

# השפעת פנות המדרון על הדיות של אורן ירושלים ביער יתיר

גבריאל שילר (1), דויד אונגר (1), שבתאי כהן (2), יוסי משה (2), ניר עצמון (1)  
המחלקה למשאבי טבע (1), המחלקה לפיסיקה סביבתית והשקיה (2),  
מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן vcgabi@netvision.net.il

## תקציר

המחקר בחן את צריכת המים של עצי אורן ירושלים הגדלים ביער יתיר. המדידות בשיטת פולס החום בוצעו בשלוש חלקות הממוקמות בתנאים טופוגרפיים שונים ובהן 30 עצים בדונם בגיל  $34 \pm 3$  שנים. לצורך המדידה נבחרו בכל אחת מהחלקות שמונה עצים שגודלם (קוטר הגזע, גובה העץ, אורך ורוחב הכותרת) דומה ככל האפשר לגודלו של העץ הממוצע בחלקה. המדידות בוצעו במשך 132 יום מ-14.2.2004 ועד 7.6.2004, ובמשך 227 ימים, החל ב-4.11.2004 ועד 18.6.2005. מנתוני המדידה חושבה הדיות השעתית והיומית.

התוצאות הראו, כי בשנה ההידרולוגית 2003/4, שנה שחונה יחסית (231.0 מ"מ גשם), היה הבדל ניכר ומובהק במידת הדיות בין החלקות הממוקמות בתנאים טופוגרפיים שונים: הדיות בשעות האור (06.00 עד 19.00) של דונם יער במשך 140 ימי המדידה הסתכמה לכדי 101.51 מ"מ בחלקה שבמפנה דרומי-מזרחי; 57.82 מ"מ בחלקה שבמפנה צפוני-מערבי; 76.56 מ"מ בחלקה מישורית. בשנה ההידרולוגית 2004/5, שהייתה גשומה יחסית (373.5 מ"מ גשם), הדיות במשך 227 ימי מדידה הסתכמה לכדי 126.08 מ"מ בחלקה שבמפנה דרומי-מזרחי; 137.64 מ"מ בחלקה שבמפנה הצפוני-מערבי; 141.07 מ"מ בחלקה מישורית. ההבדלים בין החלקות בדיות היומית אינם מובהקים.

**מילות מפתח (נוספות על מילות הכותרת):** אורן ירושלים, זרימת המוהל, טופוגרפיה, עצה, פולס חום, קסילם, קצב טרנספירציה.

## מבוא

בחוברת לזכרו של יוסף ויץ (אהרונסון ולווינגר, 1976), הוגה הרעיון להקמת יער יתיר שעל גבול המדבר, מפורטים מכלול תנאי בית הגידול: המסלע, הקרקע, האקלים והצומח הטבעי. עומק מי התהום באזור זה הוא מתחת ל-300 מטר, כך שקיומה של הצמחייה תלוי בגשמים בלבד. בחוברת מפורטות תכניות

