



השפעת הוספת אפר פחם בבור הנטיעה על ההישרדות וההתפתחות של עצי חורש מועתקים ושתילים במכלי 25 ליטר

אלי בנישו וניר הר, מרחב צפון, קק"ל

elibe@kkl.org.il

תקציר

בתהליך ייצור חשמל בתחנות כוח נוצרות כמויות גדולות של אפר פחם (תחתי + מרחף), שיש למצוא להן שימוש. אחד השימושים העיקריים של עודפי האפר הוא בתחום החקלאות. נערך ניסיון של הוספת אפר פחם בנטיעת עצים מועתקים ושתילים גדולים, שבו נבדקה השפעת האפר על קליטת העצים ועל התפתחותם. הוקמו שתי חלקות ניסיון, האחת ביער הר אכים והשנייה ביער עין תות. בשני האתרים נבחנו השפעת האפר פחם בתוספת קומפוסט (30%) על עצים מועתקים של אלון התבור ואלון מצוי, ובשתילים גדולים (נפח גוש שורשים 25 ליטר), בעיקר מהמינים אלה אטלנטית ואלה ארץ ישראלית. ההעסקה נעשתה בשנת 2012 ונבחנו לאחר שלוש שנים. נמצא מתאם שלילי מובהק בין העצים שקיבלו טיפול אפר לבין הביקורת בעצים המועתקים ביער הר אכים במדדים של קוטר העצים, גובה, צימוח צדדי ולגובה, קוטר נוף לבין חיוניות העצים. בהשוואה של שרידות העצים בטיפול באפר הפחם לעומת הביקורת בעצים המועתקים בהר אכים, נמצא שיש קשר הפוך מובהק ($P=0.014$). כלומר, אחוז ההישרדות בעצים שקיבלו תוספת אפר היה נמוך משמעותית לעומת הביקורת. בשתילים גדולים בשני האתרים נבחנו המדדים גובה וקוטר תחתון ונמצא שאין השפעה מובהקת לתוספת אפר פחם על השתילים שקיבלו טיפול זה לעומת הביקורת.

הסבר אפשרי לתוצאות השליליות האלו יכול להיות קשור לעובדה, שתוספת האפר מעלה את PH של הקרקע, וכתוצאה מכך, זמינות יסודות הקורט יורדת לרמה שמשפיעה לרעה על החיוניות ועל ההישרדות של העצים. תגובות חיוביות לתוספת אפר פחם נמצאו במחקרים שנעשו בקרקעות קלות, חומציות ודלות בחומר אורגני, ואילו בקרקעות של אתרי הניסוי מסוג טרה רוסה ורנדזינה חומה, שהן חרסיות ובסיסיות, אין יתרון לטיפול באפר. מסקנה כללית חשובה ממחקר זה ואחרים היא, שלאור השפעתו הרחבה של האפר בתחומים רבים על הקרקע (פיזיקלי, כימי וביולוגי) יש להתאים את יישום האפר בקרקע בהתאם למאפייניהם של האפר ושל הקרקע שבה הוא מיושם ולתנאים האגרו-אקלימיים. ייחודו

של מחקר זה, בהקשר של ניסויי אפר פחם, הוא שכנראה הוא הראשון שנעשה על עצים מועתקים ובקרקע חרסיתית בסיסית.

מילות מפתח: אפר פחם, העתקות עצי חורש, הישרדות עצים מועתקים, שתילים גדולים.

מבוא

בתהליך ייצור חשמל בתחנות כוח, המופעלות על ידי פחם, נוצרות כמויות גדולות של אפר פחם, כשארית של שריפת הפחם וכמוצר לוואי של ייצור החשמל. הפחם המיובא לישראל מכיל 4-15 אחוז אפר ממשקלו (אתר מנהלת אפר פחם, 2011). בתהליך השריפה עצמו נוצרים אפר מרחף (fa), המהווה כ-90% מכלל האפר, והשאר הוא אפר תחתית (bottom ash).

בארץ הוקמה "מנהלת אפר הפחם" כדי למצוא מגוון שימושים לכמויות הגדולות של אפר, הנוצרות בתהליך ייצור החשמל, כגון: חומר גלם בתהליך ייצור מלט ובבניית סוללות לכבישים ולמחלפים. המנהלת משקיעה משאבים רבים בפיתוח יישומי האפר בתחום החקלאות ובחקירת ההיבטים הסביבתיים-בריאותיים הקשורים בשימוש בו.

