

ניר הר

מחלקת יער, מרחב צפון, קק"ל

יוסי ריוב

המכון למדעי הצמח וגנטיקה
בחקלאות ע"ש רוברט ה. סמית,
הפקולטה לחקלאות המזון ואיכות
הסביבה, האוניברסיטה העברית
בירושלים

אורי שני

המחלקה לקרקע ומים, הפקולטה
לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט
ה. סמית, האוניברסיטה העברית
בירושלים

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

הר נ, ריוב י ושני א. 2015. מערך
הצומח באזור אלונים-מנשה
בהתאמה למבנה המרחבי של
מערכת הסלע-קרקע ותכונות בתי
הגידול. *אקולוגיה וסביבה* 6(1): 40-
52.



עצי אלון התבור לפני העתקה (גבעת חציר, ליד היישוב זרזיר) | צילום: ניר הר

מעריך הצומח באזור אלונים-מנשה בהתאמה למבנה המרחבי של מערכת הסלע-קרקע ותכונות בתי הגידול

11 באפריל, 2015

גיליון אביב 2015 / כרך 6(1)

[חזית המחקר](#)

על קצה המזלג

- הבסיס להתפתחותה של המערכת האקולוגית והביוספרית באזור גבעות אלונים ורמת מנשה הוא מבנה סלע-קרקע ותפרוסת הצומח.
- לחוקיות בתפרוסת תצורות הצומח באזור המחקר ולהבנת תהליכים המתרחשים בבתי הגידול תרומה משמעותית להבנת תפרוסת תצורות הצומח בישראל.
- הכרת המכלול האקולוגי-ביוספרי ניתנת להתאמה לכל האזור הים תיכוני בארץ לשם הבנת תהליכים ולצורך תכנון מרחבי, אקולוגי וממשקי.

המערכת

תקציר

התאמת הצומח לתנאי הסביבה נבחנה באזור אלונים-מנשה, שקיים בו מבנה גאולוגי ברור הכולל שינויי מסלע הדרגתיים, וכן מגוון של תצורות צומח בפיזור גאוגרפי, שיש בו סדר ומגמות.

מטרת המחקר הייתה לימוד מגמות ועקרונות בתפרוסת של תצורות וטיפוסי הצומח באזור, בעיקר של היער והחורש, והבנת התהליכים המתרחשים בבתי הגידול כהסבר לתפרוסת זו, כחלק מרכזי של המערכת האקולוגית.

הצומח הטבעי בגבעות אלונים וברמת מנשה כולל את כל תצורות הצומח, החל בעשבונים ועד יער פארק וחורש צפוף. ניכרת התאמה בין מיקומן של תצורות הצומח ומעבריים הדרגתיים ביניהן לבין המערך הגאולוגי.

האזור מהווה קער גאולוגי (סינקלינה) בין קמר הכרמל וקמר נצרת-אום אל פחם, הנחלק על-ידי קו קמר קדום לשני אגנים. שכבות הסלע נטויות מהקמרים לכיוון של מרכזי האגנים, וכתוצאה מכך ישנה עלייה בטור השכבות בכיוון זה. שכבות שהורבדו באזור בתקופת האאוקן, משתנות הדרגתית מאבן גיר וקירטון קשה בשכבות התחתונות לקירטון רך ונקבובי בשכבות העליונות. השילוב של נטיית השכבות ושינויי המסלע גורם לעלייה הדרגתית בנקבוביות הסלע לכיוון של מרכזי האגנים.

נערך מחקר מפורט שכלל מיפויים השוואתיים, מדידות בסלע, בקרקע ובעצים, ובתי הגידול ומשק המים של העצים וסביבתם נלמדו. נמצא, שלנקבוביות הקירטון, למבנה מערכת הסלע-קרקע ולתכונותיה ישנה השפעה מכרעת על התפתחות הצומח הטבעי. יער הפארק של אלון התבור גדל על כיסי קרקע הנמצאים בקירטון ובנארי שמעליו, ונוצר בית גידול שבו השורשים נמצאים בכיסי הקרקע ואילו מאגר המים העיקרי הוא בנקבובי הסלע. החורש של אלון מצוי גדל בסביבה זו על קירטון רך ונקבובי יותר. השורשים חודרים לסדקי סלע דקים וקולטים את המים ישירות מהסלע, וכך מתאפשר ניצול הממד האנכי ובעקבותיו קיום של חורש צפוף. על סלעים קשים יותר מתפתחות חברות של שיחים, בני שיח ועשבונים. השינוי ההדרגתי בתכונות הסלע גורם שינוי הדרגתי בתצורות הצומח.

מערך הסלע-קרקע-צומח הוא הבסיס להתפתחותה של המערכת האקולוגית באזור ולפעילויות האדם, וניתן לראות דוגמה לכך במרחב הביוספרי של רמת מנשה. המחקר מתייחד בהשוואת התפרוסת המרחבית של הצומח למערך המסלע בהתאמה למבנה הגאולוגי, ובשילוב עם הלימוד המעמיק של משק המים של העצים בהתאמה לתנאי בית הגידול. כך התאפשרה הכרה יסודית ואמינה של המערכת. העקרונות והמגמות של מערכת הסלע-קרקע-צומח שנלמדה כאן, יכולים לשמש בסיס להבנת המערכות באזורים נוספים ולשמש בסיס לתכנון של ממשק ניהול של היערות, החורשים וסביבתם.

מבוא

גורמים הטבעיים המשפיעים על יער האלונים נבחנו במחקר קודם^[14,10] באזור המחקר הנוכחי. נמצא שמשק המים שנוצר במערכת הסלע-קרקע בבתי הגידול באזור אלונים-מנשה הוא הגורם המכריע בתפרוסת ובהתפתחות של העצים^[14,10]. במאמר זה נתמקד בעריכת מיפוי השוואתי של מרכיבי בית הגידול ובמשק המים ובהשפעתו על תפרוסת הצומח בכלל, ועל תפרוסת היער ועל חורש האלונים בפרט. מערכת משק המים הכוללת תידון במאמר נפרד.

האלונים העיקריים בארץ ותפוצתם

אלון התבור (*Quercus ithaburensis*) הנשרי גדל מדרום-מזרח טורקיה עד ישראל ברצועת הגובה של יערות הפארק, לרוב עד לגובה של 500 מטר מעל פני הים^[45,24,1]. הוא המותאם מבין מיני האלון לתנאים חמים ושחונים, ושולט בארץ ביערות פארק מרמת הגולן ועד לשרון^[22,15,2]. אלון מצוי (*Quercus calliprinos*) משתייך לרצועה הגבוהה יותר של חורש ירוק-עד, מדרום טורקיה ואיי יוון עד לאזורנו. הוא עץ החורש הנפוץ בארץ, בעיקר לאורך שדרת ההר המרכזית. אלון התולע (*Quercus boissieri*) גדל במקומות גבוהים וקריירים, ואינו גדל באזור המחקר.

שינויים בתפוצת האלונים במהלך השנים

על פי אבקת פרחים (pollen) מקרקעיות אגמים בארץ [6] שתוארכה והותאמה לשחזורים פלאואקלימיים [33,27], אלון התבור היה הנפוץ בעצי היער בתקופה הכנענית החמה והיבשה. בתקופה הישראלית נכרתו יערות ובמקומם ניטעו כרמי זיתים, שהגיעו לשיא בתקופת בית שני ובתקופה הרומית, שהיו קרירות וגשומות יחסית. החקלאות ננטשה בהדרגה החל מסוף התקופה הביזנטית, סמוך לתקופת יובש. לאחר מכן, במקביל ל"תקופת הקרח הקטנה" (באלף הקודם), החורש והיער התאוששו בהדרגה, ומאז אלון מצוי הוא הנפוץ יותר. נראה שהשילוב של המבנה הטרשי שנוצר כתוצאה מסחף קרקע לאחר הרס המערכות החקלאיות, עם הטמפרטורות הנמוכות יחסית התאים יותר לאלון המצוי [11].

