקדם של הזרעיים. כאשר מדובר בחידוש באמצעות נטיעה, כמו למשל, בחלקות גדולות ורצופות של אורן ירושלים, דילול מוקדם מאפשר לצמצם באופן משמעותי את צפיפות הזרעיים שסביב השתילים שניטעו. לעתים קרובות, נחוצים שני מחזורי דילול של זרעיי אורן ירושלים עד לגיל 5-8 להשגת עומד רב-מיני, שבו משלבים זרעיים של אורן ירושלים בכתמים שבהם הנטיעה לא הצליחה. דילול מוקדם של זרעיי אורן ירושלים, כאשר צפיפות התחדשותם הטבעית גבוהה, נחוץ גם כאשר מדובר בחידוש טבעי של אורן ירושלים ללא נטיעה.

ניתן לדלל את הזרעיים באופן ידני באמצעות תלישה או ניכוש שלהם כל עוד הם קטנים (תמונה 2). בונה (1993) המליץ לבצע טיפול מוקדם זה בעת חידוש חלקות אורן ירושלים,



תמונה 3: התחדשות טבעית של מיני מחטניים שונים בגיל 6 שנים ביער עין חיק לאחר השריפה של 2010 בכרמל. הזרעים הם של אורן ברוטיה, ברוש מצוי ואורן ירושלים (שפרט אחד שלו התייבש ומת כתוצאה מהתקפת המצוקוקוס הא"י) (צילום: עמרי בונה, 2016).

Picture 3: 6-year-old natural regeneration of *Pinus brutia*, *Cupressus sempervirens* and *P. halepensis* after the 2010 fire on Mt. Carmel (one Aleppo seedling attacked by *Matsucoccus josephi* is dead) (Photo: Omri Bonne, 2016).

האפשר לצוואר השורש, כדי למנוע את התחדשות הצמיחה של הזרעים מהענפונים התחתונים. בשטחים גדולים ונוחים לעבודה מכנית ניתן לבצע את דילול הזרעים באמצעות מכסחת פטישים שתי וערב, כשלב ראשון, שלאחריו נדרשת פעולה ידנית זהירה, שמאפשרת לשחרר את הזרעים המצטיינים מתחרות עם זרעים של אורנים הסמוכים להם. דילול זרעים מתקיים גם באופן טבעי כתוצאה מיובש והתחרות הרבה בין הזרעים הצפופים ובשל פגיעת המצוקוקוס הא"י. מנדל ואחרים (מנדל, עשאל, זהבי ואחרים, 1996) מצאו, שבארבע השנים הראשונות לאחר שריפה של יער טבעי של אורן ירושלים בכרמל, יש קטילה המונית של הזרעים, שהתפתחו בעקבותיה על ידי כנימת המצוקוקוס, ועלול להיווצר מצב שבו בשטחים מסוימים לא יישארו מספיק זרעים לשם חידוש היער. עם זאת, הם המליצו לא להתערב, ושיערו, שבעקבות לחצי הברירה, הזרעים שיוותרו עשויים להיות עמידים יותר בפני המצוקוקוס מהדור הקודם של עצי אורן ירושלים. גם פרבולוצקי, נאמן ושילר (1996) סברו, שאין לבצע דילול זרעים במשך 5-7 השנים הראשונות שלאחר השריפה ביער הטבעי של אורן ירושלים בכרמל. הם שיערו,

שנכרתו בשל פגיעת המצוקוקוס הא"י ויש רצון לחדשן עם מינים אחרים שאינם רגישים לכנימה, בשנה הראשונה או השנייה שלאחר הנטיעה. טיפול במועד מוקדם זה יותר קל וזול לביצוע, שכן הזרעים עדיין קטנים וניתן להבדיל בקלות בינם לבין שתילי המחטניים שניטעו. על כך ניתן להוסיף, שתלישה ידנית בחודשים פברואר-מרס, כ-15 חודשים לאחר התחלת הנביטה של זרעי אורן ירושלים, כאשר הקרקע רטובה, נוחה ומהירה במיוחד. לאחרונה, מומלץ בשטחים שבהם צפויה התחדשות צפופה, לבצע במסגרת חידוש היער בנטיעה, ריסוס במונעי נביטה רק סביב השתילים הניטעים ולא על כל השטח, כך שהתחרות בין זרעי אורן ירושלים והעשבייה, שתתפתח בין השתילים, תמנע את ההתבססות של רובם, ותגביל את הצורך בתלישת הזרעים בעיקר לסביבת הבורות שרוססו במונעי נביטה.

כאשר דילול הזרעים מבוצע בשלב מאוחר יותר (תמונה 3), ועובי בסיס גזעם עולה על ס"מ אחד, ניתן לבצעו באמצעות מזמרות, מזמרות ענפים בעלות ידיות אחיזה ארוכות, חרמשים מכניים עם דיסק או מכסחת פטישים הרתומה לטרקטור. בשלב הזה, חשוב שהגזע או הכיסוח יהיו סמוכים ככל



תמונה 4: חלקה של יער מעורב בגיל 14 שנים (יער חורשים חלקה 1/101), שבה בוצע גיזום ראשון (ואחרון) לגובה שני מ' יחד עם הדילול הראשון, שבו הופחתה צפיפות העצים מ-120 ל-50 עצים לדונם (עוצמת דילול של כ-60%) (צילום: עמרי בונה, 2016).

Picture 4: First (and last) pruning that was carried out together with the first thinning to a height of 2 m in a 14-year-old mixed plantation. Stand density was reduced from 120 to 50 trees/dunam (thinning intensity 60%) (Photo: Omri Bonne, 2016).

העצים מדחיית הגיזום בשל ההצללה של הענפים התחתונים, המונעת התפתחות עשבים המתחרים בעצים ומפחיתה את הצורך בניכוש. יוספי (1973) ציין שתי מטרות חשובות נוספות לגיזום ביער המתבגר: הפחתת סכנת השריפות ומניעה וצמצום אוכלוסיית המצוקוקוס בעצי אורן ירושלים, המתעצמת תמיד בענפים התחתונים ומתפשטת משם לכיוון הצמרת. יוספי המליץ על שלושה שלבי גיזום: הראשון, בגיל 3-4 כשגובה העצים עד מטר אחד ובו גוזמים את שני הדורים התחתונים; גיזום שני, של השליש התחתון של נוף העצים, המבוצע בגיל 6-8, וגיזום שלישי ואחרון, שבו גוזמים את החצי התחתון של נוף העצים כשגובהם 3.5-4.5 מ'. הוא המליץ לשלב במהלך שני הגיזומים האחרונים דילול של עצים נחותים.

ההפחתה הרבה בצפיפות הנטיעה והמעבר לנטיעה של יער מעורב בעקבות התכנית המעודכנת לממשק היער של 1990, הביאו גם להפחתה במספר הגיזומים לאחד או שניים. הגיזום הראשון נדחה בדרך כלל לגיל 10-15 והוא שולב עם הדילול הראשון (תמונה 4). דחיית הדילול והגיזום הראשון ביער הנטוע המעורב עשויה להפחית את הפגיעה מרעייה

שעקב התמותה הגבוהה של זריעי אורן ירושלים, שהיא ביטוי לברירה טבעית, יישארו הפרטים המותאמים ביותר לתנאי הסביבה. המגרעת בגישה זו היא הצורך בהשקעת עבודה רבה בדילול ובפינוי של זריעים, שהם כבר מפותחים יותר, אם הם נותרים צפופים.

החשש מנזק לזריעים כתוצאה מרעייה, יכול להיות סיבה נוספת לדחיית דילול הזריעים, במיוחד במינים הרגישים לרעייה, כמו אורן ירושלים וברוש מצוי.

גיזום וטיפול בגזם

הגיזום ביערות קק"ל בוצע כדי להשיג עץ איכותי ללא סיקוסים, להמריץ את צמיחת העצים לגובה ולפתוח את היער למשבי רוח מצננים לטובת נופש ומרגוע בו (ויץ, 1970). ויץ, אשר דגל בשיטת הייעור הקלסית, המליץ לבצע את הגיזום הראשון ביער הצעיר כדי למנוע היווצרות סיקוסים, כבר בגיל 2-3 שנים, אז הביצוע נוח וקל וגם אין שאריות גזם מרובות המחייבות פינוי, כפי שקורה כאשר דוחים את הגיזום לגיל 5-6. עם זאת, ויץ הכיר ביתרון הנובע להתפתחות

ב-2012 התרשם, שממשק הטיפול בגזם ביערות קק"ל הוא אינטנסיבי מדי והמליץ להשאיר יותר גזם ביער (אדר ובונה, 2015). גם בתורת הייעור של 2012 מומלץ לא לטפל בגזם כאשר כמותו נופלת מחצי טון לדונם (אוסם, ברנד, טאובר ואחרים, 2012).

דילול

המטרות העיקריות של דילול היער בישראל הן: הגדלת מרחב המחיה והמשאבים הדרושים להתפתחות עצי היער, קביעת הרכב המינים ביער, עיצוב מבנה היער ועידוד הצומח בתת היער (אוסם, ברנד, טאובר ואחרים, 2012). הצפיפות הגבוהה של העומדים ביער, בשל הנטיעות הצפופות והפיגור בביצוע הדילול, במיוחד ביערות הצעירים, צוינו כאחת הבעיות המרכזיות בממשק הדור הראשון של היער הנטוע בישראל (פלד, 1977; נוי-מאיר, 1987; בונה, 1990; 2015). בנוסף לכך, מן הראוי לציין, שהתחזיות לשינויי האקלים באזור הים-תיכוני מנבאות תקופות יובש ארוכות יותר, גלי חום וקור קיצוניים, יותר שריפות חמורות והתקפות תכופות יותר של מזיקי עצי יער (Lindner, Maroschek, Nethere et al., 2010). לפיכך, הפחתת צפיפות העצים באמצעות דילול עשויה לשמש צעד מונע, שיגביר את החוסן והיציבות של היער (בונה, 1990; Prevosto, Reque, Lucas-Borja et al., 2016; Calev, Zoref, Tzukerman et al., 2015).