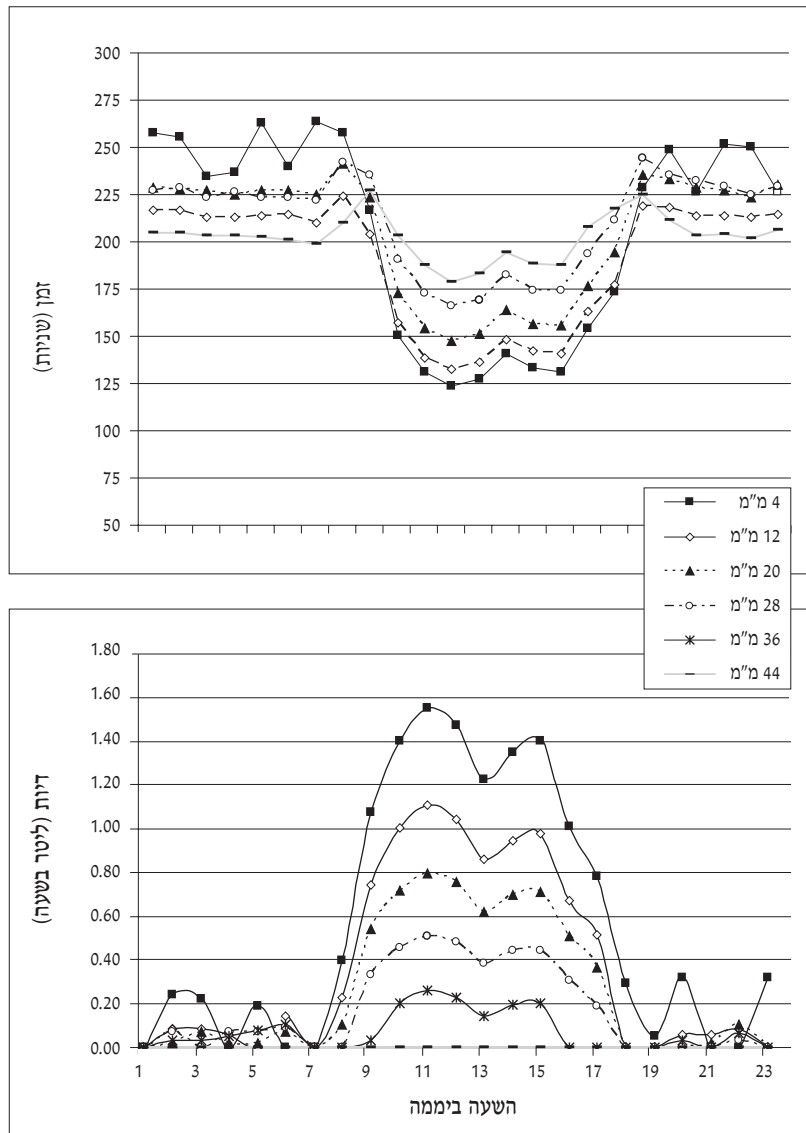
מבנה היער ושימושיו. יער זה, שנטיעתו החלה בחורף 1964/5, משתרע עתה על שטח של כ-30,000 דונם. רובו נטוע באורן ירושלים ונלווים אליו אורנים ים-תיכוניים נוספים (אורן ברטיה, אורן אלדריקה, אורן הצנובר ואורן קנרי). כמו כן, נטועים ביער גם רחבי עלים (איקליפטוס למינהו ושיטים אוסטרליות).

המהלך השנתי של הדיות היומית של עצי אורן ירושלים ביער יתיר נחקר בשנה ההידרולוגית (אחד באוקטובר עד 30 בספטמבר בשנה שלאחר מכן) בשנת 1992-3 (Schiller & Cohen, 1998). במחקר זה נמצא, כי סך הדיות של דונם יער, שגדלים בו 60 עצים בממוצע, היה 210.1 מ"מ, שהם 80% מתוך 262 מ"מ גשמים באותו החורף. כמות הגשם שנמדד אינה כמות המים שעמדה לרשות העצים, כי יש להפחית ממנה תפיסת מים בעת גשם על ידי נוף העצים ואיבודם (אינטרספציה), המהווה כ-15% בממוצע מסך הגשם השנתי (שילר, 1978) וסופות גשם קטנות של פחות מ-2 מ"מ גשם, שאינן משפיעות על רטיבות הקרקע. מסקנת המחקר הייתה, כי צפיפות העצים גבוהה מהרצוי ויש להפחית ממספרם, מכיוון שבשנה שחונה יחסית לא יעמדו לרשות העצים כמויות המים שהם זקוקים להן והעצים יסבלו מעקה. ממצאים אלה מצביעים על כך, שבמיוחד בקפך המדבר, אך גם באזורים גשומים יותר, חשוב להתאים את צפיפות היער לרמת המשקעים. ואכן, חלקות יער באזור ספר המדבר, שבהן לא בוצע דילול באופן המיטבי, נפגעו בעקבות בצורות חוזרות ונשנות, אשר הקשה מביניהן הייתה בשנים 1998/9 ו-1999/2000. בצורת זו גרמה לתמותה בהיקף של כ-7,000 דונם ביערות בחבל דרום (ישראל טאובר בע"פ; שילר וחובריו, 2005). הטיפול ביער רצוי שיעשה מנקודת מבט של הבטחת קיומו גם בעת בצורת קשה. כלומר, התאמת כמות ניצול המים על ידי הצמחייה (הדיות=טרנספירציה) לזמינות המים, קרי, לכמות הגשמים הנמוכה שנמדדה באזור.

מטרת פרק מחקר זה הייתה לבדוק את השפעת הטופוגרפיה (המפנה) על הדיות של אורן ירושלים ביער יתיר במשך השנה ההידרולוגית והסקת מסקנות עבור ממשק היער.