יער פארק של אלון התבור תואר ומופה במאה ה-19 במקומות שהוא נמצא בהם כיום, ואף בתפוצה רחבה יותר בשרון [2,21,28], אולם שטחים נרחבים שלו נכרתו לאחר מכן. ההתיישבות החדשה בשרון לא אפשרה את חידושו המלא באזור זה, ואילו בגבעות הנארי באזור אלונים-מנשה הוא התחדש תוך זמן קצר לאחר כל כריתה [2,11]. גם חורש של אלון מצוי שדוכא, התחדש בבתי הגידול המתאימים [36,22]. כך ניתן להבחין בין ההשפעה ארוכת הטווח של האדם ושינוי האקלים, וחזרה של תצורות הצומח בבית גידולן לאחר זמן לשיווי משקל יציב בקירוב, לבין השפעות קצרות טווח ולאחריהן התחדשות מהירה של הצומח המותאם לבתי הגידול.

נורמי תפוצה של טיפוסי צומח

מספר גורמים משפיעים בסקלות שונות על פריסתן של תצורות הצומח בארץ. רמת המשקעים שימשה בסיס לחלוקת הארץ לאזורים פוטוגאוגרפיים [29,15]. הגובה מעל פני הים, הריחוק מהים והמיקום ב"צל הגשם" ידועים כגורמים המשפיעים על חברות הצמחים ועל תפוצת המינים כתוצאה משילוב של משקעים, טמפרטורה ולחות יחסית [35,15]. מפנה צפוני ותנאי מיקרו-אקלים יוצרים תנאים של קרירות והצללה מקומיים [42,30]. השפעה של תצורות גאולוגיות או מבנה תת-הקרקע על חברות הצמחים נמצאה בנגב [9], בהרי יהודה [18], בגליל [22] ועוד. סלע הקירטון הנקבובי נמצא כתורם מים לצמחי סלעים בישראל [15], וגם לגידולי שדה באנגליה, שם נמדדה בקיץ תנועת מים מתוך הקירטון אל הקרקע והשורשים [43].

זערכת הסלע-קרקע בבתי גידול של אלונים

נמצאה התאמה בין חברות של אלונים לתצורות גאולוגיות [22]. אלון מצוי מתבסס טוב יותר בקרקע רנדזינה הודות למשק מים טוב יותר בה [16], אולם הוא יוצר חורש מפותח בשדרת ההר על דולומיט ועל אבן גיר עם קרקע טרה רוסה [22]. כבר ב-1935 מצא איג [2] שמערכת השורשים של אלון התבור מעל קירטון מתקופת האאוקן (נספח 1) אינה עמוקה, אלא נמצאת בקרקע בלבד ואינה חודרת לסלע. הר [14,10] תיאר את מערכת השורשים בכיסי הקרקע שיידינו בהמשך, ו-Oppenhimer [38] תיאר חדירת שורשים של אלון מצוי לסדקים של קירטון רך.

מטרות המחקר

לימוד מגמות ועקרונות בתפרוסות של תצורות וטיפוסי הצומח באזור אלונים-מנשה, בעיקר של טיפוסי היער והחורש, והבנת התהליכים המתרחשים בבתי הגידול כהסבר לתפרוסות זו, כחלק מרכזי של המערכת האקולוגית.

מהות המחקר ואופיו

במחקר נבחנו הקשרים בין התפרוסות של תצורות וטיפוסי הצומח באזור זה לבין מבנה השטח ותכונותיו, תוך לימוד מעמיק של בתי הגידול שהתפתחו בכל אתר ושל התהליכים בהם [11]. לימוד המכלול השלם של מבנה הגאולוגיה-סלע-קרקע-בתי גידול והתאמתו למינים ולתצורות הצומח מאפשר הבנה מקיפה של כל המערכת, והעקרונות שנלמדו כאן מאפשרים השלכה למקומות נוספים.

חשיבות המחקר וחידושו

נערכו מיפויי צומח במסגרת מחקרים שדנו באופן חלקי גם בהשפעת הקרקע [25,15,3], בסביבת הגידול של מספר מינים [18,16] ובהשוואה בין חברות צמחים ותצורות גאולוגיות בחבלי ארץ נרחבים [22,9] וכן נערכו מיפויי צומח במסגרת סקרי טבע ונוף [17]. במחקר הנוכחי נעשה לימוד מפורט של התאמת הצומח למבנה ולתכונות של מערכת הסלע-קרקע, ונמדדה הריביות בסלע ובקרקע על ציר הזמן במקביל למדידות פיזיולוגיות בעצים [11]. זאת לאחר שלב מקדים [14,10] שנבחנו בו גורמים שונים במערכת האקולוגית, ונמצא שמשק המים בבית הגידול הוא הגורם המכריע בסביבה זו. שילוב זה של מיפוי ומדידות אֶפְשֵׁר

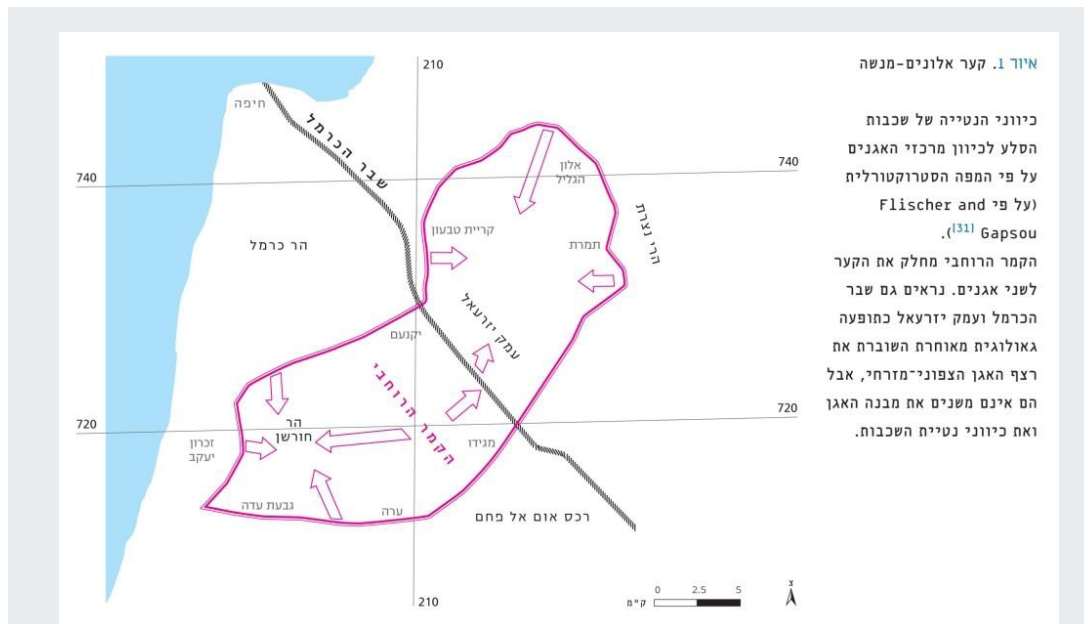
הבנה של תנאי הגידול הנדרשים למינים השונים, לתצורות ולטיפוסי הצומח בהרכבים השונים, וקבלת תמונה של מערך הצומח שתואם את המערך הגאולוגי ואת תכונות מערכת הסלע-קרקע. ככל הידוע, לא נערך מחקר מעין זה בעולם.

שטח המחקר באזור אלונים-מנשה

השטח שנבחר כולל את כל הטווח של תצורות הצומח מעשבונים ועד יער פארק וחורש, עם מערך מסלע שמרביתו משתייך לאותה חבורה גאולוגית, וכולל מגמות ברורות של שינויי מסלע הדרגתיים לצד מעברים חדים שיוצרים קווי שבר, המאפשרים השוואה באותו מיקום ובאחידות אקלימית בקירוב. שטח זה התאים במיוחד למטרות המחקר.

טווח המשקעים באזור הוא 550-650 מ"מ בשנה [20]. חלק ניכר מהגשם הופך לנגר עילי כתוצאה מהחלחול המועט בסלעי הקירטון [7].