על מנת להתמודד עם צפיפות היתר, שאפיינה את היערות הנטועים בארץ עד שנות ה-1980, הומלץ בתכנית המעודכנת לממשק היער מ-1990 להפחית בכ-40% את צפיפות היער בגילים השונים ביחס להמלצות הקודמות. בכך אפשר להגדיל את מרחב המחיה העומד לרשות העצים (טבלה 1) ולהקטין את תדירות הדילול ל-10 שנים במקום שבע שנים (בונה, 1990; 2015). כמו כן, הומלץ לבצע בבתי גידול קשים ולא נגישים, דילול אחד בלבד לאורך המחזור לצפיפות של 45-65 עצים לדונם, אשר יבוצע בגיל 8-12 (או כאשר גובה העצים הנותרים עולה על 2.5-3.0 מ' והם אינם רגישים עוד לנזקי רעייה). ב-1993 נוסף עוד נדבך לתכנית ממשק היער בדמות חלוקתו לשני סוגים: **יער פרודוקטיבי**, המצוי בשטחים בעלי איכות בית גידול ונגישות גבוהים, המיועד לתפוקת עץ בכמות ובאיכות מרביים, מלבד שאר התועלות והשירותים, ו**יער לא פרודוקטיבי**, המצוי בשטחים מדרוניים ולא נגישים, שבו הממשק יהיה המינימלי הכרחי (בונה, 1993; 1994). ממשק מינימלי כזה אמור לכלול דילול אחד לצפיפות נמוכה עוד יותר מזה שהיה בהמלצות הקודמות, בו משאירים 40 עצים לדונם ובשילוב עם גיזום.

חלוקת היער לשני סוגים, שבהם הומלצו ממשקים שונים, הייתה, בין השאר, ביטוי לקושי להשתחרר לגמרי מהפרדיגמה הקודמת של ניהול היער, ולנוכח ההסכם שהתרקם באותו

בעצים הצעירים כאשר קיים לחץ רעייה גבוה ואף לעודד את הצמיחה לגובה של מיני החורש הטבעי, עקב התחרות לאור עם המינים המחטניים (בונה, 2015א).

בשנות ה-90, במקביל להפסקה ההדרגתית באחזקת קווי החיץ האנכיים בשל העלות הגבוהה שהייתה כרוכה בכך, בוצע לאורך דרכי יער ונוף גיזום לגובה של 4 מ', שמטרתו הייתה לשפר את יעילות הדרכים כקווי חיץ מוצלים, להקל על תנועת כבאיות לאורך דרכים אלה, ולשפר את החזות הנופית (בונה, 1992). בונה הציע לבצע את הגיזום הגבוה בשטחים מצומצמים בלבד, כגון חניונים ודרכי יער ראשיות ודרכי נוף, בשל עלותו הגבוהה. לשיפור תנועת הכבאיות לאורך דרכי היער, הוא הציע לגזום רק את הענפים שפונים לדרך.

פעולות הגיזום, הדילול והכריתה מותרות ביער כמויות משתנות של גזם, המורכב בעיקר מענפים ומעט בולי עץ בקוטר נמוך (בונה, 1995). עד שנות ה-90, עיקר הגזם ביערות קק"ל נוצר כתוצאה מפעולות דילול היער, שכלל אז ניקוי של הענפים מהגזע בתוך השטח ומפעולות גיזום של היער, שהיה בדרך כלל צפוף למדי, שהותירו בשטח כמויות משמעותיות של גזם. הגזם המרובה הזה, שהצטבר ביערות קק"ל מפעולות אלו, פונה באותה תקופה לערימות לצדי דרכים וברחבות ביער ושם נשרף בתקופת החורף. על פי רוב זו הייתה עבודה ידנית, שבוצעה על ידי עובדים רבים שהופנו אז לעבודות ייעור על ידי לשכות התעסוקה של משרד העבודה והרווחה. בסוף שנות ה-1990, קק"ל חדלה, ככלל, מביצוע שריפות מבוקרות וגם העסקת עובדים מלשכות התעסוקה נפסקה. באותה תקופה, על פי דרישת קק"ל מקבלני תפוקת העץ, חל גם מעבר הדרגתי להוצאת עצים שלמים מהשטח לרחבות עבודה לאורך דרכים או בשולי היער במהלך הדילול, דבר אשר הפחית במידה רבה את כמויות הגזם שנותרו ביער.

מאז שנות ה-90, עיקר הגזם שנותר ביער נוצר במהלך הגיזום הראשון אשר מלווה, במיוחד בבתי גידול בעלי נגישות נמוכה, בדילול עצים קטנים חסרי ערך כלכלי. ניתן לטפל בגזם זה בבתי גידול שאינם משופעים או סלעיים באמצעות מכסחות פטישים המתקנת על טרקטור. היתרון בשיטה זו הוא, שהחומר האורגני נותר על קרקע היער באופן המאפשר התפרקות מהירה שלו וכך פוחתת הסכנה להתפשטות שריפות. בבתי גידול תלולים במיוחד, אוספים גם כיום, בחלק מהאתרים, את שאריות הגזם לערימות בקרחות ביער ושורפים אותן בחורף. בונה (1995) הציע לשנות את ממשק הגזם ביערות קק"ל ולטפל בו רק לאורך דרכים וקווי חיץ וליד חניונים, כחלק מממשק למניעת שריפות, ולא בכל השטח, והצביע על החשיבות של השארת כמויות של גזם למאזן חומרי ההזנה בקרקע היער. הוא המליץ להפחית את השימוש בשריפות מבוקרות במהלך הכנת שטחים לנטיעה ולהגביר את השימוש במכסחות פטישים בטיפול בגזם. צוות מומחים של שירות הייעור האמריקני שביקר בארץ

צפיפות העצים לדונם בבית גידול באיכות נמוכה צחיח למחצה 250-350 מ"מ Stand density (tree/dunam) Low site quality Semi-arid 250-350 mm			צפיפות העצים לדונם בבית גידול באיכות בינונית ים-תיכוני יבש 350-500 מ"מ Stand density (tree/dunam) Medium site quality Dry Med. 350-500 mm			צפיפות העצים לדונם בבית גידול באיכות גבוהה ים-תיכוני < 500 מ"מ Stand density (tree/dunam) High site quality Sub-humid Med. >500 mm			גיל היער Forest age
אחרי 2012	2012-1990	עד 1990	אחרי 2012	2012-1990	עד 1990	אחרי 2012	2012-1990	עד 1990	
	125	195		125	170		125	150	2
50	83	135	60	70	115	70	60	90	15-10*
35	53	100	40	45	80	45	38	65	25-20*
20	38	70	25	33	55	30	28	45	35-30*
	34	50		29	40		24	30	45
	30	-		25	-		20	-	55

* הגיל הנמוך יותר מתייחס להמלצות של תכנית 2012.

טבלה 1: השינוי בהמלצות לצפיפות הרצויה של העצים ביער באיכויות בית גידול וגילים שונים בתקופות ייעור שונות.

Table 1: The changes in stand density recommendations for different site quality, age and afforestation period in Israel.

כפי שמתבצע בעת יצירת רצועות חיץ למניעת התפשטות שריפות, או בעת דילול פיטוסיטרי להוצאת עצים שנפגעו מהמצוקוקוס הא"י, עשוי לעודד התפתחות צפופה ובטרם עת של זריעי אורנים בתת היער. ככל שמדובר בדילולים השגרתיים, מן הראוי לבחון כיצד להפחית ולמנוע את ההתפתחות של זריעי האורן בתת היער כתוצאה מדילול חריף מידי. לא מן הנמנע, שנדרש למתן את העוצמה של הדילולים הראשון והשני או לדחות את ביצועם במספר שנים, ביחס להמלצות של תכנית 2012. באשר ליצירת קווי חיץ, ראוי לבחון את ביצועם בשלבים ולא בדילול חריף אחד. בכל מקרה, מומלץ לבחון את העידונים האלה, המוצעים בהמלצות לדילול היער באמצעות חלקות מחקר ייעודיות.

הנחיות הדילול שניתנו בתקופות השונות התייחסו בעיקר ליערות הנטועים של הדור הראשון, שהיו ברובם חד-מיניים, חד-גיליים וצפיפותם רבה. היערות המגוונים של הדור השני, אשר ניטעו ברובם בצפיפויות נמוכות יותר, הגיעו בחלקם לגיל 30 שנה ודרושות בהם הנחיות אחרות לדילול, במיוחד בחלקות שניטעו בעירוב אקראי. הדילול במקרים אלה מתבצע תוך קביעת כללים שונים המתאימים לכל שכבת גיל או מין. כך, למשל, כאשר יש עירוב של אורן ירושלים עם אורן ברוטיה, הנוצר בדרך כלל מהתחדשות טבעית לאחר שריפה בחלקות סמוכות של שני המינים או מהתחדשות טבעית של אורן ירושלים בשטח שבו ניטע אורן ברוטיה במקום אורן ירושלים, שנפגע ממצוקוקוס, ההנחיה לדילול בשכבת אורן ירושלים יכולה להיות השארת עצים ממין זה במרחקים של כל 10 מ', ואילו בשכבת אורן ברוטיה באותה חלקה ניתן להשאיר עצים במרחקים של 5 מ' זה מזה.