**איור 1:** מהלך יממתי של הזמן שגל חום עובר מרחק של 15 מ"מ עם הזרם העולה בעצת הגזע של אורן ירושלים בשישה עומקים שונים (א); מהלך יממתי של שטף המוהל (הדיות) בשישה עומקים בעצת אורן ירושלים (ב)

**Figure 1:** Daily course of the time a heat pulse passes 15 mm downstream at six depths into the xylem of an Aleppo pine trunk at Yatir (A); Daily course of hourly sap flux at six depths into the xylem (B)



הנלווים. מאיור 1-א נראה, כי ככל שמעמיקים לתוך עצת הגזע כן גדל משך הזמן הדרוש כדי לעבור את המרחק של 1.5 ס"מ בכל אחת משעות היממה. כלומר, מהירות הזרימה פוחתת. כמו כן, נראה, כי בשעות הלילה משך הזמן הדרוש למעבר גל החום הוא גבוה יחסית, כלומר, מהירות הזרימה איטית ביותר. משך הזמן הדרוש למעבר גל החום הולך ומתקצר משעות הבוקר ועד צהרי היום ושוב מתארך לקראת הערב. כלומר, מהירות זרימת המוהל גדלה והולכת משעות הבוקר ועד צהרי היום ושוב פוחתת לאחר מכן. מהמהלך הזה ניתן להסיק, כי מהירות הזרימה מושפעת מאוד מגורמים

## חומרים ושיטות

### 1. החלקות והעצים

באגן נחל ביכרה, שבתחום יער יתיר, נקבעו שלוש חלקות מחקר שגודל כל אחת מהן 2.5 דונם, שתיים מהן על מדרונות מנוגדים בגובה זהה מתחתית הוואדי, האחת במפנה צפון-מערבי והשנייה במפנה דרום-מזרחי. חלקה שלישית נקבעה בשטח מישורי, בתחום חלקת הניסויים והמגדל המטאורולוגי של האקדמיה הלאומית למדעים שביער יתיר.

גיל העצים נקבע על פי ספירת טבעות שנתיות בקדחות שהוצאו מהגזע בגובה של 20 ס"מ מפני הקרקע בשנת 2005. נמצא, כי הגיל הממוצע הוא  $34 \pm 4$ . כלומר, העצים ניטעו בתחילת שנות ה-70. סקר היער הראה, כי הצפיפות עתה היא 30 עצים לדונם בממוצע, גובהם הממוצע הוא 11.15 מטר, וקוטרם הממוצע (בגובה 1.30 מטר מפני הקרקע) הוא 16.74 ס"מ. בכל אחת משלוש החלקות שנבחרו סומנו שמונה עצים (כמספר הערוצים במכשור המדידה), שגודלם דומה ככל שניתן לממוצע הכללי.