את האזור מאפיינות גבעות נמוכות עד גובה של 400 מטר בתחום הקער (הסינקלינה) של אלונים-מנשה (איור 1), שהוא חלק ממערכת הקמרים והקערים המקבילים של הקשת הסורית [26, 8, 4]. קמר קדום (להלן – הקמר הרוחבי) חוצה את הקער לרוחבו בחלק הגבוה של רמת מנשה [26, 4], ומחלק אותו לשני אגנים. באגן הדרומי-מערבי קיימת כמעט סימטריה של נטיית השכבות לכיוון מרכזו. את האגן הצפוני-מזרחי חוצים מספר העתקים שנוצרו לאחר היווצרות הקער, והגדול ביניהם הוא שבר הכרמל עם עמק יזרעאל הצמוד אליו. בדרך כלל, אזור הקער נמוך טופוגרפית מהקמרים שמצדיו, ומיקום הקמר הרוחבי ברמת מנשה קרוב לקו פרשת המים של אזור זה.



איור 1

קער אלונים-מנשה

כיווני הנטייה של שכבות הסלע לכיוון מרכזי האגנים על פי המפה הסטרוקטורלית (על פי Flischer and Gapsou [31]).

הקמר הרוחבי מחלק את הקער לשני אגנים. נראים גם שבר הכרמל ועמק יזרעאל כתופעה גאולוגית מאוחרת השוברת את רצף האגן הצפוני-מזרחי, אבל הם אינם משנים את מבנה האגן ואת כיווני נטיית השכבות.

החבורות הגאולוגיות

חבורת הר הצופים נחשפת בעיקר בשולי הקער, ומעט בתוכה, בעיקר בקירטון ובחואר של תצורות ע'רב וטקיה (נספה 1). מעליה, **חבורת עבדת** (אאוקן), הכוללת שלוש תצורות גאולוגיות [41, 26, 8, 4]: **תצורת עדולם** הבנויה שכבות דקות של גיר קירטוני וקירטון מצורר שמשנתה הדרגתית כלפי מעלה לשכבות רכות יותר יחסית. תפוצתה נרחבת ברמת מנשה, והיא מידקת כלפי צפון. מעליה **תצורת תמרת**, הבנויה ממופע של אבן גיר במזרח ובצפון הקער, המתחלף במופע קירטוני במרכז. באזור

המערבי והדרומי ובמעלה הטור הסטרטיגרפי היא עוברת בהדרגה **לתצורת מראשה** הקירטונית, שנפוצה בעיקר ברמת מנשה במרכז הקער. לשינויים האופקיים והאנכיים של המסלע ישנה השפעה משמעותית על תפרוסת הצומח. תקופת הנאוגן, המאוחרת יותר, מתבטאת בחוואר, בקונגלומרט ובקטעי בזלת, בעיקר באזור אלונים סמוך לעמק יזרעאל.

הקרקע ותהליכי יצירתה

זת סלעי הקירטון מכסה בדרך כלל שכבת נארי, שנוצרה על-ידי שטיפה של חומר גירני מהקרקע לתוך הסלע הנקבובי [44, 23]. הנארי כולל קרום מרובד (laminar) דק וקשה בחלקו העליון, מתחתיו "הנארי העליון" הקשה יחסית, ומתחתיו ה"נארי התחתון" הפריך (איור 2, איור 3 ואיור 4).

הקרקע היא רנדזינה חומה על הנארי, רנדזינה בהירה על חוואר וטרה רוסה חומה-אדומה על אבן הגיר [40, 10].

איור 2. יער אלון התבור (לקראת בנייה באלון הגליל) לאחר הסרת חלק מתת-הקרקע באיור נראים שכבת הנארי מעל סלע הקירטון וכיסי קרקע.



איור 2

יער אלון התבור (לקראת בנייה באלון הגליל) לאחר הסרת חלק מתת-הקרקע באיור נראים שכבת הנארי מעל סלע הקירטון וכיסי קרקע.

איור 3. אחת מקרחות היער באלון הגליל

הסלע נחשף לקראת בניית הבתים. היער יושב על הקירטון הלבן, ועם המעבר לטרה רוסה מעל אבן הגיר, אין עצים כלל.



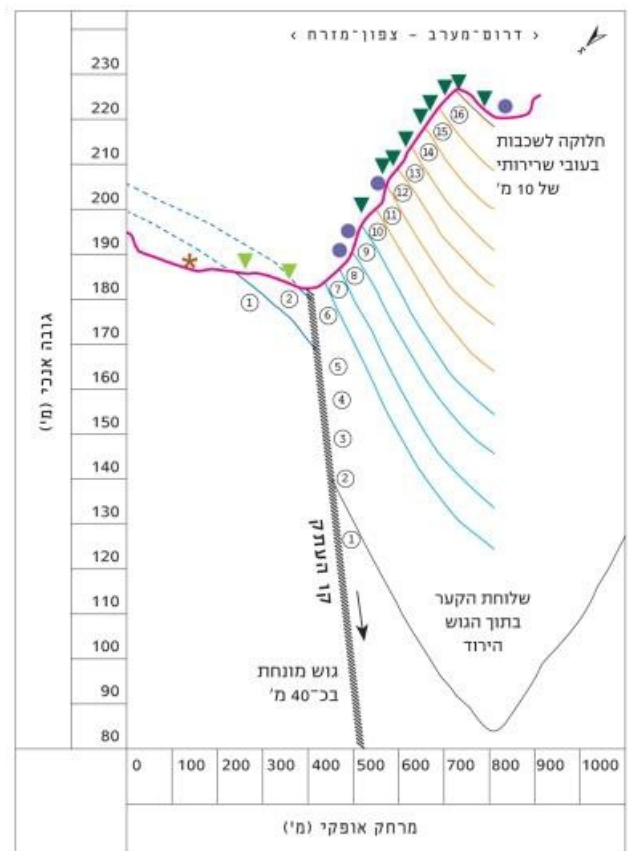
איור 3

אחת מקרחות היער באלון הגליל

הסלע נחשף לקראת בניית הבתים. היער יושב על הקירטון הלבן, ועם המעבר לטרה רוסה מעל אבן הגיר, אין עצים כלל.

איור 4. שינויים של תצורות צומח במרחקים קצרים במדרון

היישוב תמרת - חתך טופוגרפי-גאולוגי-גאובוטני
שילוב של קער מקומי (אפיק של הקער הראשי) וקו העתק עם נטיית
השכבות בניצב למדרון חשפו 160 מ' של שכבות. בתחתית טור
השכבות מופע אבן הגיר של תצורת תמרת עם הצומח העשבוני,
בהמשך יער אלון התבור על המופע הקירטוני של תצורת תמרת,
ובחלק העליון של תצורת מראשה עם חורש של אלון
מצוי הגדל כאן בכל המפנים. נטיית השכבות ומיקום קווי ההעתק
על פי גרינברג [8].



איור 4

שינויים של תצורות צומח במרחקים קצרים במדרון היישוב תמרת - חתך טופוגרפי-גאולוגי-גאובוטני

שילוב של קער מקומי (אפיק של הקער הראשי) וקו העתק עם נטיית השכבות בניצב למדרון חשפו 160 מטר של שכבות. בתחתית טור השכבות מופע אבן הגיר של תצורת תמרת עם הצומח העשבוני, בהמשך יער אלון התבור על

המופץ הקירטוני של תצורת תמרת, ובחלק העליון הקירטון של תצורת מראשה עם חורש של אלון מצוי הגדל כאן בכל המפנים. נטיית השכבות ומיקום קווי ההעתק על פי גרינברג [8].

הצומח

אזור אלונים-שפרעם הוגדרה בעבר חברת אלון התבור והלבנה הרפואי (*Styrax officinalis*), הכוללת מופעים עם אלון מצוי ועם אלת המסטיק (*Pistacia lentiscus*) וחברות בתה של סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*) ושל אזוב מצוי [3, 25] (*Majorana syriaca*). ברמת מנשה הוגדרו טיפוסים של אלון התבור, אלון מצוי, חרוב מצוי (*Ceratonia siliqua*) אלה ארץ-ישראלית (*Pistacia palaestina*), אלה אטלנטית (*Pistacia atlantica*), לבנה רפואי, טיפוסים שיחים, בני שיח ועשבוניים, ושילובים עם יערות נטע אדם [17]. במחקר הנוכחי יידונו בעיקר יער אלון התבור וחורש של אלון מצוי לצד מספר מיני עצים הנמצאים כמלווים או כטיפוסי צומח נפרדים, ותצורות הצומח של שיחיה (גריגה), בתה ועשבוניים.