זמן עם מפעל MDF ואשר חייב את קק"ל להיערך לאספקה שנתית קבועה של עץ למפעל (בונה, 2015). גם ההמלצות לפיהן צפיפות העצים, כפי שמופיעות בטבלה 1, בתקופות שעד 2012, הייתה גבוהה יותר דווקא ככל שבית הגידול היה יותר גרוע ודל משקעים, נבעה מהתפיסה לפיה יש לשמור על חופה מלאה של היער ולהפנות את מרבית משאבי בית הגידול לגדילת העצים ולמנוע את ההתפתחות של תת-יער. סגירת מפעל MDF, בשנת 2001, החלישה מאוד את הגישה שביקשה לעודד תפוקת עץ מרבית בבתי גידול טובים וליצור כיסוי מלא של חופת היער. בתורת הייעור של 2012, צפיפות העצים ברוב שטחי היער (יער נופי) קטנה עוד בצורה ניכרת ביחס לתכנית של 1990, במיוחד בבתי גידול באזור הים-תיכוני יבש ובאזור הצחיח למחצה (אוסם, ברנד, טאובר ואחרים, 2012), (טבלה 1). כמו כן, התהפכה בתכנית של 2012 הגישה באשר לצפיפות היער ביחס לאיכות בית הגידול, ונקבעה צפיפות נמוכה יותר בבתי גידול גרועים, שבהם כמות המשקעים השנתית נמוכה וכושר הנשיאה שלהם נמוך בהשוואה לבתי הגידול האיכותיים יותר, ונזנחה הגישה הקודמת, ששאפה לכיסוי מלא של חופת היער, אשר לפיה דווקא בבתי גידול קשים, שבהם העצים קטנים יותר בגיל נתון, נדרשה צפיפות רבה יותר.

ההפחתה בצפיפות העצים ופתיחה חזקה של חופת היער באמצעות הדילולים ביער המתבגר לטווח שבין 40-45 עצים לדונם כבר בגיל 20, ושל 25-30 עצים לדונם בגיל 30, על פי תורת הייעור של 2012, עלולה להביא להתפתחות זריעים של אורן ירושלים ואורן ברוטיה בתת היער בטרם עת, כפי שצוין על ידי אוסם, ברנד, טאובר ואחרים (2012). גם דילול חריף,

יכולות להיות בעלות אופי נקודתי או בקנה מידה קטן, שבהם נפגע עץ בודד או קבוצת עצים או הפרעות בממדים גדולים, כמו בשריפת ענק. ההפרעות מהסוגים השונים חוזרות בדרך כלל על עצמן בתדירויות משתנות לפי האופי והתנאים של סביבת היער (Rogers, 1996). הממשק המיושם לשם שיקום וחיידוש היער לאחר הפרעה מיועד לקבוע את הרכב המינים ואת הצפיפות של היער בעקבות הנזק והפגיעה שנגרמה לו (Tappeiner & McDonald, 1996).

היערות הנטועים בישראל חשופים לפגיעת גורמי נזק והפרעה שונים אשר בחלקם מחייבים את חיידוש היער. במרחב הצפון בק"ל, המאפיין במידה רבה את החבל הים-תיכוני בישראל, שריפות יער, המצוקוקוס הא"י וסופות השלגים (ב-1992), היו גורמי הנזק העיקריים אשר בעקבותיהם בוצעו נטיעות לחידוש היערות שנפגעו בשנים 1981-2014 (איור 1). גורמי פגיעה נוספים ביער המבוגר היו: יובש מתמשך, התקפת חיפושיות קליפה ופטירות פטוגניות הפוגעות בברוש מצוי.

שריפות יער

שריפות יער הן, כאמור, גורם הנזק העיקרי ביערות קק"ל וצפוי שנוזקן אף יגדל בעתיד עקב התבגרות היערות ועליית הביימוסה בהם וכן בגלל שינויי האקלים ובמיוחד בשל תקופות יובש ממושכות, כמו זו שקדמה לשריפה בכרמל בדצמבר 2010, או לגל השריפות ברחבי הארץ בסוף נובמבר 2016. על פי התכנית המעודכנת לממשק היער, שפרסמה קק"ל ב-1990, אחד היתרונות של היער המעורב המבוגר, שבו הרובד העליון מוחזק על ידי עצי מחט ובתת היער גדלים עצי חורש טבעי, נובע מיכולתם של עצי החורש להאריך ימים, וכשרם להתחדש אחרי שריפה, אשר הופכים אותם לנכסי צאן ברזל של השטח (בונה, 1990). אולם, כאשר ביער המעורב קיים תת-יער סבוך, כמו למשל ביער הטבעי של אורן ירושלים בכרמל או ביערות מחטניים נטועים שבהם התפתח באופן טבעי תת-יער סבוך של רחבי עלים, קיים "סולם" של חומרי בעירה, שעלול להקל על מעבר האש מהקרקע אל כותרות העצים ועל ההתפתחות של שריפות בעוצמה גבוהה (שילר, 2013).

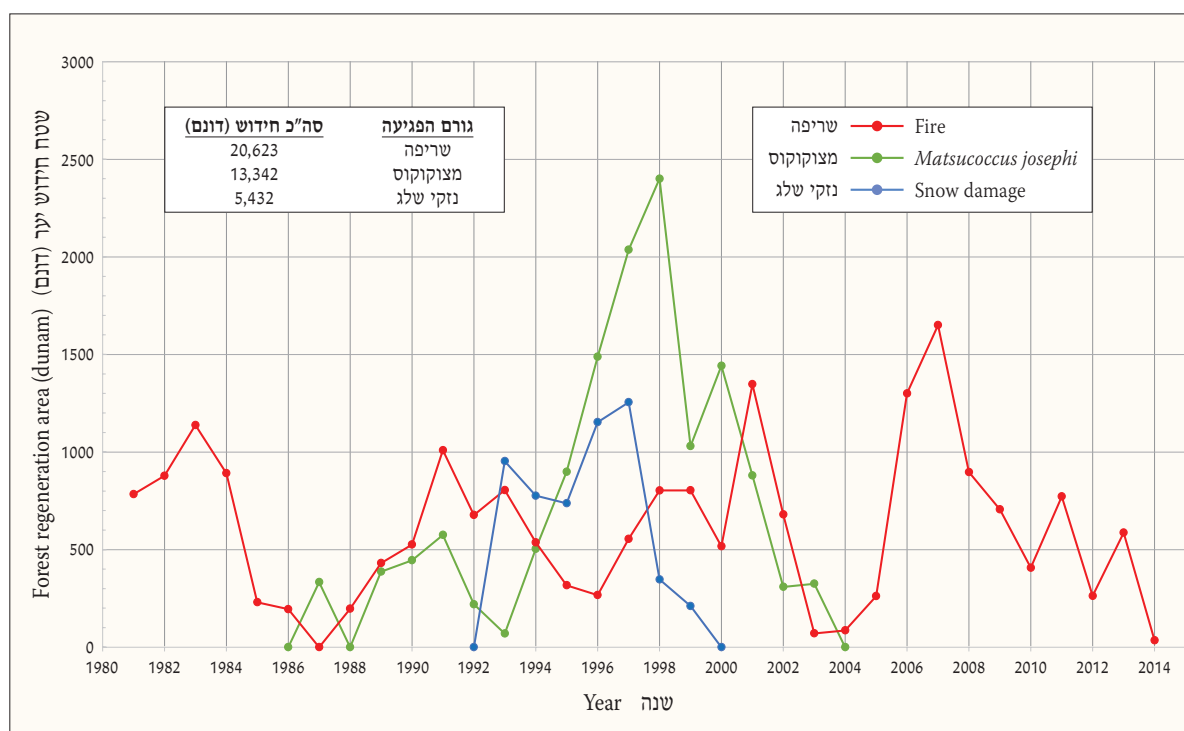
הדליקות של מיני העצים הים-תיכוניים שונה בין מין אחד למשנהו, ונמצא שהיא יורדת מדליקות גבוהה לנמוכה בסדר הבא: אורן ירושלים < אורן ברוטיה < אלון קוקסיפריה (מין אלון הדומה לאלון מצוי) < אורן הצנובר < ברוש אופקי < חרוב מצוי < ברוש צריפי (Xanthopoulos, 2012; Neyisci, 2013). בשל הדליקות הנמוכה של הברוש המצוי בהשוואה למינים אחרים, חוקרים אלה המליצו לנטוע לאורך דרכים ומקומות נבחרים לעצירת האש, רצועות של מין זה כקווי חיץ מוצלים (shaded fuelbreak). חוקרים אלה הצביעו גם על כושרן של רצועות הנטועות בצפיפות עם ברוש מצוי לבלום את מהירות הרוח ואת התקדמות האש, ועל השכבה

כאשר יער היעד הוא יער מעורב של מחטניים ורחבי עלים, פעולת הדילול תתמקד בשכבה של המחטניים ותינתן עדיפות לעצים רחבי-עלים מקומיים ולמינים המחטניים הנדירים יותר באותו תא שטח (בונה, 1990; אוסם, ברנד, טאובר ואחרים, 2012). אוסם ואחרים גם מציעים לעודד יצירת כתמים, שבהם מספר עצים רחבי עלים על ידי דילול האורנים מסביבם ופתיחת מרחב מחייה עבורם.