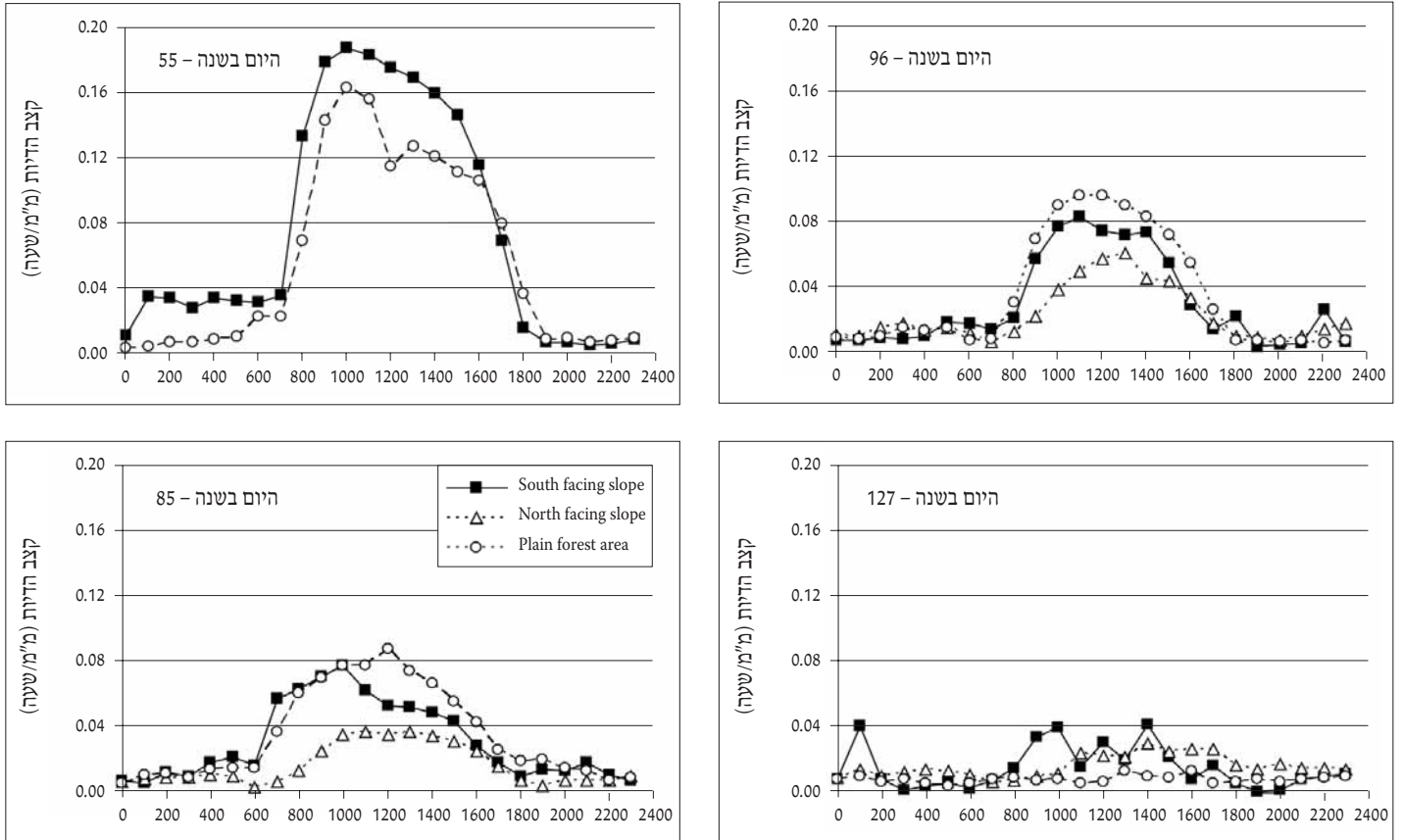
### 2. המכשור ואופן המדידה

המכשור כלל מחשב, שהוא גם אוגר נתונים, מפצל ערוצים וספקי כוח. לגזעי העצים שנבחרו בכל אחת משלוש החלקות הוחדרו שני גשושים (Probes) וגוף חימום (Heater), בגובה של 1.30 מטר מפני הקרקע לעומק 6 ס"מ מתחת לקליפה; גשוש אחד מוקם במרחק של 15 מ"מ מעל לגוף החימום ומטרתו למדוד את השינוי בטמפרטורה בזרם המוהל העולה בעצה, שנובע מגל החום שנוצר על ידי גוף החימום בעקבות פולס חשמלי בעוצמה של 24 וולט במשך 1/2 שנייה. על הגשוש הותקנו שישה חיישנים, שמוקמו במרחק של 8 מ"מ זה מזה לעומק הגזע. הגשוש השני הוחדר לגזע במרחק העולה על 10 ס"מ בהיקף העץ, ובו נמדדה הטמפרטורה הקבועה של הגזע. שמונה זוגות כבלים באורך של כ-25 מטר כל אחד חיברו בין שמונת העצים לבין המכשור, דרכם עברו הזרם החשמלי לגוף החימום והנתונים שנמדדו.

המדידה נעשתה באופן רציף 24 שעות ביממה, במשך כל תקופת המדידה. אחת לשעה נמדד במחזוריות בכל עץ משך הזמן שבו גל החום הנישא עם זרימת המוהל בעצת הגזע עבר מרחק של 15 מ"מ. כלומר, מדידת מהירות זרימת המוהל בכל עץ בכל שעה נמשכה 7.5 דקות (Cohen, 1994). בשנה ההידרולוגית 2003/4 המדידות החלו ב-26.1.2004 ונמשכו עד 14.6.2004 (140 יום). בשנה העוקבת, המדידות החלו ב-3.11.2004 ונמשכו עד ל-18.6.2005 (227 יום).

דוגמה למהלך יומי של הזמן הדרוש למעבר גל החום הנישא בזרם העולה למרחק 1.5 ס"מ ממקור החום, בעומקים גדלים והולכים בעצת הגזע של עץ מסוים ובתאריך מסוים, ובהתאמה גם מהלך הדיות המחושב, מתוארים באיור 1. משך הזמן הוא הנתון אשר נמדד ישירות ומהווה את הבסיס לכל החישובים

**איור 2:** מהלך יממתי – בימים נבחרים בשנה – של הדיות השעתית (מ"מ בשעה) של דונם יער אורן ירושלים ביתיר בפנויות שונות  
**Figure 2:** Daily courses of hourly transpiration rates (mm/h) of Aleppo pine forest plots at different slope aspects at Yatir



עם רמת משקעים של 373.5 מ"מ והגשמים נמשכו עד לתחילת פברואר. כלומר, בין שני החורפים היה הבדל של 142.5 מ"מ או במילים אחרות, כמות הגשמים בחורף 2003/4 הייתה כ-61.8% מכמות הגשמים של חורף 2004/5.