השפעת האפר על איכות הקרקע

מחקרים שבדקו את השפעת האפר (אתר מנהלת אפר הפחם והמכון למדעי הקרקע, 2014) הראו את תרומתו של אפר הפחם בתחומי החקלאות הבאים: כמצע מחליף קרקע, כרכיב בקומפוסט וכתוסף לקרקע לשיפור מבני בשלושה סוגי קרקע: (1) בקרקע חרסיתית למניעת סידוק; (2) בקרקעות לס בדרום למניעת היווצרותו של קרום בלתי חדיר למים; (3) בקרקע חולית לשיפור תאחיזת המים. האפר המרחף אף מפחית סחף קרקע ופועל כמייצב חולות בדיונות. כמו כן, נמצא שאפר פחם מרחף בתערובת עם בוצת שפכים וסיד עשוי לדא מחלות שוכנות קרקע.

אפר פחם בתערובת עם קומפוסט משמש כמצע בעל תכונות מבוקשות לגידול צמחים בהיבטים של יחס אוויר

החוקר חן מהאוניברסיטה העברית מחזק את הדעה, שאפר התחתית בגודל גרגירים של 2-10 מ"מ, בתוספת קומפוסט, יוצר מצע טוב שניתן לגדל עליו בחממות צמחי נוי פרחים וירקות (טל, 2005). חן מציין יתרונות נוספים למצע אפר פחם עם קומפוסט, שבאים לידי ביטוי בחיסכון של 30% מים לעומת גידול בחול, בקליטת מתכות מתונה, בהולכה טובה של חומרי דשן, בשמירה נאותה על יחס טוב בין אוויר ומים בקרקע, בדיכוי מחלות צמחים ובשמירה על חומציות הקרקע. היבט סביבתי נוסף של אפר הפחם הוא היותו חלופה לכבול המיובא, שכרייתו נאסרת במדינות רבות עקב הפגיעה הנופית. בעצי אורן היערות (*Pinus sylvestris*) נבדקה השפעה ארוכת טווח של תוספת חנקן לאפר פחם על צמיחת העצים (Hytonen & Fennica, 2003). נמצא שההשפעה ארוכת הטווח של תוספת חנקן לאפר פחם גרמה לצמיחה גדולה יותר באופן משמעותי לעומת הביקורת או עם חנקן לבדו. ממחקר אחר אנו למדים, שפיזור אפר על העלווה גורם לעיכוב בדיות ובפוטוסינתזה (Dahmendra, Upendra, Rudra et al., 2002). ההשפעה של קומפוסט נבחנה בשילובים שונים, כולל אפר פחם, על עצי זית הגדלים באדמות שוליות (כבדות, נתרניות ובלתי מאווררות), הסובלים לעתים ממחסור של יסודות קורט (דג וגל, 2010). נמצא, שתוספת חומר אורגני (אפר פחם עם קומפוסט בריכוז של 30%) בא לידי ביטוי בעצים מפותחים יותר, אך מאידך חלה עלייה בתכולת הכלוריד והנתרן בעלים. אשל (2000) העריך, שבשימוש באפר פחם, המורכב בעיקר מתחמוצות צורן אלומיניום וברזל, ויסודות קורט, יש לקחת בחשבון שהם עלולים בחלקם לגרום נזק לחי ולצומח. חוקרים אחרים (Barman, Kisku, & Bhargava, 1999) מצאו הצטברות של מתכות כבדות (Cr, Ni, Fe, Zn, Cu) בדוח של (Cd, Pb), בירקות שגודלו על גבי מצע אפר פחם. בדוח של הפקולטה למדעי החקלאות והמזון, שהוגש על ידי החוקרים חן ואחרים, הם מציינים, שלאפר הפחם תכונות כימיות שלעיתים אינן רצויות לצמחים ועלולות לגרום להרעלת הצמחים. רעילות זו קשורה ליסודות הנמצאים באפר פחם, כגון אלומיניום, ניקל, קדמיום ובורון וכן מתכות מקבוצת האוקסי-אניונים (Cr, As) (חן, אביעד ומגדל, 2003).