לצורך קביעת הנחיות לממשק היער, ובמיוחד הנחיות לדילול, בוצעו ביערות הנטועים של קק"ל, החל מ-1976, סקרים באמצעות חוליות ייעודיות בשאיפה לחזור עליהם אחת ל-10 שנים (Spetter, 1989). מחזור הסקר הראשון נעשה בנקודות מדגם קבועות שסומנו בשטח, אך שיטה זו, שהצריכה עבודה רבה באיתור ובחיידוש נקודות המדגם הקבועות, ננטשה לטובת סקר של מדגמים לא קבועים. עוצמת הדגימה נעה בין 0.5 ל-1.0 אחוז מהשטח. הנתונים שנאספו בכל נקודת מדגם כללו: צפיפות, הרכב המינים, גובה וקוטר של העצים וכן פרטים על סוג הקרקע, המפנה, אחוז הכיסוי של תת היער, ועוד. נתונים אלה אפשרו לקבוע את המועד ואת עוצמת הדילול הדרושים בכל חלקת יער, להעריך את תפוקת העץ הצפויה ולהכין תכניות עבודה שנתיות, כמו גם את המפרטים למרכזי תפוקת העץ. המדגמים הרבים שבוצעו על ידי חוליות הסקר, בתוספת מדידות מפורטות של עצים שנכרתו, אפשרו פיתוח של כלים מתקדמים לניהול היער, שכללו טבלאות נפח למינים העיקריים (Spetter, 1989), וכן טבלאות יכול לאורן ירושלים (בונה, 1994א; Roehle, 1992). נתוני הסקר של חלקות אורן ירושלים ברחבי הארץ מאפשרים גם לקבוע את איכות בית הגידול באותן חלקות על פי הגובה העילי של העצים, אשר משמש מדד מקובל לקביעת איכות בית הגידול, כפי שנעשה למשל באזור מנשה-שרון (סלינגר, דניסיוק, טאובר ואחרים, 2006). לכן, ישנה חשיבות להכין על פי מדגמי סקר היערות מפות של איכות בתי הגידול בכל הארץ. אמנם ניתן לייצר מפות כאלה רק לחלקות הנטועות באורן ירושלים, אך מאחר שזה המין העיקרי שניטע על פני שטחים נרחבים, ניתן לקבל בדרך זו מידע רב ערך, שימש לצורכי ממשק מרבית שטחי היער עוד שנים רבות קדימה.

גורמי הפרעה שונים ביערות הנטועים בישראל ואופן חיידוש היער בעקבות פגיעתם

הפרעות ביער (Forest disturbances) הם אירועים אשר משפיעים על המבנה והרכב המינים בו. אירועים אלה יכולים להיות אביוטיים, כמו שריפות יער, יובש מתמשך וסופות שלג, או ביוטיים, כמו פגיעה של מזיקים וגורמי מחלות עצי יער, או הפרעות שנגרמות מהחלטות ממשק, כמו כריתה מלאה, נטיעת מילואים וביצוע שריפה מבוקרת. ההפרעות



איור 1: היקפי חידוש יער בנטיעה כתוצאה מפגיעת גורמי נזק עיקריים ביערות מרחב הצפון בשנים 1981–2014.
Figure 1: Reforestation area due to major disturbances in the northern region forest in the years 1981–2014.



תמונה 5: יער מגוון שנוצר מחידוש בנטיעה לאחר שריפה ביערות הקשת הגדולה (חלקה 23/105) ובו פזורים שרידים של אורן ירושלים וברוש מצוי בני 80 שנה מהדור הראשון, ששרדו את השריפה ועצים ממיינים מחטניים ורחבי עלים שונים בני 14, שניטעו במסגרת חידוש היער (צילום: עמרי בונה, 2016).

Picture 5: Mixed two-aged planted forest with scattered 80-year-old Aleppo pine and cypress trees that survived a fire and various 14-year-old conifers and native broadleaves that were planted after the fire (Photo: Omri Bonne, 2016).

הקומפקטית והבלתי דליקה שיוצרים קשקשי העלווה היבשים שלו, הנושורים ומצטברים על קרקע היער. ההמלצה לנטוע רצועות ברושים כחיץ ירוק לעצירת התפשטות שריפות מיושמת בחלק מתכניות הנטיעה של קק"ל והוכיחה את עצמה בלא מעט מקרים (תמונת השער). מן הראוי להרחיב את השימוש בה.

מדי שנה פורצות ביערות קק"ל בממוצע כ-700 שריפות יער אשר ברובן גודל השטח השרוף קטן מ-10 דונם (Bonneh, Ginsberg & Woodcock, 2003). עד סוף שנות ה-90 של המאה הקודמת היה נהוג לבצע ביערות קק"ל כריתת "הצלה" (salvage cutting), בסמוך ככל האפשר למועד השריפה, במטרה לנצל את הערך הכלכלי של העץ השרוף לפני שהוא נתקף על ידי מזיקים ופטריית (blue stain fungi) (בונה, 1996). בהמשך, התגבשה המלצה לזנוח את הגישה של כריתות הצלה ולהמתין לפחות עונת חורף אחת ממועד השריפה ועד לביצוע הכריתה. השינוי בגישה נבע מהרצון לאפשר בחינה של מידת ההתאוששות של עצים שנפגעו באופן חלקי בשריפה קודם לכריתה ולצמצם את סחף הקרקע הצפוי מחשיפת השטח בסמוך לאחר השריפה. על הגישות לשיקום היערות לאחר שריפות הרסניות במיוחד שהיו בישראל ניתן ללמוד גם מעבודותיהם של אשכנזי (2004) לאחר השריפה בכרמל ב-1989, אהרונסון וקפלן (1997) לאחר השריפה בשער הגיא ב-1994 ופרבולוצקי, בונה, זלוצקי ואחרים (2011) לאחר שריפת הכרמל ב-2010.

מכרעת על מדיניות הייעור בארץ, הפסקה כמעט מוחלטת של נטיעת אורן ירושלים ומעבר לנטיעת יערות מעורבים. תצפיות ראשונות בפגיעה של כנימת המצוקוקוס הא"י בעצים צעירים של אורן ירושלים נרשמו כבר ב-1935 ביער משמר העמק ובהמשך ביערות מרכז הארץ (גולן, מדר ומנדל, 1983). באותה תקופה היה מקובל שמדובר ב"מחלת ילדות" של אורן ירושלים, ושעצים מעל לגיל 15 אינם נתקפים על ידי המזיק, אך תמותת העצים שהופיעה ב-1972, ביערות שער הגיא בגילים 23-54, הביאה להבנה שמדובר באיום הרבה יותר חמור ליערות הנטועים של אורן ירושלים. גולן, מדר ומנדל (1983) אפיינו שני סוגי נזק עיקריים של המצוקוקוס לעצי אורן ירושלים: **נזק כרוני** – המתבטא בהתייבשות של הענפים התחתונים, המופיעה בחלק מהעצים ואשר מתקדמת בקצב איטי יחסית כלפי מעלה. חומרת הפגיעה שונה מעץ למשנהו והפגיעה יכולה להימשך תקופה ארוכה (עשרות שנים) מבלי לגרום לתמותת העצים, ו**נזק "אפידמי"**, המתבטא בהתייבשות מהירה של מרבית קודקודי הגדילה ברוב, אם לא בכל העצים, אשר מביאה להתנוונות מוחלטת ותמותה מהירה (בתוך שנה-שנתיים) של מרבית העצים. חומרת הנזק הוגדרה בסקרי הנגיעות על פי שלוש דרגות: נזק קל – עד שליש מהנוף התחתון נפגע; נזק בינוני – עד שני שליש מהנוף התחתון נפגע; נזק קשה – מעל שני שליש מנוף העץ נפגע. ב-1998 כאשר נזקי המצוקוקוס החמירו, נוספו לדרגת הנזק הקשה שתי דרגות נוספות על פי אחוזי העצים המתים בעת הסקר (עד, ומעל 20% תמותה).

גיוס של העצים הצעירים לפני, ואף בתחילת הפגיעה של המצוקוקוס בענפים התחתונים, היווה שיטה עיקרית לעצירת פעילות המזיק ביערות עד גיל 10. כאשר הנזק התפתח ביערות מבוגרים יותר בצורה כרונית, בוצע דילול פיטוטניטרי, שבו נכרתו העצים הפגועים ביותר מתוך כוונה לעצור בכך את המשך פגיעת המצוקוקוס, אך לעתים קרובות לא היה די בדילול פיטוטניטרי אחד, והיה צורך לחזור עליו כל מספר שנים. כאשר הנזק היה אפידמי, נדרשה כריתה מלאה של עצי אורן ירושלים שנפגעו. מקובל היה להשאיר עצים בודדים שלא נפגעו, מתוך תקווה לשמרם כמקור אפשרי של

העובדה שמרבית שריפות היער משתרעות, כאמור לעיל, על שטחים קטנים, ובחלקן גם לא נגרמת תמותה של כל העצים שנחשפו לאש, מאפשרת בהרבה מקרים לטפח במהלך שיקום היער השרוף, כתמים, שבהם הגיל ולעתים גם הרכב המינים שונה מאשר ביער שלא נפגע בשריפה, באמצעות חידוש טבעי של השטחים שנפגעו. אולם, כאשר שטח השריפה גדול ומידת ההתחדשות הטבעית של היער, ובמיוחד של מינים רחבי עלים, נמוכה, חשוב כמובן גם לטעת לשם חידוש היער (תמונה 5).