## 2. צריכת המים

איור 2 מתאר את המהלך היממתי (24 שעות) של הדיות השעתית של חלקה מסוימת (=פנות), בארבעה ימים בעונה. מהאיור נראה, כי קיים הבדל, לפעמים לא קטן, במהלך היממתי של הדיות השעתית בין המפנים.

איור 3 מתאר מהלך עונתי של הדיות היומית של חלקות היער, שהחל ב-14.2.2004 בשנה ההידרולוגית 2003/4 וב-20.11.2004 בשנה ההידרולוגית 2004/5. נראה, כי קיימים הבדלים מסוימים בכמות הדיות היומית בהתאם למפנה, אך גודל ההבדלים אינו ברור. על כן נעשה ניתוח שונות (Analysis of variance) של נתוני הדיות היומית של העץ הממוצע בכל חלקה מהימים שבהם היו בו-זמנית נתונים מלאים משלוש החלקות, כדי לקבוע את גודל ההבדלים ומידת המובהקות שלהם. מספר ימים זה היה 30 מתוך סך של 140 ימי מדידה בשנת 2003/4 ו-33 ימים מתוך 227 ימי מדידה

מיקרו-אקלימיים בעלי תנודה יומית, דוגמת עוצמת הקרינה, טמפרטורת האוויר והלחות היחסית.

אופן חישוב הדיות השעתית והיומית של כל עץ, חישוב הדיות היומית הממוצעת של שמונה העצים וחישוב הדיות היומית של חלקת היער במשך תקופת המדידה זהים לדרך החישובים שנעשו במחקרים קודמים על הדיות באורן ירושלים (Schiller & Cohen, 1995, 1998). מאיור 1-ב נראה, שעינק הדיות נסמך על זרימת המוהל בעצה עד לעומק של 28 מ"מ; בעומקים גדולים יותר זרימת המוהל פוחתת מאוד.

## תוצאות

### 1. זמינות המים

על פי מדידות גשם ביער יתיר במשך 42 שנה, מאז 1964 ועד 2006, כמות הגשמים השנתית הממוצעת באזור היא  $283 \pm 89$  מ"מ. ההסתברות לכמות גשמים שנתית נמוכה מ-300 מ"מ, היא כ-70% ולכמות הקטנה מ-200 מ"מ היא כ-12%. כלומר, קיימת הסתברות שפעם בשמונה שנים תחול בצורת קשה. חורף 2003/4 היה חורף יבש עם 231 מ"מ. עיקר כמות הגשמים ירדה עד מחצית חודש ינואר. חורף 2004/5 היה חורף

אורן ירושלים הוא מין שעמיד במידה רבה ליובש (Schiller, 2000) ועל כן נבחר כמין העיקרי לנטיעת יער יתיר. בדיקות של מדדים גנטיים באוכלוסיות של אורן ירושלים ממקורות שונים, שניטעו ביתר בחלקות ניסיון הראו, כי התנאים האקולוגיים במקום גורמים לברירה המשאירה פרטים בעלי שונות גנטית גבוהה לעומת זו שבאוכלוסיית המוצא (Schiller et al., 2004); אך השפעת המפנה על השונות הגנטית בתנאי האקלים ביתר לא נבדקה עדיין.

הפעילות הפיסיולוגית האינטנסיבית של אורן ירושלים בתנאי יער באזור הסמי-ארידי בארץ מתרכזת בחורף ובאביב, תקופה שבה זמינות המים מאפשרת בדרך כלל לקיים את הפעילות הזו (Schiller and Cohen, 1995, 1998);