במחקר שבוצע על שני מיני עצים, הראשון *sweetgum* (*Liquidambar styraciflua*) והשני שקמה (*Platanus occidentalis* L), באגנים נטושים, נמצא, שבטיפול של אפר פחם הייתה צמיחה רבה בגובה ובקוטר ביחס לביקורת (Claire & Domy, 1990). התקבל גם ריכוז גבוה יחסית של יסודות קורט, אולם החוקרים העריכו שהצימוח קשור ליכולת של מצע האפר להחזיק מים.

בסדנה שהתקיימה במרכז וולקני על ידי המכון למדעי הקרקע המים והסביבה (סדנה בינלאומית לשימוש באפר פחם בחקלאות, 2014) הציגו חוקרים ממדינות שונות את מחקריהם וניסיונם. Aiken מאוסטרליה ציין את חשיבות

מים רצוי, מוליכות ותאחיזת מים טובה יותר, יציבות במרקם הקרקע וניקיון ממחלות ועשבי בר.

נמצא, שמצע אפר פחם מעורב עם חומרים אורגניים ואנאורגניים הביא לשיפור בתכונות הקרקע בהשוואה לאפר בלבד (Ram & Masto, 2014). החוקרים מציינים את השפעת המצע בתחום שיפור פיזי, כימי וביולוגי של הקרקע שבו הוא מיושם. חומרים כמו סיד, גבס, בוץ אדום, דשן אורגני, זבל עופות ובוצת שפכים גורמים לזמינות תזונתית משופרת, ירידה במתכות רעילות וכן לשיפור בבריאות הכללית של הקרקע. במחקר הודגש, שהממצאים משקפים את ההטרוגניות של מאפייני האפר, סוגי הקרקע ותנאים אגרו-אקלימיים. בכך הוצגה מסקנה כללית חשובה, שיישום האפר בקרקע חייב להיות מותאם למאפייני האפר ולמאפייני הקרקע.

גם במחקר אחר נמצא, שתערובת של אפר פחם עם בוצת שפכים ויישומו במטע שיפרה את המצב הפיזי של הקרקע, שבא לידי ביטוי ביעילות רבה יותר של חומרי הזנה לצמחים שהביאו להגדלת היבול (Yeledhalli & Ravi, 2008). בקרקעות חומציות חל שיפור ברמת ה-PH בכך שהוא עלה מ-4 ל-7.8 (Chen & Li, 2003).

אפר פחם גרם לשיפור ערכי קיבול השדה שעלו בקרקעות חוליות וירדו בקרקעות חרסיתיות. כמו כן, ערכי הפחמן האורגני גדלו עם הוספת אפר פחם בקרקעות חול וחול-חמרה, וירדו בקרקעות חרסיתיות ובינוניות (Naveen, Harit, & Sharma, 2000). חוקרים אחרים העריכו, שהאפר משפיע על תכונותיה הפיזיות-כימיות של הקרקע, כיוון שהוא בעל PH מאוד בסיסי והוא עשיר במיקרואלמנטים שחלקם חיוניים לצמח, אבל עני בחנקן וברזחן זמין (Upendra, Rudra et al., 2002).

בקרקעות נתרניות, שמבנן פגום עקב דיספרסיה (ותגובתן בסיסית), תוספת אפר פחם ובוצה שיפרו את תכונות הקרקע רק בצורה מזערית (פיין ואחרים, 2013). כמו כן, חוקרים במכון למדעי הקרקע, בראשות פנחס פיין, מציינים, שאפר פחם עם בוצה וסיד יכול להחליף דשן, מעשיר את הקרקע בחומר אורגני וביסודות קורט חיוניים וכן מטייב מבנה קרקעות נתרניות. עם זאת, החוקרים מזהירים, ששימוש לא נכון בחומר שאינו מתחשב בתכונות הקרקע, בממשק החקלאי ובתנאי האקלים עלול לגרום לנזקים אפשריים לגידולים ולקרקע. נזקים אלו יכולים לנבוע מ-PH גבוה, מהקטנת זמינות הזרחן ויסודות קורט וכן מהגדלת זמינות הבורון והמוליבדן (מנהלת אפר הפחם, 2013).

השפעת האפר על גידול צמחים

מחקרים רבים בארץ ובעולם בחנו את הסוגיה של גידול צמחים במצע של אפר פחם עם קומפוסט או בלעדיו. בכל המחקרים נבחן הנושא גם כפתרון לבעיות הצטברות של אפר הפחם מתחנות כוח להפקת חשמל.