שיטות

כתחום הגאולוגיה, המסלע והקרקע

- השלמת מיפוי גאולוגי באמצעות מדידות והגדרות סלע וקרקע ותיחום יחידות בשטח ובעזרת אורתופוטו.
- יצירת מפה במערכת מ"ג (GIS) של גובה שכבות הסלע בטור הסטרטיגרפי על-ידי הפחתת הגובה הטופוגרפי מגובה גג חבורת יהודה על פי המפה הסטרוקטורלית [31] (נספח 2). כך התקבלה רמת פירוט גבוהה מאוד של רובדי הסלע בשטח.
- דגימת סלע וקרקע במיקומים ובעומקים שונים. בדיקות צפיפות, חישוב נקבוביות ויצירת עקומי תאחיזה. בשלב המוקדם של המחקר [10] נערכו בדיקות כימיות במכשירי ICP ויון-כרומטוגרף על ההרכב של סלע וקרקע, תמיסת הקרקע ודגימות עלים.
- התאמת תכונות הסלע על פי המדידות ומידע מהספרות [11] לשכבות הסלע על פי מיקומן בטור הסטרטיגרפי ומיקומן בקער.

בתחום הצומח

- מיפוי הצומח בשטח ובעזרת אורתופוטו כשלב בפיתוח סטנדרט מיפוי הצומח הארצי [19]. יצירת מפות של תצורות וטיפוסי צומח ובסיס מידע מפורט של הרכבי הצומח.
- עריכת מדגמי צומח בגודל של 1/3 דונם בשלושה מפנים (שני מדגמים לכל מפנה בכל גבעה) לאורך שורת גבעות. ספירת כל הפרטים הרב-שנתיים בחלוקה לקבוצות גובה של כל מין.

שיטות נוספות

- לימוד מערכת תת-הקרקע והיחס של מערכת השורשים לתשתית בתצפיות שדה במאות חתכי רוחב ועומק בצדי דרכים, באתרי בנייה ובחפירות, באמצעות הגדרות של הסלע-קרקע, רישום, מדידות וצילומים. סריקות של מכ"ם חודר קרקע בתחנות המדידה ופענוח משמעותן.
 - הקמה של תחנות מדידה לבחינה מתמשכת של רטיבות תלת-ממדית של הסלע-קרקע במערכת קידוחים צפופה ומדידות משק המים של העצים [11]. מרבית המדידות הללו יידונו במאמר נפרד.
 - ניתוח משולב של הקשר בין מערך הצומח לבין מערכת הסלע-קרקע, תוך משווא בין הרמות המקומית והמרחבית והמגמות בתוכן וממצאי המדידות של משק המים בבית הגידול:
- יצירת חתכים דו-ממדיים מקומיים של מערך השכבות בתת-הקרקע ועל פני השטח, עם טיפוסים הצומח הגדלים עליהם (איור 5, איור 6, איור 7) והצבה של יחידות הצומח על מפת גובה שכבות הסלע במערכת מ"ג (נספחים 2 ו-3).
 - מציאת טווח הקיום של מינים ומציאת מגמות של השתנות הצומח בהשוואה למגמות בשינויי המסלע.
 - בחינת התוצאות בהשוואה לתוצאות של לימוד בתי הגידול ומשק המים של המינים העיקריים.

איור 5. מבט בסתיו מהיישוב תמרת צפונה מהחורש של אלון

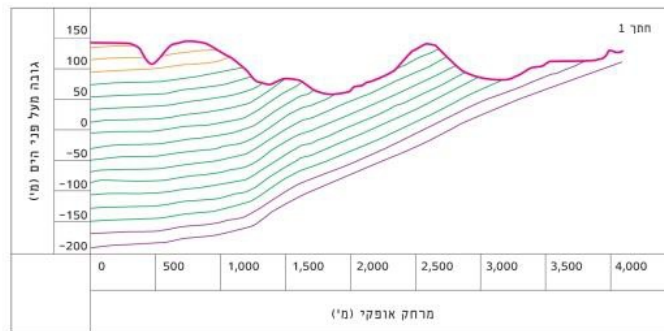
מצוי דרך יער אלון התבור אל העשבונים ממול
בקדמת התמונה: חורש של אלון מצוי ירוק העד גדל על קירטון
כמעט ללא קרקע. במדרון ממול נראה יער של אלון התבור בשלכת
בגווני אפור ובליויי אלת המסטיק. בתחתית המדרון נראים
עצי אלון התבור ללא מלווים. בראש המדרון שבאופק,
לא קיים כל הצומח המעוצה בכל המפנים.



איור 5

מבט בסתיו מהיישוב תמרת צפונה מהחורש של אלון מצוי דרך יער אלון התבור אל העשבונים ממול

בקדמת התמונה: חורש של אלון מצוי ירוק העד גדל על קירטון כמעט ללא קרקע. במדרון נראה יער של אלון התבור בשלכת בגווני אפור ובליויי אלת המסטיק. בתחתית המדרון נראים עצי אלון התבור ללא מלווים. בראש המדרון שבאופק, נעלם כל הצומח המעוצה בכל המפנים.



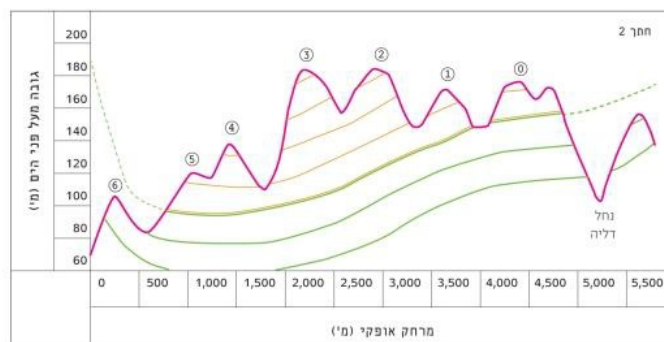
איור 6. סביבת הר חורשן – שינויים של תצורות צומח בהתאם למעברי השכבות משולי הקער למרכז

טיפוסי הצומח על גבי צילום אוויר ושני קווי חתך. חלוקת השכבות נעשתה בעובי שרירי של 20 מטר. חתך 1 – גובה סטרוקטורלי בחתך טופוגרפי בצפון-מערב הר חורשן (בהגזמה אנכית).

מצפון-מזרח לדרום-מערב לאורך של כ-4 ק"מ משתנה הצומח מעשבוניים לשיחיה, ליער אלון התבור ובסוף לחורש צפוף של אלון מצוי. זאת במקביל לעלייה של 320 מטר בטור השכבות מאבן הגיר והקירטון הקשה של תחתית תצורת עדולם עד לקירטון הרך של תצורת מראשה.



בחתך 2, שנעשה לרוחב שורת הגבעות של רכס חורשן, נראה שינוי צומח: יער פארק של אלון התבור בגבעה 0 במזרח, הצטרפות מלווים מעוצים בגבעה 1, חורש של אלון מצוי בגבעות 3 ו-4, ומשם מערבה שוב מתקבל יער של אלון התבור. ניתן לראות שמיקום החורש הוא בדיוק במרכז הקער שהשתמרו בו השכבות הגבוהות בחתך הסלע של הקירטון הרך והנקבובי (נסית השכבות על פי Fleischer and Gapsou^[31]).