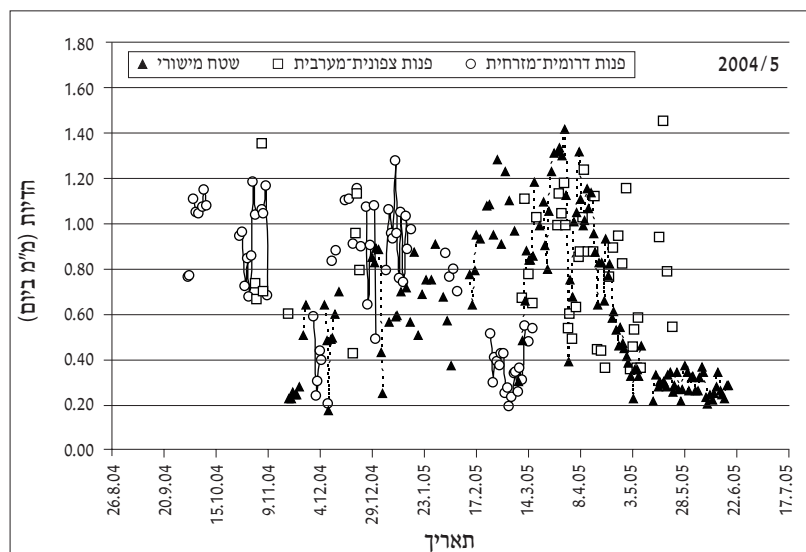
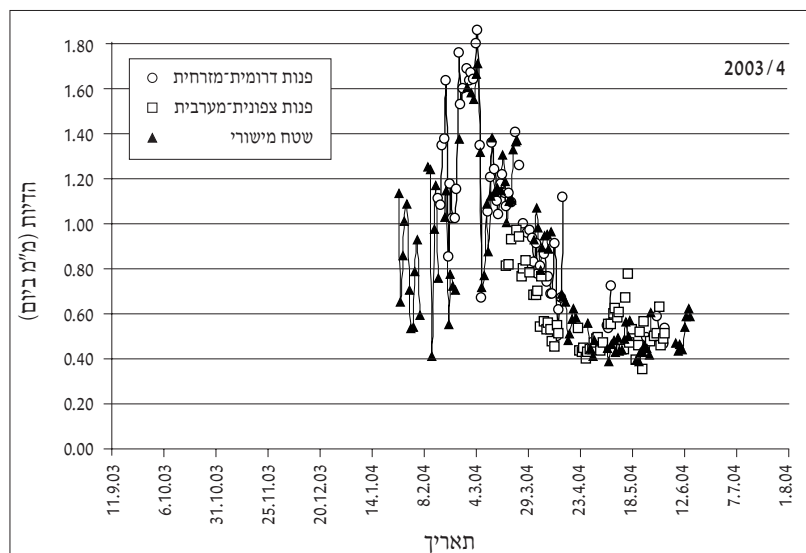
בשנת 2004/5. תוצאות הניתוח (טבלה 1) מצביעות בבירור על כך, שבשנת 2003/4, שנה מעוטת גשמים (231.0 מ"מ), ההבדלים בין המפנים בכמות הדיות של העץ הממוצע בשעות האור (6.00 עד 19.00) היו מובהקים ( $Prob > F = 0.0001$ ). אך בשנת 2004/5, שנה מבורכת בגשמים (373.5 מ"מ), ההבדלים בכמות הדיות בשעות האור בין החלקות לא היו מובהקים. בניתוח שונות נוסף, שבו נכללו כל הנתונים שנמדדו בשלוש החלקות במשך שתי עונות המדידה, 127 ימים בשנת 2003/4 ו-173 ימים בשנת 2004/5 נמצא (טבלה 2), כי בשנת 2003/4 היה הבדל מובהק בין המפנים בדיות של העץ הממוצע בשעות האור (6.00 עד 19.00); לעומת זאת, בשנת 2004/5 לא נמצאה השפעה מובהקת לטופוגרפיה על הדיות מהיער.

תוצאות המדידות בשנת 2003/4 (לא מוצג) הראו, כי הדיות בשעות האור היוותה 78.11% בממוצע מהדיות היממתית (24 שעות - מחצות עד חצות), ובשנת 2004/5 היא היוותה 80.5% מהדיות היממתית.

סך הדיות בשעות האור והדיות היממתית (24 שעות) במשך השנה ההידרולוגית 2003/4 ו-2004/5 מסוכמים בטבלה 2. נראה, כי בשנה ההידרולוגית 2003/4 השחונה, שבה נמדדה הדיות בעת אחת בכל המפנים רק במשך ב-127 ימים, נוצרו הבדלים ניכרים בין החלקות בכמות הדיות, כאשר המרבית בסך 129.3 מ"מ הייתה בחלקה עם פנות דרום-מזרחית, בעוד שהחלקה עם פנות צפון-מערבית דייתה רק 76.9 מ"מ. על סמך כלל המדידות שנעשו, הדיות היממתית הממוצעת של דונם יער בצפיפות של 30 עצים בדונם, במשך השנה ההידרולוגית, על פני כל המפנים, הסתכמה לכדי 149.7 מ"מ, שהם 64.8% מכמות הגשמים בשנה ההידרולוגית 2003/4, בעוד שבשנה ההידרולוגית 2004/5 הדיות הסתכמה לכדי 179.3 מ"מ, שהם 48.0% מכמות הגשמים באותה השנה.