בממוצע מכיל הפחם הנשרף בישראל 10% אפר פחם. ישנם שני סוגי פחם: תחתית ומרחף. בניסוי שלנו השתמשנו בתחתית (Bottom ash), המהווה 10%-15% מכלל האפר. הוא נראה כחול גס וצבעו אפור כהה; גודל חלקיקיו, שהם תלכידים של הגרגרים המיקרוניים עד 10 מ"מ (כאשר כ-70% ממנו קטנים מ-2 מ"מ); משקלו המרחבי 1 טון למ"ק בקירוב וצפיפותו המרבית בין 1,200-1,500 ק"ג למ"ק.

האפר הישראלי מורכב בעיקר מסיליקה (SiO_2 40-60%) ואלומינה (Al_2O_3 18-30%) ומעט תחמוצת הברזל, מגנזיום, סידן וחומרים אחרים (יסודות רעילים בריכוזי קורט). כמו כן, האפר מכיל גם יסודות רדיואקטיביים בכמות קטנה. תכולת הפחמן הלא שרוף באפר נעה בתחום 3%-6%. לגבי תכונות פיסיקליות האפר פחם מאופיין במשקל נמוך, בחלקיקים כדוריים זעירים ובקשיות.

הניסוי בוצע בשני אתרים: הר אחים ועין תות. בשני האתרים נבחנה השפעת אפר הפחם על עצי אלון מועתקים ועל שתילים גדולים. בכל אתר הועתקו 60 עצים וניטעו 60 שתילים.

אתרי הניסוי

1. **יער הר אחים:** מצפון לבקעת בית נטופה, בגובה 240 מ' מעל פני הים. שיפוע המדרון בינוני והמפנה דרום-מזרחי. ממוצע המשקעים באתר כ-600 מ"מ בשנה, והקרע בו טרה רוסה על מסלע דולומיטי של תצורת דיר חנא, קרקע עמוקה יחסית ואבנית והסלע אינו מכיל מים (הר ובנישו, 2009). הצומח המקומי באתר הוא בתה דלילה של סירה קוצנית.

2. **יער עין תות:** בגובה 200 מ' מעל פני הים, בין מחנה אליקים ואתר חגית. שיפוע מתון ובו מפנה דרומי. ממוצע משקעים כ-600 מ"מ בשנה. הקרקע רנדזינה חומה על שכבות דקות של אבן גיר וקירטון קשה של תצורת עדולם.

תכונות הקרקעות

קרקעות טרה רוסה על דולומיט מתקופת הקנומן מוגדרות לרוב כקרקע חרסיתית עד חרסית כבדה (55%-75% חרסית), כשהמינרל החרסיתי השולט הוא מונטמורילוניט. אחוז החרסית עולה עם העומק, ועומק הקרקע עולה עם הירידה במדרון (גל, 1965, קיומדיז'יסקי, 1972). צבע הקרקע חום אדמדם והוא נובע משחרור תחמוצות של ברזל ואלומיניום. תחום מים זמינים כ-12%. הקרקעות חסרות גיר (> 1%), בעלות אבניות נמוכה, מבנה תלכידים אגוזי עד בלוקי או רגבי. PH בסיסי קל (6.9-7.8) ומכילת חומר אורגני בין 2.5%-5%.

קרקעות רנדזינה חומה על קירטון מתקופת האאוקן מאזור מנשה וסביבתו הן קרקעות רדודות, המוגדרות כקרקע חרסיתית עד חרסית כבדה או עד חרסית חולית (הר, 1998). הקרקע מכילת גיר (9%-20%) או דלת גיר (כ-1%). צבע הקרקע חום כהה עד חום אדמדם כהה או חום אפרפר.