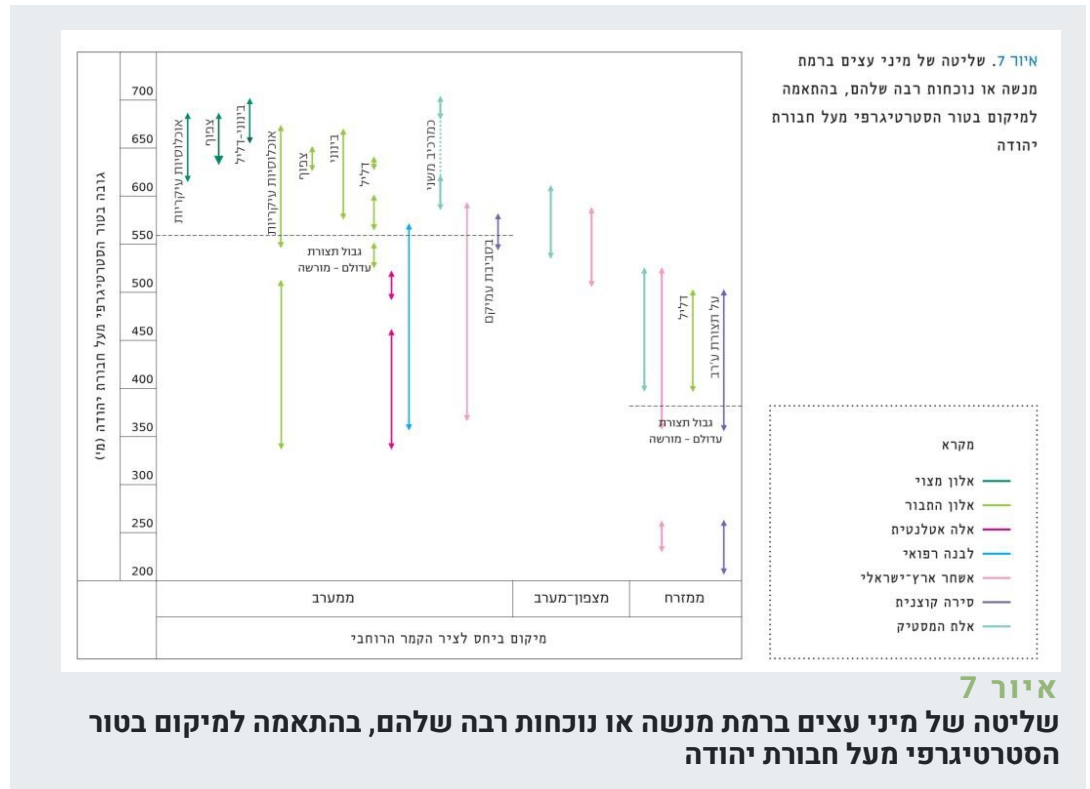


איור 6

סביבת הר חורשן – שינויים של תצורות צומח בהתאם למעברי השכבות משולי הקער למרכז

טיפוסי הצומח על גבי צילום אוויר ושני קווי חתך. בחתך 1 מצפון-מזרח לדרום-מערב לאורך של כ-4 ק"מ משתנה הצומח מעשבוניים לשיחיה, ליער אלון התבור ובסוף לחורש צפוף של אלון מצוי. זאת במקביל לעלייה של 320 מטר בטור השכבות מאבן הגיר והקירטון הקשה של תחתית תצורת עדולם עד לקירטון הרך של תצורת מראשה.

בחתך 2, שנעשה לרוחב שורת הגבעות של רכס חורשן, נראה שינוי צומח: יער פארק של אלון התבור בגבעה 0 במזרח, הצטרפות מלווים מעוצים בגבעה 1, חורש של אלון מצוי בגבעות 3 ו-4, ומשם מערבה שוב מתקבל יער של אלון התבור. ניתן לראות שמיקום החורש הוא בדיוק במרכז הקער שהשתמרו בו השכבות הגבוהות בחתך הסלע של הקירטון הרך והנקבובי (נסית השכבות על פי Fleischer and Gapsou^[31]).



תוצאות

מערך המסלע והקרקע בקער אלונים-מנשה: מבנה, תכונות ומגמות

קמר הרוחבי מחלק את הקער לשני אגנים (איור 1). האגן הדרומי-מערבי כמעט ואינו מופר, וניתן לראות בו היטב את נטיית השכבות המשוליים ומהקמר הרוחבי לכיוון מרכז האגן. האגן כמעט סימטרי לארבעה כיוונים, וניתן לעקוב בו אחר שינויים הדרגתיים של המסלע ושל הצומח בהתאמה אליו. באגן הצפוני-מזרחי קיימים, כאמור, העתקים רבים הגורמים למעברים חדים בין שכבות סלע מוגבהות ומונמכות, וכך מתאפשרות השוואות מקומיות בטווחים קצרים של מערכות הסלע-קרקע-צומח.

נטיית השכבות בניצב לגבעות גורמת לכך, שבהתקדמות לתוך מרכז הקער גבעה אחרי גבעה, השכבות גבוהות יותר בטור הסטריגרי (הדגמות באיור 7 ובנספח 2). בתקופת ההיווצרות במהלך האאוקן התחתון והתיכון הים נעשה עמוק יותר בהדרגה, וכתוצאה מכך נוצרו סלעי קירטון רכים ונקבוביים יותר במעלה החתך^[8,11], כיוון שהם בנויים מהצטברות מאובנים מיקרוסקופיים של הים הפתוח, שהרווחים ביניהם נשארו כנקבובים. נוסף על כך, במרכז הקער הים היה עמוק יותר בכל נקודת זמן, והסלעים שם נקבוביים יותר גם בתוך אותה שכבה.

כיס קרקע בעומק של כ-1.5 מטר נוצרו בעיקר בתוך נארי על קירטון (איור 2, איור 3 ואיור 4) של תצורת תמרת, ובין שכבות הסלע הדקות הקירטוניות של תצורת עדולם. על מופע אבן הגיר של תצורת תמרת נוצרה בדרך כלל קרקע עמוקה מעט יותר, אך ללא כיסי קרקע סגורים (נספח 4).

זתאמת הצומח לבתי הגידול ולתפוסת המסלע

בתי הגידול של בני שיח ועשבוניים

על אבן גיר או קירטון קשה וכשיסי הקרקע אינם עמוקים, בעיקר בשולי הקער וסמוך לקמר הרוחבי, מתקבלות תצורות צומח של בני שיח (דוגמאות באיור 5, איור 7 ובנספח 4). אזוב מצוי וגעדה מצויה (*Teucrium capitatum*) גדלים בבתי גידול הקרובים לזה של אלון התבור אולם כיסי הקרקע בהם קטנים והקירטון קשה יותר. כתלה חריפה (*Chiliadenus iphionoides*) גדלה

ישירות בסדקי הנארי, וזקנן שעיר (*Hyparrhenia hirta*) גדל בקרקע רדודה במפנים דרומיים. באבן גיר עם קרקע טרה רוסה של תצורת תמרת הסלע צפוף ואינו מכיל מים, והקרקע אינה מאורגנת בכיסים. היא מתייבשת בקיץ, ולפיכך צומח מעוצה אינו יכול להתקיים בה, אלא רק עשבוניים רב-שנתיים כמו קיפודן מצוי (*Echinops adenocaulos*) ועירית גדולה (*Asphodelus ramosus*) (נספחים 4, 5). ברמת מנשה בחלק הנמוך של תצורת עדולם הכולל שכבות של אבן גיר וקירטון קשה, שולט שומר פשוט (*Foeniculum vulgare*).

בתה של סירה קוצנית נפוצה על קירטון קשה של חבורת הר הצופים ללא נארי מפותח. בקירטון חווארי (שם תחום המים הזמינים צר) מאותה חבורה (בתצורת טקיה) גם בני השיח דלילים, והשאר הוא צומח עשבוני, כולל עשבוניים רב-שנתיים שכלנית מצויה (*Anemon coronaria*) בולטת בהם.

תצורת הצומח הבולטת – יער אלון התבור

ית הגידול של יער הפארק של אלון התבור הוצג בשלב הקודם של המחקר [10, 14], ונלמד לאחרונה באופן מעמיק [11]. באזור זה, אלון התבור גדל על קירטון ללא מלווים מעוצים משמעותיים, ושורשיו נמצאים בעיקר בכיס קרקע (סכמה והדגמות באיור 2, איור 3, איור 4 ובנספחים 4, 6). מים המחלחלים בסלע בחורף, נעים בקיץ מהסלע אל הקרקע והשורשים, ומאפשרים את פעילותו של העץ במהלך כל הקיץ (יתואר במפורט במאמר נפרד). יער הפארק נוצר כאשר לכל עץ נדרש כיס קרקע אחד, וקיים גודל שטח מינימלי הדרוש להתפתחות החלק השטחי של מערכת השורשים. שורשי אלון התבור נמצאים רק בתוך תווך של קרקע, והמלווים הם בעיקר אזוב מצוי בכיסוי דליל ועשבוניים. על קירטון רך ונקבובי יותר גדלים מלווים נוספים, ששורשיהם יכולים לחדור לסדקי הסלע הרך יחסית – ראשית שיחי אשחר ארץ-ישראלי, ובסלע רך ונקבובי עוד יותר מצטרפים שיחי אלת המסטיק ועצים כמו לבנה רפואי, אלה אטלנטית, אלה ארץ-ישראלית, ולבסוף גם אלון מצוי. כך נוצרים טיפוסי ביניים בין יער הפארק של אלון התבור לחורש של אלון מצוי. במופעים אחרים, ללא כיסי קרקע, מתקבלים טיפוסי שיחיים של קידה שעירה, אשחר ארץ-ישראלי או אלת המסטיק, וטיפוסי יער של לבנה רפואי או אלה אטלנטית. כולם בשיווי משקל יציב עם התנאים הקיימים בבית הגידול.