**איור 3:** מהלך שנתי של הדיות היומית (מ"מ ביום) של דונם יער אורן ירושלים בהתאם לפנות, בשנים ההידרולוגיות 2003/4 ו-2004/5

**Figure 3:** Annual courses of the daily transpiration rate (mm/day), according to slope aspects, during the hydrological years 2003/4 and 2004/5 at Yatir



## דיון

השפעת המפנה על הצומח בארץ תוארה על ידי זהרי (1955) והשפעתו על התפתחות הטבעת השנתית באורן ירושלים תוארה על ידי גינדל (1952). "השפעת הפנות" היא שילוב של גורמים אקולוגיים, דוגמת סוג הקרינה (ישירה או דיפוזית והיחסים הכמותיים שביניהן), משך זמן הקרינה ועוצמתה, טמפרטורת הקרקע והאוויר, עוצמת הרוח וכיוונה, הלחות היחסית, עומק הקרקע, זווית הנטייה של השכבות הגיאולוגיות ביחס לשיפוע המדרון ותפרוסת הגשם בשטח בעת סופה, כתוצאה מהשפעת הטופוגרפיה על הרוח (ארדיטי, 1985; ארזי, 1997). ככל שהאזור הפיטוגיאוגרפי יובשני יותר כן גדלה השפעת הפנות על הפעילות הפיסיולוגית, על הסלקציה ועל השונות הגנטית בצמחים ובבעלי חיים (Nevo, 1983, 1997, 1998).

במפנים הדרומיים. כלומר, קיימים הבדלים מיקרו־אקלימיים ניכרים בין המפנים, דבר שעשוי להיות בעל השלכות ישירות על עוצמת הדיות של העצים ומכאן על היחס שבין זמינות המים לשימוש במים, בפרט בשנים מעוטות גשמים. במחקרנו מצאנו הבדל ניכר בדיות בין המפנים בשנה מעוטת גשמים (2003/4) בעוד שבשנה גשומה (2004/5) לא נרשם הבדל משמעותי.

המסקנה הנובעת מתוצאות המחקר עבור ממשק היער באזור יובשני היא, ששטח העלווה המדייתת, או שטח היטל הכותרות או מספר העצים ליחידת שטח (צפיפות) חייב להשתנות בהתאם לתנאים האקולוגיים. מדרונות עם פנות דרומית־מזרחית ועד דרומית־מערבית רצוי שיהיו בעלי שטח עלווה מדייתת נמוך לעומת שטחים מישוריים או מדרונות עם פנות צפונית־מערבית עד צפונית־מזרחית. הצפיפות הממוצעת ביער יתיר היא עתה 30 עץ לדונם. לדעתנו, רצוי שבמפנים הדרומיים הצפיפות הממוצעת לא תעלה מעבר לכך, בעוד שבשטחים מישוריים ובמדרונות עם פנות צפונית ניתן להעלות את צפיפות היער לכדי 35 עץ לדונם. כל זאת, על מנת למנוע ככל האפשר התמוטטות היער בעת בצורת קשה של פחות מ־200 מ"מ גשם בשנה, שעלולה להתרחש בממוצע אחת לשמונה שנים.

**טבלה 1:** תוצאות ניתוח השונוות של הדיות הממוצעת לשמונת העצים בכל חלקה בהתאם לפנויות בשעות האור (ליטר ביום לעץ): א. עבור הימים שבהם היו נתונים מלאים משלוש החלקות בר־זמנית (30 ימים בשנה ההידרולוגית 2003/4, ו־33 ימים בשנה ההידרולוגית 2004/5); ב. בכל הימים שבהם יש תוצאות מדידה (127 יום בשנה ההידרולוגית 2003/4, ו־173 יום בשנה ההידרולוגית 2004/5)

**Table 1:** Analysis of Variance results, of the average daily light hours transpiration rate (l/day/tree), of the eight trees measured per plot according to slop aspects and year. (A) using only days in which data are simultaneous available in the three plots; (B) using all days of measurements (127 days in 2003/4 and 173 days in 2004/5)

השנה	הפנות	הדיות של העץ הממוצע - א (A)	הדיות של העץ הממוצע - ב (B)
2003/4	דרומית־מזרחית (SE)	14.770 ± 0.962	26.492 ± 0.962
	צפונית־מערבית (NW)	8.760 ± 0.679	15.765 ± 0.679
	מישור (Plain)	16.810 ± 0.612	20.649 ± 0.612
2004/5	דרומית־מזרחית (SE)	18.513 ± 0.923	24.721 ± 0.923
	צפונית־מערבית (NW)	20.211 ± 1.115	25.130 ± 1.115
	מישור (Plain)	20.715 ± 0.634	26.429 ± 0.634

בין החדשים נובמבר עד סוף מאי ותחילת יוני, המפנים הצפוניים זוכים למשך קרינה ולעוצמת קרינה נמוכים מאשר (Grünzweig et al., 2003; Klein et al., 2005). בתקופה זו,