מיסוד היישום שצפוי להימשך שנים והוא יתבסס על מחקרי שדה שתוצאותיהם ישיעו על יישום אפר פחם בשטח על ידי החקלאים. Kumar מהודו ציין, שממצאי המחקר מצביעים על כדאיות יישום של אפר פחם בחקלאות, בעיקר כמקור ליסודות הזנה, במדדי צימוח (גובה וקוטר) בייעור, בהקטנת תמותה של זנים שונים ובשיקום קרקעות נתרניות. Wayne מדרום אפריקה הצביע על מחסור בקרקעות חקלאיות זמינות, הגורם לכך שנעשה שימוש בקרקעות חומציות ודלות בחומרי הזנה. במחקר שנמשך 15 שנה נבחנה תוספת של אפר פחם כתחליף לסיד, שסייעה בהעלאת ה-PH ובשמירתו בתחום הנדרש לצמחים ושיפרה את תכונות הקרקע. פיין (מכון וולקני) ציין את הפוטנציאל האגרונומי באפר מרחף, שבא לידי ביטוי בשיפור מבנה קרקעות של חול ושל לס חרסיתי ונתרני, וזאת בעזרת תכונותיו הפיסיקליות של האפר פחם ותרומתו לדישון הקרקע ביסודות הזנה מן האפר כרכיב בבוצה מיוצבת באפר ובסיד. עם זאת, יש לציין, שבניגוד לקרקעות המוזכרות במחקרים שנעשו בארצות צפוניות גשומות וקרות מחד גיסא, ובאזורים טרופיים מאידך גיסא, שבהם סלע האם אינו גירני והקרקעות הן בעלות תגובה חומצית מאוד, קרקעות ישראל מאופיינות בתגובה ניטרלית-בסיסית.

בניסוי שנעשה בקרן קימת לישראל על עצים מועתקים מושקים, יחד עם מנהלת אפר הפחם (חן, וינברגר, בנישו ואחרים, 2009) נמצא (על סמך התרשמות), שאפר הפחם (אפר תחתית מנופה 2-8 מ"מ) יחד עם 25% קומפוסט (שמקורו בוצה) ואשר שימש כמצע בתוך בורות הנטיעה, שיפר את הקליטה והבלבול, שהיו טובים יותר על מצע הפחם מאשר בקרקע טבעית (טרה רוסה).

לאחר שנה נעשו מדידות מדויקות יותר ונמצא יתרון מובהק לעצים שגדלו על מצע אפר פחם בצימוח צדדי, שהתבטא בהגדלת הקוטר של נוף העץ ובאורך צימוח ממוצע רב יותר. כמו כן, נמדדה צפיפות השורשים ונראה שהשורשים היו רבים יותר במצע האפר (לא מובהק סטטיסטית עקב מדגם קטן) ובמצע זה נצפה צימוח של שורשים מתוך שטח החתך של השורשים המועתקים שנחתכו בהעתקה. גם כאן ההתרשמות הכללית הייתה, שיש יתרון לעצים שגדלו על מצע האפר הן בצימוח והן בצפיפות השורשים (הר ובנישו, 2009).

היפותזת המחקר הייתה, שתוספת אפר פחם עם קומפוסט (30%) בעצים בוגרים מועתקים (אלון תבור ואלון מצוי) וכן בנטיעת שתילים גדולים תשפר את קליטתם והתפתחותם.

חומרים ושיטות

הרכב כימי ותיאור האפר פחם התחתית

מקור האפר פחם (Coal ash) הוא שארית מינרלית משריפת פחם בתחנות ליצור חשמל (אתר מנהלת אפר פחם). אפר הפחם משתייך לקבוצת תוצרי שריפת הפחם (CCPs).



תמונה 1: כיסוי אלון תבור מועתק באדמה לאחר שהונחה עליו שכבת אפר פחם בעין תות תוך הזרמת מים רציפה.

Picture 1: Transplanted *Quercus ithaburensis* cover with soil after application of coal ash via continuous water flow, En Tut.

פזורה אדמה מקומית לסגירה סופית של הבור. תוך כדי המילוי הוזרמו מים, כדי לסגור את כל כיסי האוויר, כמקובל בהענקות עצים (הר וחוב', 2009). ב-30 עצי הביקורת ניתן קומפוסט בלבד בכל בור נטיעה בכמות של 50 ק"ג לכל עץ. כל העצים הושקו על ידי מערכת טפטוף (6 טפטפות בספיקה של 4 ליטר לשעה שמוקמו סביב העץ).

2. שתילים גדולים (נפח שורשים 25 ליטר): הניסוי נערך באותם אתרים, בסמוך לניסוי ההענקות בתנאים סביבתיים דומים.

ביער הר אחים כל השתילים שנבדקו היו של אלה אטלנטית, וביער עין תות ניטעו מספר מינים (ראה טבלה 2). לכל שתיל הוספו 60 ליטר אפר פחם בבור הנטיעה. האפר פוזר בעזרת מעדר, חלקו הונח מתחת לשתיל וחלקו בין השתיל ודפנות הבור. החלק העליון כוסה עם קרקע מקומית. לשתילי הביקורת ניתנו רק 8 ליטר קומפוסט ממפעל "שחם", גבעת עדה, לבור הנטיעה. ההשקיה הייתה בטפטוף (2 טפטפות בספיקה של 4 ליטר לשעה).