במלחמת לבנון השנייה נשרפו יערות נטועים רבים בגליל העליון, ונוצרה הזדמנות ליישם את העקרונות של ייעור בר-קיימא הלכה למעשה במהלך שיקום היערות שנפגעו. צוק (2013) סיכם את הפעולות שבוצעו במהלך שיקום חלקות היער שנשרפו במלחמת לבנון השנייה ביערות הרי נפתלי וביריה (כ-9,000 דונם) על פי עקרונות של ייעור בר-קיימא כדלקמן:

1. ב-55% בלבד משטח היער שנשרף בוצעו כריתות מלאות וזאת לאחר המתנה של חורף אחד לבחינת מידת ההתאוששות של העצים. לא טופלו שטחים תלולים ולא נגישים, ובחלקות שבהן העצים נפגעו באופן חלקי בוצעה כריתה ברירנית של עצים מתים בלבד וכאלה שפחות משליש מנופם נותר ירוק.
2. ב-40% מהשטח שנכרת, במיוחד בעומדים של אורן ברוטיה וברוש מצוי, בוצע חידוש טבעי. בשאר השטח, שהיה נטוע ברובו באורן ירושלים, בוצעה נטיעה של יער מעורב, בעיקר של מינים רחבי עלים שהיוו 75%-1 ו-48% מהשתילים שניטעו במהלך חידוש יערות ביריה והרי נפתלי בהתאמה, כאשר שאר השתילים היו של מינים מחטניים.

המצוקוקוס הא"י

היקף הפגיעה של המצוקוקוס הא"י הייחודית לעצי אורן ירושלים מהווה, נכון להיום, את הגורם השני בחשיבותו שבעטיו נדרש לחדש יערות נטועים באזור הים-תיכוני בישראל. עם זאת, לפגיעה הקשה והמתמשכת באורן ירושלים, מין העץ העיקרי שניטע עד לשנות ה-1970, הייתה השפעה

סה"כ שטח ניוזק Total damaged area	שטח יער שנפגע (דונם) לפי דרגת הנזק Damaged forest area (dunam) by degree			מרחב קק"ל KKL Region
	קשה – Severe	בינוני – Medium	קל – Light	
15,089	5,112	3,311	6,666	צפון – North
57,463	9,360	12,964	35,139	מרכז – Central
72,552	14,472	16,275	41,805	סה"כ – Total

טבלה 2: סיכום סקר נזקי המצוקוקוס הא"י בחלקות אורן ירושלים ביערות ישראל (יוני, 1991)

Table 2: Summary of *Matsucoccus josephi* damage to Aleppo pine forests in Israel (June, 1991)



תמונה 6: התחדשות טבעית צפופה של אורן ירושלים בגיל 12 שנים, שנוצרה כתוצאה מפתחה חזקה של חופת היער במהלך דילול פיטוסניטרי, שבוצע בעצי אורן ירושלים שנפגעו ממצוקוקוס ובו הושארו עצים שנפגעו באופן קל או בכלל לא, בצפיפות נמוכה של 5-20 עצים לדונם. העצים שהושארו מטילים צל חלקי על הזריעים שהתפתחו תחתם ולכן אלה צמחו לגובה בצורה לא מאוזנת (צילום: עמרי בונה, 2016).

Picture 6: Dense 12-year-old *Pinus halepensis* natural regeneration that developed due to excessive opening of the forest canopy during selective thinning of Aleppo pine trees heavily infested by *Matsucoccus josephi*. The semi shade of the remaining trees that were not damaged and cut, in densities of 5–20/dunam caused rapid unbalanced seedling height growth (Photo: Omri Bonne, 2016).

המתפתחים בצורה לא מאוזנת לגובה, בשל הצל החלקי של העצים שנותרו (תמונה 6).

ואכן, בחלקות רבות של אורן ירושלים מבוגר (מעל גיל 25 שנה), שבהן אופי התפתחות המצוקוקוס היה כרוני ודרגת הנזק הייתה קלה-בינונית, אשר בוצעו בהן במשך השנים דילולים פיטוסניטריים בעוצמה גבוהה להוצאת העצים הפגועים, נותרו עצים בצפיפות נמוכה של 10-20 עצים לדונם. כתוצאה מפתחת חופת היער לחדירת אור, החלו להתפתח בתת היער זריעים רבים של אורנים, ותהליך ההתחדשות הטבעית של היער החל בטרם עת ומבלי שהייתה כוונה לכך. התפתחות זריעי האורנים מושפעת מאוד מעוצמת ומהרכב (ספקטרום) ההארה בתת היער (שילר, 1978), ולכן צפיפות של 10 עצי אם לזריעים לדונם, אם הם אינם נכרתים בתום תקופת חידוש היער, עלולה לפגוע בהתפתחות הרצויה של הזריעים. בצפיפות זו, הזריעים המתפתחים מתחת לעצים, צומחים במהירות ובצורה לא מאוזנת לגובה (תמונה 6), ולא

אורן ירושלים עמיד לכנימה, וכמובן שנותרו עצים ממינים אחרים שגדלו באותה חלקה.

לאחר הגל הראשון של פגיעת המצוקוקוס הא"י בשער הגיא, בראשית שנות ה-1970, התפרץ המזיק בראשית שנות ה-1980 ביערות נוספים במרכז הארץ וביערות מנשה, קריית אתא ורמת יוחנן בצפון. מאז, במשך 20 השנים הבאות, היקף השטחים שניזוקו הלך ועלה במרבית היערות במרחב המרכזי וביערות שממערב לקו פרשת המים בצפון הארץ (טבלה 2). מאמצע שנות ה-90 המצוקוקוס התעצם גם ביערות שחריה, אמציה ולהב במרחב הדרום. לאור ההחמרה הקשה בנזקי המצוקוקוס, הציע בונה (1991א'), להכין תכנית כוללת לחידוש חלקות אורן ירושלים שנפגעו מהמזיק, ולצמצם למינימום ואף להפסיק כריתות פיטוסניטריות בחלקות שגילן עולה על 25 שנה, שכתוצאה מהן חלה במקרים רבים פתיחה חזקה מידי של חופת היער והתחלה של תהליכים לא מבוקרים של חידוש טבעי של היער מזריעים

בגיל העולה על 15 שנים בסופה של 1968. הוא קבע מדרג של רגישות מיני העצים לנזקי שלגים: אורן ירושלים > אורן ברוטיה > אורן גלעין > אורן כנרי > ארזים. ספיר (1992) העריך, שבחלקות אורן ירושלים בשטח של כ-4,380 דונם, רובן בגליל העליון, קרסו מעל 70% מהעצים ונדרשת בהם כריתה מלאה, ובשטח נוסף של 48,415 דונם נזק חלקי בסופות השלג של 1992. ספיר העריך, שיהיה צורך בכריתת מעל 100,000 טון עץ בחלקות שנפגעו באופן מלא או חלקי. שיקום 5,432 דונם של יערות שנפגעו בגליל (כמעט כפול מההערכה הראשונית), ובמיוחד ביער ביריה, נמשך שש שנים (איור 1). חידוש היער בעקבות נזקי השלגים ביער ביריה, שבו חלה הפגיעה העיקרית בסופות של 1992, בוצע במגמה להחליף את אורן ירושלים באותן חלקות, בשל רגישותו הן לנזקי שלגים והן למצוקוקוס במינים מחטניים ורחבי עלים ולגוון את הרכב המינים ביער. חידוש היער גם היווה הזדמנות לנטוע עצי ארז, שעמידותם לנזקי שלגים היא הרבה ביותר (בונה, הר והראל, 2013).

יובש מתמשך

התופעה של תמותת עצים בסוף כל קיץ עקב היחלשות מנגנוני ההגנה שלהם, ככל שעונת היובש מתמשכת, מוכרת במיני עצים שונים ועוצמתה רבה יותר לאחר מספר שנות בצורת רצופות (סבר ונאמן, 2008; דורמן, סבוראי ופרבולוצקי, 2012) (תמונות 7-8). תופעה זו היא חלק ממגמה עולמית שעלולה אף להתגבר עקב שינויי האקלים (Allen, Macalady, Chenchouri et al., 2010).

עצירת הגשמים בשנים 1998-2000 (הורוביץ ויום-טוב, 2003) גרמה לתמותת עצים בעומדי יער רבים בישראל (טבלה 3). השטח שנפגע באופן מלא הגיע ל-1.5 אחוז משטח היער, אך ביערות מסוימים במרחב הדרום, באזור החצי-צחיח, שיעור השטח שנפגע באופן מלא הגיע גם ל-15-20 אחוז (למשל ביערות כרמים, קוממיות ומגן). בסקר שנערך במרחב הדרום נמצא, שהפגיעה הקשה הייתה במינים ברוש מצוי, קזוארינה, אורן הצנובר, אורן ברוטיה והאיקליפטוסים גומפוצפלה, המקור ואוקסידנטליס. המינים שגילו עמידות יחסית ליובש היו: אורן קנרי, טטרקליניס והאקליפטוסים טורקוטה, סרג'נטי וספוטלטה (קק"ל, 2002).

דגם התמותה של העצים, שנמצא באזור החצי צחיח של יער יתיר בשנת 2010, כתוצאה מיובש מתמשך, לא היה אחיד וכלל עצים בודדים וכתמים של עצים מתים כאשר לתנאי בית הגידול ובעיקר לסוג המסלע והקרע היה משקל מכריע בתמותה או בהישרדות של העצים (פרייזלר, רוטנברג, הר ואחרים, 2016).

נטיעה של מינים ואקוטיפים עמידים ליובש, תוך התאמה ייחודית שלהם לתנאי בית הגידול (סוג המסלע והקרע, כמות

מתפתח דור שני של עצי אורן ירושלים בעלי נוף רחב יותר, שצפויים להיות יותר עמידים ומאריכי ימים.