**טבלה 2:** הדיות של העץ הממוצע בשעות האור בהתאם לפנות (ליטר ביום לעץ); הדיות של 30 עצים לדונם יער בשעות האור בהתאם לפנות (מ"מ ביום); סך הדיות בשעות האור (מ"מ) בתקופת המדידה וסך הדיות היממתית (24 שעות) בתקופת המדידה (מ"מ), בהתאם לפנות ולשנה ההידרולוגית

**Table 3:** Average tree light hour's transpiration rate (l/day/tree) (A); Canopy light hours transpiration rate of 30 trees per 0.1 ha (mm/day) (B); Canopy light hours transpiration amounts during measurement period (mm) (C) and 24 hour's transpiration amounts during measurement period (D) according to slope aspect and year

הפנות Slope orientation	כלל הדיות בשעות האור של העץ הממוצע בליטר (A)	כלל הדיות בשעות האור של 30 עץ/דונם במ"מ (B)	כלל הדיות בשעות האור בתקופת המדידה במ"מ (C)	כלל הדיות היממתית בתקופת המדידה במ"מ (D)
<b>בשנת 2003/4, 127 ימי מדידה</b>				
דרומית־מזרחית South-East slope	26.50	0.795	100.97	129.27
צפונית־מערבית North-West slope	15.77	0.473	60.08	76.92
מישור Plain area	20.65	0.620	78.68	100.73
<b>בשנת 2004/5, 173 ימי מדידה</b>				
דרומית־מזרחית South-East slope	24.72	0.742	128.30	159.37
צפונית־מערבית North-West slope	25.13	0.754	130.42	162.02
מישור Plain area	26.43	0.793	137.17	170.4

## מקורות

- tree-ring and needle  $\delta C^{13}$  and leaf gas exchange in *Pinus halepensis* under semi-arid conditions. *Oecologia* 144: 45–54.
- Nevo, E. (1983). *Population genetics and ecology: The interface, evolution from molecules to men*. (Betdall, D.S., Ed.). pp, 223–272. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Nevo, E. (1997). Evolution in action across phylogeny caused by microclimatic stresses at "Evolution Canyon". *Theoretical Population Biology* 52: 231–243.
- Nevo, E. (1998). Molecular evolution and ecological stress at global, regional and local scales: The Israeli perspective. *The Journal of Experimental Zoology* 282: 95–119.
- Schiller, G. & Cohen, Y. (1995). Water regime of a pine forest under a Mediterranean climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 74: 181–193.
- Schiller, G. & Cohen, Y. (1998). Water balance of *Pinus halepensis* Mill. afforestation in an arid region. *Forest Ecology and Management* 105: 121–128.
- Schiller, G. (2000). Ecophysiology of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. In: Ne'eman and Trabaud (Eds.). *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Backhuys Publishers, pp. 51–65.
- Schiller, G., Korol, L. & Shklar, G. (2004). Habitat effects on adaptive genetic variation in *Pinus halepensis* Mill. provenances. *Forest Genetics* 11: 325–335.
- אהרונוסון, ש' ולווינגר, ר' (1974). יער יתיר, לזכרו של יוסף ויץ. הוצאת קרן קימת לישראל, מינהל פיתוח הקרקע, אגף הייעור, 79 עמודים (עברית בתוספת תקציר אנגלי).
- ארדיטי, ד' (1985). הרוח בזמן גשם ואומדני גשם אפקטיבי בצפון הנגב. עבודת גמר לתואר מוסמך בגיאוגרפיה פיסית. הוגש למחלקה למדעי כדור הארץ – גיאוגרפיה פיסית, 51 דפים.
- ארזי, ע' (1997). מודל נומרי לתיאור שדות רוח והגשם במערכת טופוגרפית נתונה. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
- גינדל, י' (1952). היער והייעור בארץ. המעבדה לחקר הייעור, רחובות, 352 עמ'.
- זהרי, מ' (1955). גיאובוטניקה. ספריית הפועלים/מענית, 600 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', אונגר, י' ד' וגניזי, א' (2005). האם גורל העץ כתוב בטבעות השנתיות? אפיון עצים ביער כרמים בעקבות החורף השחון 1998/9. יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה, 7: 18–25.
- Cohen, Y. (1994). Thermoelectric methods for measurement of sap flow in plants. In: Stenhil, G. (Ed.). *Advances in Bioclimatology*, vol 3, pp. 63–88, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Grünzweig, J.M., Lin, T., Rotenberg, E., Schwartz, A. & Yakir, D. (2003). Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology* 9: 791–799.
- Klein, T., Hemming D., Lin, T., Grünzweig, J.M., Maseyk, K., Rotenberg, E. & Yakir, D. (2005). Association between