מועדי העתקה ומדידה: העתקה ביער עין תות נעשתה ב-19.1.2001 ויער בהר אחים ב-6.2.2012. נטיעת השתילים הגדולים נעשתה בסמוך לחלקות ההענקות ובוצעה זמן קצר לאחר סיום ההענקות. המדידות נעשו בנובמבר 2012.

אחוז פחמן אורגני 2.4%-4.5% וקיבול קטיונים חליפים כ-80 מא"ק/ג'. מלבד סידן ופחמן, הקרקע מכילה בעיקר אלומיניום (7%) ברזל (5%) ומגנזיום (1%). בתמיסת הקרקע ריכוז היסודות בקרקעות אלו גבוה מאשר בטרה רוסה. הקטיונים הם בעיקר סידן, נתרן, מגנזיום ואשלגן והאניונים הם חנקה, גופרה, כלוריד, פלואוריד ומעט זרחה. מבין יסודות הקורט בולטים ברזל, אבץ, סטרונציום ובריום. הריכוזים הגבוהים הם לאחר הגשם הראשון. תחום המים הזמינים (משקלי) הוא 13%-19%, ולסלע הקירטון יש תרומה משמעותית נוספת של מים בנקבובי הסלע.

ה-PH של הרנדזינות החומות הינו בסיסי (7.2-7.8) (גל, 1965).

תיאור הניסויים

1. הענקות עצים: הניסוי בוצע בשני האתרים. בהר אחים הועתקו עצי אלון מצוי, ובעין תות הועתק אלון התבור. בכל אתר מחצית העצים ניטעו במצע של אפר פחם ומחציתם שימשו כביקורת. אפר הפחם יושם בכמות של 1 מ"ק לעץ של אפר פחם מנופה עם 25% קומפוסט מאתר בית אלעזרי. בבור הנטיעה שגודלו 1.5x1.5 בעומק 1 מ', הונחה שכבת אפר פחם בעובי של 20 ס"מ (כחצי מ"ק). על שכבה זו הונח העץ המועתק ומסביבו פוזר עוד חצי מ"ק של אפר הפחם. מעליהם

היו של אלה אטלנטית, וביער עין תות, שבו ניטעו מספר מינים (טבלה 2).

לכל שתיל הוספו 60 ליטר אפר פחם לבור הנטיעה. האפר פוזר בעזרת מעדר, חלקו הונח מתחת לשתיל וחלקו בין השתיל לדפנות הבור. החלק העליון כוסה עם קרקע מקומית. לשתילי הביקורת ניתנו רק 8 ליטר קומפוסט ממפעל "שחם", גבעת עדה, לבור הנטיעה. ההשקיה הייתה בטפטוף (2 טפטפות בספיקה של 4 ליטר לשעה). נטיעת השתילים הגדולים נעשתה בסמוך לחלקות ההעסקה ובוצעה זמן קצר לאחר סיום ההעסקה.

מדידת קוטר הגזע נעשתה עם קליבר בגובה 20 ס"מ מהקרקע. מדידת הגובה נעשתה בעזרת מוט מדידה.



תמונה 2: נטיעת שתיל גדול של אלה אטלנטית עם תוספת אפר פחם לבור הנטיעה בהר אחים.

Picture 2: Planting a large *Pistacia atlantica* sapling with the addition of coal ash to the planting pit, Har Ahim Forest.

ניתוחים סטטיסטיים

1. **מתאם פירסון** בין טיפול אפר הפחם לחיוניות נעשה בתוכנת SPSS בין המשתנה הבינרי של אפר הפחם (אפר=1, ביקורת=0) לבין משתנה החיוניות.
2. **מבחן T** נעשה (1) לבחינת ההבדלים בהישרדות העצים המועתקים בהשוואה לביקורת (2) בחינת ההבדלים בגובה ובקוטר התחתון של השתילים הגדולים.