כאמור לעיל, בחלקות אורן ירושלים, שבהן הפגיעה של המצוקוקוס הוגדרה כאפידימית ודרגת הנגיעות הייתה קשה, נכרתו כל העצים הנגועים. מסיבה זו, נכרתו במרחב הצפון של קק"ל בשנים 1987-2003 (ובעיקר בשנים 1995-2000) 13,342 דונם (טבלה 2). יש להניח, ששטחי היער שנכרתו בשל נזקי המצוקוקוס במרחב המרכזי, שבו היקף השטחים הנגועים במזיק היה גדול במידה רבה, היה לפחות דומה, ובנוסף, בשטחי יער רבים, במיוחד במרחבים מרכזי ודרום, בוצעו דילולים פיטוסניטריים. מראשית שנות ה-2000, פחתו מאוד הנזקים האפידימיים של המצוקוקוס ברחבי הארץ, ונעצרו הכריתות המלאות שנדרשו לחידוש היערות הפגועים. ניתן להבחין מאז בהמשך נגיעות כרונית, בדרך כלל בדרגה קלה, שאינה מחייבת כמעט ביצוע דילולים פיטוסניטריים. האם מדובר בהפסקה זמנית בפעילות האפידימית של המזיק או בשינוי קבוע, שבעקבותיו לא צפויות יותר התקפות קשות שלו? יש מקום להניח, שהתנאים שעודדו, ככל הנראה, את ההתפרצות האפידימית של המצוקוקוס במשך 30 שנה, רצף של חלקות חד-מיניות צפופות של אורן ירושלים בגיל 20-40, כאשר העצים בשיא התפתחותם (למרות שנפגעו קשה גם חלקות מבוגרות יותר), בבתי גידול טובים יחסית, הם פחות ופחות בנמצא. מרבית החלקות של אורן ירושלים כיום הן מעל לגיל 50 שנה ואין כמעט בנמצא עומדים רצופים וצפופים שלו בגילים הרגשיים (20-40). כמו כן, במהלך השנים ניטעו מחדש ביער מעורב כ-40% משטח העומדים החד-מיניים של אורן ירושלים באזור הים-תיכוני בישראל, לאחר שנכרתו כתוצאה מנזקי שריפות, מצוקוקוס, שלגים והפרעות נוספות, והרצף של חלקות נטועות של אורן ירושלים נקטע במידה רבה. מדוע במשך 30 השנים האלה הפגיעה של המצוקוקוס ביער יתיר בדרום וביערות שממזרח לקו פרשת המים בצפון הארץ הייתה קלה ולא נדרשה בהם כריתה לשם חידוש היער? התשובה לכך היא, ככל הנראה, פרק הזמן הקצר יותר שבו קיימת פעילות קמביאלית וגדילת רוחב ואיתן התקצרות משמעותית של התקופה בשנה שבה אוכלוסיות הכנימה משגשגות, הנובעת משילוב של כמות משקעים נמוכה ו/או קרקע-סלע יובשניים בבתי גידול אלה. בנוסף לכך, באזור הדרום, אוכלוסיית הכנימה סובלת מתמותה רבה מגורמים אביוטיים.

סופות שלג

סופות שלגים גרמו לנזקים משמעותיים ליער הנטוע בישראל ובמיוחד לעצי אורן ירושלים בגליל העליון ובהרי ירושלים בשנים 1968, 1992 ו-2013. ויץ (1968) העריך ש-10,000 עצים קרסו ועוד 50,000 נשברו, בעיקר עצי אורן ירושלים



המשקעים, מפנה וכו') והרחבת מרחב המחיה של העצים כבר בשלב הנטיעה ובמהלך הדילולים, הן פעולות ממשקיות מתבקשות כדי להיערך בצורה נכונה להתמודד עם התופעה. דגם התמותה של העצים, כתוצאה מיובש בכתמים בגודל משתנה, מאפשר ברוב המקרים להסתמך על חידוש טבעי בכתמים האלה. בבתי גידול קשים במיוחד ניתן לסייע לחידוש הטבעי באמצעות ריסוס נגד עשבים או הכנת גומות או תעלות לאיסוף מי נגר או לבצע נטיעות לחידוש היער.

תמונה 7 (משמאל): תמותה של קבוצות עצי אורן הצנובר כתוצאה מיובש מתמשך בחלקה מעורבת עם אורן ברוטיה וברוש מצוי שלא נפגעו ביער עירון (חלקה 5 בגיל 33 שנים) (צילום: עמרי בונה, דצמבר 2016).

Picture 7: *Pinus pinea* mortality due to prolonged drought in a 33-year-old mixed stand with *P. brutia* and *Cupressus sempervirens* that were not affected (Photo: Omri Bonne, December 2016).

תמונה 8 (למטה): תמותה של עצי אלון מצוי ביער כברי כתוצאה מיובש מתמשך (צילום: עמרי בונה, דצמבר 2016).

Picture 8: *Quercus calliprinos* mortality due to prolonged drought in Cabri Forest (Photo: Omri Bonne, December 2016).



טבלה 3: סיכום הנזקים ביערות הנטועים בישראל כתוצאה מהבצורת בשנים 1998-1999.

Table 3: Summary of the damage caused to planted forests in Israel during the 1998-1999 drought.

אחוז משטח היער Percent of forest area	שטח שנפגע (נטו דונם) Net area damaged	שטח העומדים שנפגעו (דונם) Damaged stands area	מספר עומדים שנפגעו No. damaged stands	סה"כ שטח יער Total forest area (dunam)	מרחב Region
1.1	3,180	22,509	295	289,000	צפון – North
0.8	2,400	16,632	286	318,000	מרכז – Center
2.9	7,100	28,695	251	245,000	דרום – South
1.5	12,680	67,836	832	852,000	סה"כ – Total

מקור הנתונים: ישראל טאובר, מדור מידע יערי, אגף הייעור קק"ל (פברואר 2000)



תמונה 9: עצים מתים פזורים של אורן ברוטיה כתוצאה מהתקפת חיפושיות קליפה לאחר דילול ("עקת הדילול") בחלקה 13/301 ביער קריית אתא (צילום: עמרי בונה, נובמבר 2016).
Picture 9: Scattered dead *Pinus brutia* trees due to bark beetle infestation, after thinning in Kiryat Ata Forest (Photo: Omri Bonne, November 2016)

חיפושיות קליפה

חיפושיות קליפה בישראל, מהן קמבית קטועת בטן (*Orthoto-* *micus erosus*) וקמבית קטנה (*Pityogenes calcaratus*) הן הנפוצות ביותר בעצי אורן ונחשבות למזיקים משניים אשר מסוגלים לתקוף רק עצים שנפגעו ונחלשו, כמו לאחר יובש מתמשך או שריפה. כמו כן, מוכרת התופעה של "עקת הדילול" (תמונה 9) אשר מופיעה 6-18 חודשים לאחר דילול היער בשל הגדילה המהירה של העצים לאחר הדילול, אשר מפחיתה באופן זמני את יכולתם להקצות משאבים לשם התגוננות מפני חיפושיות קליפה (בונה, 1991; Mendel, Bonne & Riov, 1996). תופעה זו חלה בסוף הקיץ והסתיו, בעיקר בקרקעות טרה רוסה, בבתי גידול יובשניים. כתוצאה מעקת הדילול נפגעים בעיקר עצים וקבוצות עצים בעלי קוטר נמוך מהממוצע, ולכן מודל התמותה מדמה דילול טבעי קל נוסף והוא אינו גורם לפגיעה משמעותית ביער אשר מצריכה את חידוש היער באותם כתמים. בעבר עלו הצעות להגביל ולדחות דילולים שתוכננו מראש במקרים של יובש מתמשך וקיצוני, ואף להשתמש בעצי או בולי מלכודת (בולי עץ או עצים אשר רוססו בקוטלי חרקים ואליהם הוצמדו נדיפיות פרומון למשיכה וקטילה של חיפושיות הקליפה) בשולי חלקות שנשרפו או ניזוקו משלגים, בשל החשש מהתקפות מוגברות של חיפושיות קליפה. החשש הזה לא התממש במרבית המקרים ויש ספק בנחיצות בצעדי הזהירות והמניעה האלה.

הזדקנות והתנוונות היער

בחלק הראשון של מאמר זה (בגיליון 14) נסקר הדיון שהתנהל בשנות ה-70-80 של המאה הקודמת בנושא אורך מחזור הגידול של היער הנטוע בישראל (בונה, 2015). בתכנית המעודכנת לניהול ולטיפול ביערות נטע אדם של 1990, אשר קבעה מטרות ודרכי פעולה חדשים לממשק היערות בישראל, נקבע שהדור השני של היער הנטוע בישראל צריך להיות עמיד ומאריך ימים מקודמו, והומלץ על גיוון היער עם מיני חורש טבעי והקטנת הצפיפות הרבה בו, אשר גרמה לגיוון ולהתמוטטות העצים עקב תחרות יתר והביאה לסוף מחזור הגידול של היער בטרם עת, ככלים מרכזיים להשגת מטרה זו. במקביל, הוכנה תכנית לחידוש יערות אורן ירושלים בישראל (בונה, 1991א), אך עד לאמצע שנות ה-2000 היא יושמה באזור הים-תיכוני בישראל בעיקר בעומדים שנשרפו, נפגעו ממצוקוקוס, בסופות השלג או כתוצאה מיובש מתמשך. רק בשנים האחרונות החל חידוש יזום, בעיקר של חלקות אורן ירושלים מעל גיל 50 שנה, אשר גדלו בצפיפות יתר בצעירותן. צפיפות יתר זו הביאה להתפתחות מהירה לגובה ויצרה עצים לא מאוזנים במבנה שלהם אשר גזעם ונופם נוטים להתעקם ולנטות בהדרגה הצידה עד לנפילה סופית של העצים (תמונה 10).