חורש של אלון מצוי

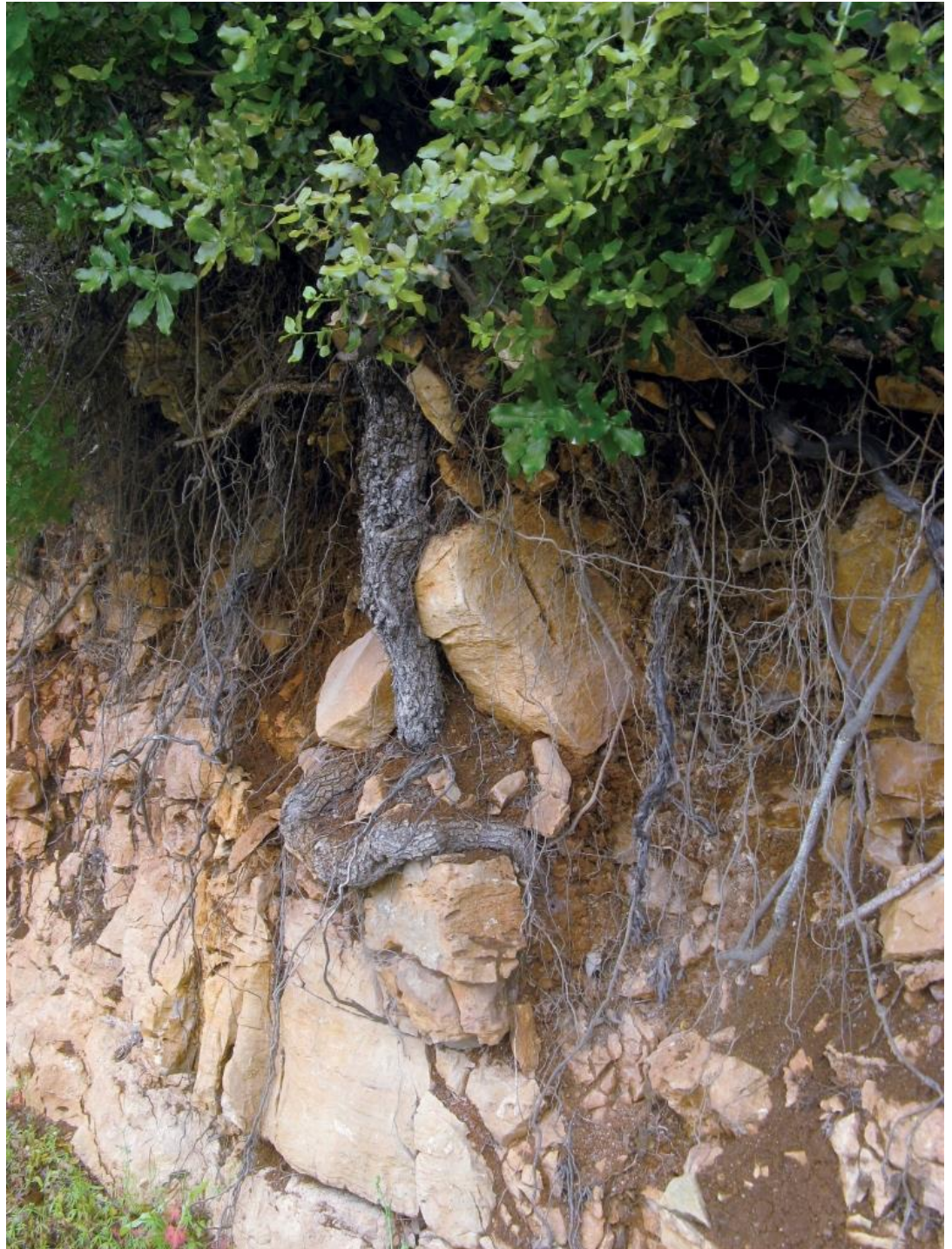
החורש של אלון מצוי בסביבה זו גדל על הקירטון הנקבובי ביותר (40–60% נקבוביות נימית) בחלק העליון של תצורת מראשה (הדגמות באיור 5, איור 6, איור 7 ובנספחים 2, 3). כמות הקרקע עשויה להיות מעטה והשורשים חודרים לסדקים דקים בסלע הרך יחסית, כך שקליטת המים נעשית ישירות מהסלע. מי הגשמים מחלחלים בסדקי הסלע בקצב מהיר יחסית, ומחדשים את הרטיבות בסלע עד לעומק של 8 מטר לפחות. עומק השורשים הוא עד מספר מטרים בכל נפח הסלע, דבר שמאפשר את ניצול הממד האנכי, ומכאן את קיום החורש שבו גדלים בצפיפות עצים ושיחים. בתחום המעבר מיער אלון התבור, החורש שולט יותר במפנים צפוניים שיש בהם יתרון לאלון מצוי המותאם יותר לתנאי צל, לטמפרטורה נמוכה ולרטיבות. חורש זה הוגדר בעבר כמופע אלון מצוי של חבורת אלון התבור [25, 3], אולם כפי שנראה כאן, החורש הוא תצורת צומח העומדת ברשות עצמה, שגדלה בתנאים המשופרים ביותר בסביבה זו.

מעברים בין תצורות צומח בהתאם לשינויים בבית הגידול

זקומות שניתן לעקוב בהם אחר מעברים בין תצורות צומח מדגימים את הנושא באופן הברור ביותר. לדוגמה:

1. מדרון תמרת, הנמצא בחלק המזרחי של גבעות אלונים. קימוט ושבירה מקומיים ושכבות סלע בנטייה הניצבת למדרון מאפשרים בחינה של כל חתך הסלע, ממופע אבן הגיר של תצורת תמרת ועד לחלק העליון של תצורת מראשה (איור 5 ואיור 6). נראה מעבר מעשבוניים ליער של אלון התבור, לחורש פתוח של אלון מצוי עם שיחי אלת המסטיק ועד לחורש צפוף של אלון מצוי ובר-זית בינוני (*Phillyrea latifolia*).
2. הר חורשן, הנמצא בתחתית האגן המערבי של רמת מנשה (איור 1). שכבות הסלע עולות כלפי מזרח אל הקמר הרוחבי, מערבה אל הכרמל הדרומי באזור זכרון יעקב וצפונה אל קמר הכרמל העיקרי. חתכים לאורך ולרוחב מדגימים את שינויי המסלע בטווחים קצרים ואת העלייה בחתך הסטריטיפי עם הירידה למרכז הקער, ובהתאם לכך – את שינויי הצומח מעשבוניים ועד לחורש (איור 7). לאורך חתך הרוחב נעשו מדגמי צומח בכל אחת מהגבעות בשלושה מפנים. בהשוואה של כל אחד מהמפנים בנפרד נראה בבירור שבפני השטח של גבעות 3 ו-4 נמצאות שכבות הסלע הגבוהות ביותר בחתך הסטריטיפי בתצורת מראשה, והסלע הוא הרך והנקבובי ביותר. בגבעות אלה נמצא גם שיא הפרטים של אלון מצוי. מצד שני, מין זה כמעט ונעלם בשולי החתך במקביל לעליית אלון התבור. בר-זית בינוני הוא מלווה בחורש, לבנה רפואי מלווה את אלון התבור, ואלה ארץ-ישראלית מגיעה לשיא בין היער והחורש, במקום שנוצר בו מגוון גבוה של מיני עצים.
3. מכלול האגן המערבי של הקער – בהשוואת הצומח של רמת מנשה למפת הגובה של שכבות הסלע, ניתן לראות

את ריכוז החורש בחלק העליון של הטור הסטריגרפי, יער פארק של אלון התבור בגובה הביניים, ואת שטחי הבתה והעשבונים בתחתית החתך (נספח 2). באמצעות התאמה של מפת הצומח הטבעי המפורטת אל מפת גובה השכבות ניתן למקם את כל אחד מהמינים העיקריים על שכבות הסלע שהוא מופיע בהן (נספח 3). כך, אלון התבור גדל בגבהים של 340–670 מטר מעל חבורת יהודה, ואלון מצוי גדל בתחום צר למדי החל בגובה של 620 מטר. בתחום החפיפה ביניהם קיים חורש מעורב, ומעליו החורש בשליטה המלאה של אלון מצוי. מינים אחרים גדלים בקטעים אחרים, ובכל קו גובה סטריגרפי ניתן לראות את הרכב המינים הצפוי.