המדדים שנבדקו בחלקות הניסוי

1. עצים מועתקים

- א. קוטר הגזע בגובה 130 ס"מ נמדד בעזרת קליבר.
 - ב. גובה הנוף המקורי נמדד בעזרת מוט מדידה ביום ההעסקה.
 - ג. גובה הנוף בעת המדידה.
 - ד. אורך צימוח צדדי מרבי של ענפים שצמחו לאחר ההעסקה.
 - ה. אורך צימוח לגובה של ענפים שצמחו לאחר ההעסקה.
 - ו. חישוב הפרש הגובה שבין יום המדידה ליום ההעסקה.
 - ז. חישוב הפרש קוטר הנוף שבין יום המדידה ליום ההעסקה.
- בעצים מועתקים, הכוללים יותר מגזע אחד, חושב קוטר משוקלל על ידי חיבור שטחי החתך של הגזעים וחישוב הקוטר של השטח הכולל בגובה 1.3 מ' מהקרקע.
- ח. חיוניות העצים אשר הוערכה כדלקמן:

מקרא חיוניות במדידות השנה הראשונה של העצים המועתקים ושתילים הגדולים (ההתייחסות לשתילים הגדולים מתחילה רק בהמשך).

0 – מת

1 – עד 1/3 מנוף העץ ירוק

2 – עד 2/3 מנוף העץ ירוק

3 – מעל 2/3 מנוף העץ ירוק

4 – מצטיין

נבחנו מתאמים r^2 ומובהקות P (בתוכנת SPSS) בין המשתנים שנמדדו לבין טיפול אפר הפחם כמשתנה בינארי (0-1).

ט. הערכת הישרדות של העצים המועתקים נעשתה בסוף השנה השלישית בהר אחים ב-30.3.15.

במדידת ההישרדות נרשמו עצים מלבלבים בענפים (2), עצים מלבלבים רק בבסיס הגזע (1) ועצים מתים ללא לבלוב כלל (0).

2. שתילים גדולים (נפח שורשים 25 ליטר)

השתילים גודלו במשתלת גולני (ק"ל) במכלים שנפחם הוא 25 ליטר. המצע שלהם מורכב מכבול 40%, כבול גס 20%, פרלייט מס' 4 – 20%, טוף 20% אדום וכן דשן בשחרור איטי.

הניסוי נערך בשני אתרים: ביער הר אחים באותם תנאי קרקע ואקלים שתוארו לעיל, שבו כל השתילים שנבדקו

תוצאות ודיון

עצים מועתקים.

מדירות צימוח וחיוניות נערכו בעצים המועתקים ביער הר אחים, בסוף השנה הראשונה בתאריך 14.11.2012. נמדדו מספר גזעים, קוטר הגזע, הצימוח לגובה וצימוח צד (ממוצע ומרבי) והוערכה החיוניות. בטבלה מוצגים נתונים של ממוצעי שורות בניסוי (טבלה 1).

שטילים גדולים

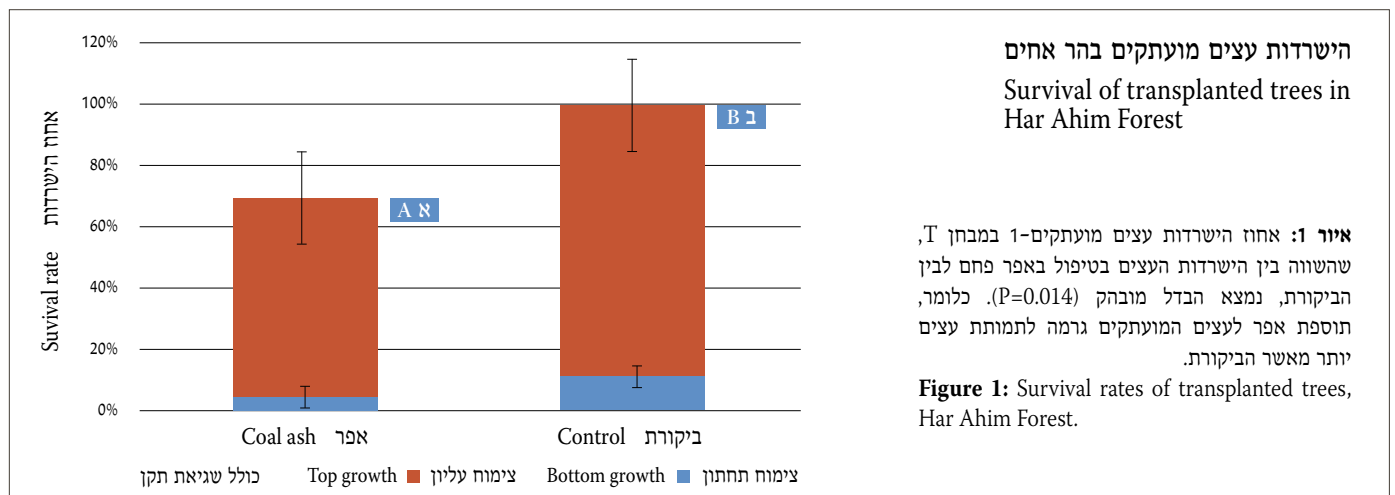
מדירות קוטר וגובה נערכו בהר אחים ב-26.11.2012 ובעין תות ב-29.11.2012 (טבלה 2).