המודל המוצע לחידוש הדור הראשון של היער הנטוע בישראל, בעיקר יער של אורן ירושלים, שהגיע לסיום מחזור



תמונה 10: נטייה הצידה ונפילה הדרגתית של עצי אורן ירושלים בחלקה בגיל 58 ביער הגלבווע (צילום: עמרי בונה).

Picture 10: Gradual falling of 58-year-old Aleppo pine trees in Gilboa Forest (Photo: Omri Bonneh).



תמונה 11: חידוש יער אורן ירושלים בגיל 55 ביער קריית אתא (חלקה 14/304) במסגרתו הושארו עצי אורן ירושלים מצטיינים במרחקים של 40-15 מ' האחד ממשנהו וביניהם נפתחו בורות לנטיעת עצי חורש במרחקים של 10x10 מ' (צילום באמצעות רחפן: כאמל עלאן, 2016).

Picture 11: Regeneration of a 55-year-old Aleppo pine stand where outstanding trees were left and planting pits for native broadleaves were prepared between them (Photo by quadcopter: Kamel Alan, 2016).

הגידול שלו, הוא בו משאירים עצים בודדים של עצי אורן ירושלים מצטיינים, במרחקים של 20-40 מ' ביניהם (עד 2 עצים לדונם), וגם קבוצות של עצי אורן ירושלים מצטיינים, כדי שיהוו יחד עם מינים מחטניים אחרים מהדור הראשון ועצי חורש טבעי שהתפתחו במהלך הדור הראשון, בסיס לדור שני של יער מגוון. החידוש יכול להסתמך על תהליכים טבעיים בלבד, כאשר ההתחדשות הטבעית כוללת מספר מינים מחטניים ורחבי עלים מהדור הראשון. אולם, כאשר בשטח גדול של עשרות דונמים ויותר, המין היחיד הוא אורן ירושלים ותת היער של רחבי עלים דליל מאוד או לא קיים בכלל, מומלץ לבצע את החידוש, ובמיוחד של מינים רחבי עלים, גם באמצעות נטיעה (תמונה 11). חשוב שבתכנית לחידוש יערות כאלה לפחות 10-20 אחוז מהשטח ייוחדו לחידוש טבעי, בהתאם להמלצות שגובשו כבר בסוף שנות ה-90 של המאה הקודמת (Bonneh, 2000).

בעוד שהמקום, המועד ואופן חידוש היער לאחר הפרעות ביוטיות ואביוטיות תלוי במידה רבה באופי הפרעות, במקרה של חידוש יזום של היער, יש ליערן יותר גמישות בהחלטה על המקום, המועד ואופן החידוש. באזור הים-תיכוני בישראל נותרו כ-100,000 דונם של יערות הדור הראשון של אורן ירושלים, שגילם נע בין 50-80 שנה. במרבית היערות האלה ניתן להבחין בתופעה של הזדקנות העומדים ונפילה הדרגתית של העצים. מן הראוי להכין תכנית פעולה לחידוש הדרגתי של חלקות אלה. כמו כן, יש חשיבות רבה לבחינת ההשלכות היערניות ארוכות הטווח של גישות שונות לחידוש היער, ובמיוחד על אופן השימור והשילוב הנכון של שרידי הדור הראשון במסגרת החידוש, במערכת מחקרית מסודרת.

סיכום

ניהול היער בישראל צריך להביא בהדרגה להגברת המגוון והמורכבות שלו, כך שיהיו מצויים בו עצים ממינים ומגילים שונים וכן בצפיפות משתנה ואשר החתך האנכי שלו מכיל מספר שכבות. יש חשיבות לכך, שהמגוון והמורכבות יבואו לידי ביטוי גם ברמה המצומצמת של עומד היער (Forest stand), אך גם ברמה הרחבה יותר של נוף היער כולו (Landscape scale), כך שיכלול פסיפס של עומדים וכתמים בעלי מאפיינים שונים וכן קרחות יער.

מאז 1990, ניטעו על ידי קק"ל, במסגרת הנטיעות החדשות והנטיעות לחידוש היערות שנכרתו כתוצאה מנזקי שריפות, ממצוקוקוס, משלגים ומהפרעות נוספות וכן מחידוש מלאכותי יזום, כ-40% משטחי היער הנטוע בישראל במודל של יער מעורב. כמו כן, בלא מעט יערות באזור הים-תיכוני בישראל נוצר יער מגוון כתוצאה מתהליכים של התחדשות טבעית של רחבי עלים בתת היער המחטני הנטוע. לפיכך, ניתן לומר במידה רבה של ביטחון, שהיערות הנטועים בישראל עמידים

בונה, ע. (2015). השינויים בממשק היער הנטוע באזור הים-תיכוני בישראל מיער חד-מיני וחד-גילי ליער מעורב רב-גילי, חלק ב': ההשלכות המעשיות של ההתפתחות במדיניות הייעור על היבטים שונים של הקמת היער. יער, 15: 5-20.

בונה, ע., הר, נ. והראל, ר. (2014). סקירה על תפוצתם הגיאוגרפית ומצבם של מיני הארז בארצות אגן הים תיכון ועל הגורמים המשפיעים על התפתחותם של עצי הארז הנטועים בישראל. יער, 13: 4-17.

בונה, ע. (1996). ממשק לחידוש ולשיקום יערות שרופים בקרן קימת לישראל. אקולוגיה וסביבה, 3 (1-2): 21-23.

בונה, ע. (1995). ממשק גזם ביערות קק"ל. עלון מידע ליערנים, 10: 1-5.

בונה, ע. (1994). שינוי צפיפות העצים ביער הפרודוקטיבי. עלון מידע ליערנים, 9: 4-6.

בונה, ע. (1994). טבלאות יבול של אורן ירושלים בישראל. חוברת השתלמות אגף הייעור בנושא ממשק יער. מדרשת רופין: 15-44.

בונה, ע. (1993). מספר היבטים מעשיים של חידוש יער בישראל. עלון מידע ליערנים, 6: 13-14.

בונה, ע. (1993). יער פרודוקטיבי ולא פרודוקטיבי נדבך נוסף בתכנית ממשק היער. עלון מידע ליערנים, 7: 1-4.

בונה, ע. (1992). גיוזם גבוה. עלון מידע ליערנים, 5: 7-8.

בונה, ע. (1992). השפעת דילול יער אורנים נטוע על הפיזיולוגיה של העצים ועל הדינמיקה של אוכלוסיית חיפושיות הקליפה. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה. ירושלים: האוניברסיטה העברית.

בונה, ע. (1991). חידוש יער אורן ירושלים. עלון מידע ליערנים, 2: 3-4.

בונה, ע. (1991). בחינה כוללת של נושא חידוש יערות אורן ירושלים. פס-הירק, אגף הייעור קק"ל, (יע/1/591): 4 עמ'.

בונה, ע. (1990). תכנית מעודכנת לניהול וטיפול ביערות נטע אדם. אגף הייעור, מנהל פיתוח הקרקע, קק"ל: 9 עמ'.

בונה, ע. ואבלגון, ד. (1994). חידוש טבעי של יער אורן ברוטיה לאחר שריפה. חוברת השתלמות אגף הייעור בנושא ממשק יער. מדרשת רופין: 70-71.

גולן, י., מדר, צ. ומנדל, צ. (1983). כנימת המצוקוקוס ביערות אורן ירושלים בישראל. השדה, ס"ד: 357-361.

גינסברג, פ. (2003). ייעור אקולוגי ככלי לפיתוח נוף בר-קיימא באזורים צחיחים וים-תיכוניים בישראל. יער, 3: 2-7.

דורמן, מ., סבוראי, ט. ופרבולוצקי, א. (2012). התייבשות עצים ביערות אורן ירושלים בישראל – מבט מגובה רב. אקולוגיה וסביבה, 3(3): 237-230.

הורוביץ, ט. ויום טוב, י. (2003). ניתוח אקלימי של התקופה שבין אפריל 1998-ינואר 2000 כרקע להבנת התופעה של התייבשות עצי יער. יער, 3: 8-12.

ויץ, י. (1968). שלג ורוח בעצי היער. ליערן, 18(1): 50-55.

ויץ, י. (1970). היער והייעור בישראל. ירושלים: מסדה בע"מ, 622 עמ'.

יוספי, א. (1973). הטיפול ביער המתבגר. ליערן, 23 (2-1): 9-15.

מנדל, ע., עשאל, פ., זהבי, ע., ספיר, נ., נסטל, ד. ושילר, ג. (1996). קטילת זרעני אורן ירושלים בשנים הראשונות שריפה על ידי הכנימה איצריית האורן. אקולוגיה וסביבה, 3(2-1): 53-58.

משגב, א. (1994). שיטה להערכת האיכויות החזותיות של נופי צומח. עלון מידע ליערנים, 9: 19-24.

נאמן, ג. (1996). התחדשות אורן ירושלים טבעי בכרמל לאחר שריפה והשפעת טיפולים על התהליך. אקולוגיה וסביבה, 3(2-1): 43-51.

נוי-מאיר, ע. (1987). תורת הייעור בארץ-ישראל: עבר ועתיד. השדה, ס"ז (ז'): 1431-1435, 1452.

סבר, נ. ונאמן, ג. (2008). התייבשות והתאוששות של עצי אלון מצוי בישראל לאחר רצף של שנות בצורת. יער, 10: 10-15.