מצאה התאמה ברורה של הצומח למבנה מערכת הסלע-קרקע ולמשק המים שבה / צילום: ניר הר

דיון

ניתן להצביע על התאמה ברורה של הצומח למבנה מערכת הסלע-קרקע ולמשק המים המתפתח בה. מבנה הקער יוצר מערך מרחבי כמעט סימטרי של שכבות הסלע. שינוי מסלע הדרגתי, שחל עם העלייה בטור הסלעים ועם המעבר משולי הקער למרכזו על רקע המבנה המרחבי, יוצר עלייה הדרגתית של נקבוביות סלעי הקירטון מגבעה לגבעה במעבר משולי הקער למרכזו. התאמתם של מיני הצמחים העיקריים לנקבוביות הסלע יוצרת התאמה מרחבית של תצורות הצומח למערך המסלע. מחקרי צומח קודמים מיקמו טיפוסים של צומח על גבי המפה [17] בהתאמה למספר גורמים גאוגרפיים [25,3], ואף בהתאמה של חברות צמחים לתצורות גאולוגיות או למבנה תת-הקרקע [22,18,9]. אנו מסבירים את ההיגיון המרחבי של תפוצת הצומח בתוך אותו אזור אקלים בהתאמה למבנה ולמערך הגאולוגי שהביא לתפוצת המסלע, ואת ההבדלים בצומח כתוצר של הבדלים בתכונות של מערכות הסלע-קרקע ובתהליכים הקיימים בהן.

בהשוואת בתי הגידול שתוארו כאן לבתי גידול אחרים בארץ של טיפוסים צומח דומים, אלו התברר גדל בארץ בבתי גידול שקיימים בהם כיסי קרקע בווריאציות שונות, ברובדי קרקע בין קילוחי בזלת ביער יהודיה, בחמרה הכוללת רובד חרסיתי בשרון ועוד [34,11,2]. הוא אינו גדל בדרך כלל במקומות גבוהים, כנראה כתוצאה מהתאמתו לטמפרטורות גבוהות יחסית [22,15].

החורש של אלו מצוי שגדל על סלעים קרסטיים קשים, בעיקר על דולומיט של חבורת יהודה [32,22,15], משתמש במים הנמצאים בכיסי קרקע שבחללים הקרסטיים. כמות המים באותם כיסים מוגבלת, ולכן הוא גדל בעיקר מעל גובה של 300 מטר מעל פני הים ובעיקר במפנים צפוניים (נספח 6). בבית הגידול הקירטוני שתואר כאן, כמות המים בסלע כמעט בלתי מוגבלת, החורש קיים גם במקומות נמוכים, וכמעט שאין בו התייבשות של עצים, גם לאחר שנות בצורת רצופות [11].

כאשר הסלע קשה וללא כיסי קרקע בחללים עמוקים, בית הגידול כאמור יובשני, ומתאפשר קיומם של עשבוניים בלבד (נספחים 4, 6). בתה יציבה של סירה קוצנית על קירטון קשה של חבורת הר הצופים קיימת גם במקומות נוספים, ואף במקומות גשומים יותר, כמו ביריה-עין זיתים וברעם, בכ-750 מ"מ גשם [22,13].

ניגוד למחקרים שעולה מהם כי הצומח הקיים בארץ הוא תוצאה של פעילות אדם, בעיקר כריתה, רעייה ושרפות [37], המחקר המובא כאן מבטא את מגוון התצורות וטיפוסי הצומח באזור הנחקר ובארץ בכלל כתוצר של תנאי הסביבה הטבעיים בכל אתר במצב של שיווי משקל יציב בקירוב. גורמים חיצוניים השפיעו ומשפיעים לטווחי זמן שונים, ועשויים לחול תהליכי סוקססיה בשלבי ביניים, אולם תכונות השטח קובעות בסופו של דבר את תצורות הצומח והרכבן.

השלכות ממחקר זה להבנת מערכות, לתכנון ולמשק ברחבי הארץ – בתנאי אקלים וסלע-קרקע אחרים המערכות עשויות להיות שונות, אולם העקרונות שהותוו כאן, כמו הניתוח ההשוואתי בתוך המכלול הגאוגרפי-גאולוגי, ההתייחסות למכלול הסלע-קרקע, תכונותיו ומשק המים שבו יכולים לשמש בסיס לחקר, להבנה ולתכנון ממשקי של מערכות הסלע-קרקע-צומח במקומות נוספים [13]. בעקבות המחקר המוצג כאן נערכו עשרות סקרי מפיץ וחקר של בתי הגידול של טיפוסים הצומח והמינים שנמצאו בהם [12]. בעזרת הסקרים תוכננה נטיעה תוך שימור הצומח הקיים בהתאמה לתנאי השטח ולתכונותיו. חשיבותו של בית הגידול על סלעי הקירטון שנלמדה כאן שימשה אף בסיס להבנה של הבדלים בהתייבשויות לאחר שנות בצורת, הן של עצים בתוך יערות הן של אוכלוסיות צומח עשבוני רב-שנתי, שכמעט ולא נפגעו בבית גידול קירטוני. לתובנות אלה ישנה משמעות רבה בהיערכות למצב של שינוי אקלים והתייבשות עתידית.

מרכיבים נוספים של המערכת האקולוגית מתבססים בעיקרם על נדבכי הסלע-קרקע והצומח. כך מושפעת התפוצה של בעלי החיים ופעילותם – יש בהם הפעילים בשטחים פתוחים ואחרים מעדיפים בתה, שיחיה, יער פתוח או חורש צפוף. יישובים הוקמו בעבר בהתאם למקורות המים ולתנאים המתאימים לחקלאות [20,5]. בחלק מהמקומות הם הוקמו בחורש בשל בית הגידול הטוב שבו הוא היה קיים, ולאחר שננטשו החורש שב וכיסה את השטח. מתוך כך, תנאי הסלע-קרקע-הידרולוגיה כשלעצמם ומיקום תצורות הצומח כיוונו ומכוונים את כל המכלול באזור, וניתן לראות זאת כיום למשל במרחב הביוספרי של רמת מנשה ובסביבתו. הכרת המכלול הזה ניתנת להתאמה לכל האזור הים תיכוני בארץ הן לצורך הבנת תהליכים הן לצורך תכנון מרחבי, אקולוגי וממשקי.



תובנות המחקר יכולות לסייע בהיערכות למצב של שינוי אקלים והתייבשות עתידית של צומח בבתי הגידול שעל סלעי הקירטון (צילום: ניר הר)

תודות

לאיתן שש (גאולוגיה), לאריה זינגר ז"ל (קרקע) לאביבה רבינוביץ ז"ל, לאבינועם דנין, לאבי שמידע ולגידי נאמן (בוטניקה), לצוותי הייעור ברמת מנשה ובמרחב צפון, ולעוד רבים וטובים – על ייעוץ ועבודה משותפת.

מקורות

1. אבישי מ. 1967. מחקר טקסונומי-גאוגרפי באלונים של המזרח הקרוב (עבודת גמר לתואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
2. איג א. 1935. מחקר היסטורי פוטוסינולוגי על יערות האלון בארץ ישראל בהווה ובעבר. *הטבע והארץ* **1** (ב): 115-127; (ד): 209-215; (ה): 328-334.
3. אלוני ר. 1968. צומח הגליל התחתון (עבודת גמר לתואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
4. ארד א. 1955. הגאולוגיה של הרי אפרים (עבודת גמר לתואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.

5. בר כהן ע. 2001. הזיקה שבין התנאים הסביבתיים לבין הישוב הכפרי המסורתי והמצב האגררי ברמת מנשה לפני קום המדינה (עבודת גמר לתואר מוסמך). רמת-גן: אוניברסיטת בר-אילן.
6. ברוך א. 1994. עדויות פלינוולוגיות להשפעת האדם על הצומח בארץ ישראל בימי קדם. *קדמוניות* 62: (2-1): 47-62.
7. גבירצמן ח. 2002. משאבי המים בישראל. ירושלים: יד בן צבי.
8. גרינברג (גלבוט) י. 1962. הגאולוגיה של אזור כפר החורש – עילוט (עבודת גמר לתואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
9. דנין א. 1970. מונוגרפיה פיטוסוציולוגית-אקולוגית של הנגב הצפוני (עבודה לקבלת תואר דוקטור). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
10. הר נ. 1998. מסלע וקרקע כגורם אקולוגי של תפוצה והתפתחות ביער אלון התבור באזור אלונים-שפרעם (עבודת גמר לתואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
11. הר נ. 2008. מבנה מערכת הקרקע והסלע והדינמיקה של המים בבית הגידול כגורמים אקולוגיים עיקריים בתפוצת אלון התבור והאלון המצוי באזור אלונים מנשה ([עבודה לקבלת תואר דוקטור](#)). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
12. הר נ. 2010. בתי גידול של צומח טבעי בגליל התחתון והמערבי – הבנת המערכות האקולוגיות תוך מחקר וסקרי קרקע-צומח משולבים מפורטים. כנס האגודה הישראלית לאקולוגיה; 21-22 ביוני 2010; באר שבע.
13. הר נ. 2013. בתות ויערות פתוחים – האם שלבים בסוקססיה או בתי גידול יציבים ותפקיד הסלע והקרקע בהתפתחות תצורת הצומח. [אתר המגוון הביולוגי](#), רשות הטבע והגנים.
14. הר נ, זינגר א, ריוב י ושש א. 2000. מסלע וקרקע כגורם אקולוגי ביער אלון התבור באזור אלונים-שפרעם. *אקולוגיה וסביבה* 6(1): 25-42.
15. זהרי מ. 1959. גאובוטניקה, מהדורה שנייה. הוצאת ספרית פועלים.
16. חריף י. 1974. התפתחות מרכיבי הגריגה והחורש הראשיים בשנתם הראשונה וחשיבותן בקביעת הטורים הסוקסיוניים בהרי יהודה (עבודה לקבלת תואר דוקטור). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
17. להב ח, רמון א, נזרי ג והלר א. 2005. סקר רמת מנשה. מכון דש"א, החברה להגנת הטבע. סקרי טבע ונוף.
18. ליטבק (ליטב) מ. 1962. מחקר פיטוסוציולוגי ואקולוגי בחברות הבתה של הרי יהודה (עבודה לקבלת תואר דוקטור). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
19. סבר נ, לשנר ה, רמון א ואחרים. 2014. מדריך למיפוי צומח בישראל, חלק הצומח הים-תיכוני. מכון דש"א, רט"ג, קק"ל, המארג, רמת הנדיב, המשרד להגנת הסביבה.
20. סופר א וקיפניס ב (עורכים). 1980. אטלס חיפה והכרמל, 1980. החברה למחקר שימושי אוניברסיטת חיפה.
21. קרשון ר. 1982. סנגוריה על התורכים – מחקר על השמדת יער אלון התבור בשרון הדרומי. *ליערן* 32: 50-53.
22. רבינוביץ-וין א. 1986. סלע-קרקע-צומח בגליל. הוצאת הקיבוץ המאוחד ורשות שמורות הטבע.

23. שהרבני מ. 1992. השפעת התנאים הסביבתיים על היווצרות הנארי בישראל (עבודת גמר לתואר מוסמך). רמת-גן: אוניברסיטת בר-אילן.
24. שמידע א ולב ארי י. 1982. הצומח והיערות של דרום לבנון. *רותם* **5**: 3–97.
25. Aloni R and Orshasn G. 1972. A vegetation map of Lower Galilee. *Israel Journal of Botany* **21**: 209–227.
26. Arad A. 1965. Geological outline of the Ramot Menashe region (northern Israel). *Israel Journal of Earth Sciences* **14**: 18–32.
27. Bar-matthews M and Ayalon A. 1997. Late Quaternary paleoclimate in Eastern Mediterranean region from stable isotope analysis of speleothems at Soreq Cave, Israel. *Quaternary Researches* **47**: 155–168.
28. Conder CR and Kitchener R.E. 1880. Map of western Palestine in 26 sheets. London: Palestine Exploration Fund (P.E.F).
29. Danin A and Phlitman U. 1987. Revision of plant geographical territories of Israel and Sinay. *Plant Systematics and Evolution* **156**: 43–53.
30. Finkel M, Fragman O, and Nevo E. 2001. Biodiversity and interslope divergence of vascular plants caused by sharp microclimatic differences at "Evolution Canyon II", Lower Nahal Keziv, Upper Galilee, Israel. *Israel Journal of Plant Sciences* **49**(4): 285–296.
31. Fleischer L and Gapsou R. 2003. Northern Israel structural map on top Judea group 1:200,000. Lod: The Geophysical Institute of Israel.
32. Herr N, Frumkin A, and Azaize H. 2002. Mg in carbonate rocks as a Major fact
33. Issar A. 2003. Climate changes during the Holocene and their impact on hydrological systems. Cambridge (UK): Cambridge University Press.
34. Kaplan Y. 1984. The ecosystem of the Yahudia nature reserve with emphasis on dynamics of germination and development of *Quercus ithaburensis* Dence (Ph.D.thesis). The Netherlands: University of Wageningen.
35. Kadmon R and Danin A. 1999. Distribution of plant species in Israel in relation to spatial variation in rainfall. *Journal of Vegetation Science* **10**: 421–432.
36. Koniak G and Noy-Meir I. 2009. A hierarchical, multi-scale, management-responsive model of Mediterranean vegetation dynamics. *Ecological Modeling* **220**(8): 1148–1158.
37. Naveh Z and Carmel Y. 2003. The evolution of the cultural Mediterranean landscape in Israel as affected by fire, grazing, and human activities. In: Wasser SP (Ed). *Evolutionary theory and processes: Modern horizons, Papers in honour of Eviatar Nevo*.
38. Oppenheimer HR. 1957. Further observations on root penetrating into rocks and their structure. *Bulletin of Research Council of Israel* **6**(D): 18–31.

39. Plienger T, Fernando JP, and Schaich H. 2004. Effects of landuse and landscape structure on holm oak recruitment and regeneration at farm level in Quercus ilex L. dehasas. *Journal of Arid Environments* **57**: 345–364.
40. Singer A. 2007. The soils of Israel. Springer–Verlage Berlin Heidelberg.
41. Sneh A, Bartov Y, and Weisbrod T. 2000. Stratigraphic chart of exposed rock–units in Israel. Current Research 12, Geological Survey of Israel, Jerusalem.
42. Sternberg M and Shoshany M. 2001. Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: Comparison of a semiarid and an arid site in Israel. *Ecological Research* **16**: 335–345.
43. Wellings SR and Bell JP. 1980. Movement of water and nitrate in the unsaturated zone of upper chalk near Winchester, Hunts, England. *Journal of Hydrology* **48**: 119–136.
44. Wieder M, Sharabani M, and Singer A. 1994. Phases of calcrete (Nari) development as indicated by micromorphology. Ringhose-Voase AJ and Humpbreys GS (Eds). Soil micromorphology: Studies in management and genesis. Proceedings of the 9th International Working Meeting on Soil Micromorphology; July 1992; Townsville (Australia).
45. Zohary M. 1973. Geobotanical foundations of the Middle East. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
46. Zohary M and Orshansky G. 1951. Ecological studies on lithophites. *Palestine Journal of Botany* (Jerusalem) **2**: 120–129.

נספחים (זמינים באתר)

נספחים 1-6

[להורדה](#)