ומותאמים כיום במידה רבה יותר לשינויים בסביבתם, לרבות אלה המתרחשים כתוצאה משינויי האקלים, וכשרם להתאושש ולהשתקם לאחר הפרעות ביער רב יותר. עם זאת, יש להמשיך גם במסגרת הנטיעות החדשות, הנטיעות לחידוש יער, ועידוד החידוש הטבעי של היער, וגם במהלך טיפולי הגיזום והדילול, להגביר את המגוון והמורכבות המבנית של היער, אשר מהווים גורם מפתח בחוסן ובעמידות של היער. ממשק היערות הנטועים הוותיקים, שבהם מגוון המינים נמוך ואשר התפתחו בצעירותם בצפיפות יתר, צריך להיות מכוון להארכת מחזור הגידול של הדור הראשון באמצעות המשך ביצוע של דילולים מתונים בבתי הגידול, שבהם הדילול יכול לתרום באופן משמעותי לחיוניות העצים. בבתי גידול, שבהם העומדים של הדור הראשון, ובמיוחד של אורן ירושלים, אשר התפתחו תקופה ארוכה מידי בצפיפות יתר והעצים בהם נוטים על צידם וקורסים בהדרגה, צריך להמשיך בכריתה לשם חידוש היער, תוך כדי השארת עצים מצטיינים במרחקים גדולים וכן מיני מחטניים אחרים ומיני חורש טבעי. השינויים שבוצעו ב-30 השנים האחרונות במדיניות הייעור היו בדרך כלל תולדה של קשיים שהיו בניהול היער והצורך להתמודד עם הפגיעות הקשות שחוללו בו גורמי נזק והפרעה שונים. רבים מהשינויים בניהול היער היו פועל יוצא של ניסוי ותעייה ולא תוצאה של מחקר מסודר. לפיכך, יש מקום להרחבת היקף המחקר בנושא ממשק היער, תוך מתן דגש לנושאים הקשורים בהקמה ובממשק של יער מגוון, כגון:

1. ההשלכות של נטיעת יער מעורב במודלים שונים על הממשק ומידת הקיימות של היער לאורך שנים.
2. ההשלכות של חידוש היער במודלים שונים, המשלבים שרידים מהדור הקודם על הקיימות של היער.
3. בחינת השפעת צפיפות היער המחטני, במיוחד לקראת סוף מחזור הגידול, על היציבות ומשך המחזור של היער.

מקורות

אהרונסון, ש. וקפלן, מ. (1997). שיקום היער השרוף בהרי יהודה. קרן קימת לישראל ורשות הגנים הלאומיים, 54 עמ'.

אוסם, י. (2012). חידוש טבעי של ברוש מצוי (*Cupressus sempervirens*, Cupressaceae) ביערות נטועים בהשפעת תנאי בית הגידול. דו"ח מחקר שהוגש לקק"ל.

אוסם, י., ברנד, ד., טאובר, י., פרבולוצקי, א. וצורף, ח. (2012). תורת ניהול היער בישראל – הנחיות לתכנון וממשק היער. אשתאול, קרן קימת לישראל, 65 עמ'.

אשכנזי, ש. (2004). ממשק הצומח המעוצה של הכרמל בדגש על ממשק יערות אורן ירושלים (*Pinus halepensis* Mill). קרן קימת לישראל ורשות הטבע והגנים, 159 עמ'.

בונה, ע. (2015). השינויים בממשק היער הנטוע באזור הים-תיכוני בישראל מיער חד-מיני וחד-גילי ליער מעורב רב-גילי, חלק א': סקירת ההתפתחות במדיניות הייעור וממשק היער בישראל במאה השנים האחרונות. יער, 14: 5-14.

- Lindner, M., Maroschek, M., Nethere, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P. & Kolstorm, M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709.
- Mendel, Z., Bonne, O. & Riov, J. (1996). Some foundations for the application of aggregation pheromone to control pine bark beetles in Israel. *Journal of Applied Entomology*, 114: 217–227.
- Neyisci, T. (2013). *Mediterranean forest ecosystems wildland fires, Cypress and fire resistant forests*. Turkey: Akdeniz University.
- Osem, Y., Yavlovich, H., Zecharia, N., Atzmon, N., Moshe, Y. & Schiller, G. (2013). Fire-free natural regeneration in water limited *Pinus halepensis* forests: A silvicultural approach. *European Journal of Forest Research*, 132(5–6): 679–690.
- Prevosto, B., Reque, J. A., Lucas-Borja, M. E., Ladier, J. & Vilagrosa, A. (2015). *Increasing resistance and resilience of Mediterranean conifer forests: The experience of Spain and France and their implications for management*. XIV World Forestry Congress, Durban, South Africa.
- Roehle, H. (1992). *Yield Tables for Aleppo Pine (Pinus halepensis) in Israel*. University of Munich, Federal Republic of Germany, 63 pp. (A research report submitted to KKL).
- Rogers, P. (1996). *Disturbance ecology and forest management: a review of the literature*. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-336. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station: 16 p.
- Spetter, E. (1989). Forest inventory and management in Israel. *Algemeine Forst Zeitschrift*, 24–26: 656–657.
- Tappeiner, J.C. & McDonald P.M. (1996). Regeneration of Sierra Nevada Forests. In: *Sierra Nevada Ecosystem Project, Final Report to Congress*, vol. III, issue 12, p.1, Assessments, Commissioned Reports, and Background Information (Davis: University of California, Centers for Water and Wildland Resources).
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S. & Mosseler, A. (2009). *Forest resilience, biodiversity, and climate change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43, 67 p.
- U.S Forest Service Glossary. (2015). http://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fsm9_028660.pdf
- Xanthopoulos, G. (2012). Cypress (*Cupressus sempervirens*) and forest fires. pp. 49–56. In: *Cypress and forest fires: A practical manual*. Reports of the Training School held on May 23–27, 2011, in Florence, Italy. R. Danti, P. Raddi, G. Torracca, B. Moya, & J. Moya (Eds). MED Operational Programme "CypFire", Istituto per la Protezione delle Piante – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sesto Fiorentino, Italy. 240 p.
- סלינגר, י., דניסיוק, מ., טאובר, י. ושרמן, א. (2006). חקירת התאמת מינים של עצי ושיחי יער לבתי גידול יערניים על בסיס תהליך מובנה מיפוי וממ"ג. דו"ח מחקר מוגש לקק"ל.
- ספיר, ג. (1992). נזקי סופות – חורף 1992. עלון מידע ליערנים, 5: 2–3.
- ספיר, ג. וקרמל, י. (2010). חיזוי התחדשות צומח אחרי שריפה ביערות אורן נטועים. אקולוגיה וסביבה, 3: 14–23.
- פלד, ג. (1977). המצב הנוכחי של היערות. יערון, 4: 2–6.
- פרבולוצקי, א., נאמן, ג. ושילר, ג. (1996). השריפה בכרמל 1989 – לקחים ממשיקים. אקולוגיה וסביבה, 3(1–2): 121–126.
- פרבולוצקי, א., בונה, ע., זלוצקי, מ., להב, ח., קפלן, ד., שניר, ח. ושטיינר, ג. (2011). המלצות הוועדה לממשק היער ושיקום אקולוגי בכרמל. המשרד להגנת הסביבה, 94 עמ'.
- פרי, א. (2009). השפעת שריפות יער על התחדשות אורן ברוטיה (*Pinus brutia* Ten. וצומח טבעי בעקבות פעולות כריתת העצים ביער אורנים נטוע. חיבור לקבלת תואר מוסמך, אוניברסיטת תל-אביב.
- פרייזלר, י., רוטנברג, א., הר, ג., משה, י., ספרינצין, ש., גרינצוויג, ז. ויקיר, ד. (2016). שרידות יער אורנים על גבול המדבר בעקבות שנות בצורת קיצונית. אקולוגיה וסביבה, 7(1): 41–51.
- צוק, א. (2013). סיכום הפעולות לשיקום היערות שנשרפו במלחמת לבנון השנייה באזור גליל עליון-רמת הגולן. קרן קימת לישראל, ביריה.
- קק"ל (2002). דו"ח נזקי בצורת ביערות מרחב דרום. מרחב דרום, גילת: 22 עמ'.
- שילר, ג. (1978). השפעת גורמי הסביבה על ההתחדשות הטבעית של יער אורן ירושלים. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, אוניברסיטת תל אביב.
- שילר, ג. (2013). גידול עצי יער ויערות בישראל, ארץ של ספר המדבר. <https://israelforests.files.wordpress.com/2013/10/d792d799d793d795d79c-d7a2d7a6d799-d799d7a2d7a8-d795d799d7a2d7a8d795d7aa-d791d799d7a9d7a8d7979c.pdf>
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouri, H. et al. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 660–684.
- Bonne, O., (2000). Management of planted pine forests in Israel: Past, present and future. In: G. Ne'eman & L. Trabaud (Eds.), *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin* (pp.377–390). Leiden: Backhuys Publishers.
- Bonne, O., Ginsberg, P. & Woodcock, J. (2003). Integrated forest fire management in Israel: A 15 year review (1987–2002). *International Forest Fire News*, 29: 72–88.
- Bravo-Oviedo, A., Pretzsch, H., Ammer, C. et al. (2014). European mixed forests: definition and research perspectives. *Forest Systems*, 23(3): 518–533.
- Calev, A., Zoref, C., Tzukerman, M., Moshe, y., Zangi, Ela, & Osem, y. (2016). High-intensity thinning treatments in mature *Pinus halepensis* plantations experiencing prolonged drought. *European Journal of Forest Research*, 135(3): 551–563.