יער הר אחים – חלקת מעקב

מס' שורה Line no.	טיפול Treatment	קוטר גזע ממוצע (ס"מ) Average sapling diameter (cm)	גובה ממוצע (מ') Average canopy height (m)	צימוח מרבי צדדי (ס"מ) Max. side growth (cm)	Original	Original	קוטר נוף ירוק (מ') canopy diameter (m)	ממוצע מקורי Original average	חיוניות Vitality
1	אפר Ash	20.8	2.4	27.9	2.4	2.4	26.3	0.4	1.8
2	ביקורת Control	13.4	2.9	39.6	2.7	2.9	43.3	6.8	2.3
3	אפר Ash	16.2	2.4	41.2	2.3	2.4	40.0	1.0	2.0
4	ביקורת Control	10.9	2.5	36.6	2.4	2.5	34.5	1.3	2.7
5	אפר Ash	24.4	3.0	38.5	2.6	3.0	44.7	2.2	3.0
6	ביקורת Control	14.0	2.4	31.1	2.5	2.4	44.2	1.1	2.5
7	פחם Coal	14.8	2.4	48.2	2.0	2.4	43.2	1.3	2.5
8	ביקורת Control	11.9	2.4	47.2	2.1	2.4	64.2	1.1	3.0
9	פחם Coal	12.9	2.4	32.1	2.4	2.4	31.3	1.9	1.7
10	ביקורת Control	11.8	2.5	30.7	2.3	2.5	32.5	1.0	2.8

טבלה 1: תוצאות המדידה בעצי אלון מצוי (*Quercus calliprinos*) מועתקים ביער הר אחים בסוף השנה הראשונה (14.11.2012).

Table 1: Measurement results of *Quercus calliprinos* trees, one year after transplantation, Har Ahim Forest.



טבלה מרכזת – תוצאות סטטיסטיות (שתילים גדולים) – מבחן T

קבוצה	אתר	מין העץ	משתנה	טיפול	מספר עצים	ממוצע	סטיית תקן	מבחן דו-צדדי	מובהקות
Group	Site	Tree	Variable	Treatment	N	Average	Std. Deviation	sig-(2 tail)	Significance
1	הר אחים	אלה אטלנטית	גובה	אפר	30	2.101	0.33	0.715	אין מובהקות
	Har Ahim	Pistacia atlantica	Height	ביקורת	30	2.07	0.278		No significance
2	אליקים	כל העצים	גובה	אפר	26	2.475	0.527	0.915	אין מובהקות
	Elyakim	All trees	Height	ביקורת	30	2.49	0.513		No significance
3	אליקים	אלה אטלנטית	גובה	אפר	6	2.58	0.281	0.661	אין מובהקות
	Elyakim	Pistacia atlantica	Height	ביקורת	6	2.42	0.207		No significance
4	אליקים	אלון תבור	גובה	אפר	8	2.26	0.183	0.796	אין מובהקות
	Elyakim	Quercus itaburensis	Height	ביקורת	11	2.22	0.475		No significance
5	אליקים	אלה א"י	גובה	אפר	12	2.55	0.59	0.411	אין מובהקות
	Elyakim	Pistacia palaestina	Height	ביקורת	11	2.75	0.49		No significance
6	הר אחים	אלה אטלנטית	קוטר תחתון	אפר	30	27.9	5.03	0.589	אין מובהקות
	Har Ahim	Pistacia atlantica	Bottom diameter	ביקורת	30	27.33	3.36		No significance
7	אליקים	אלה אטלנטית	קוטר תחתון	אפר	6	36.7	12.31	0.666	אין מובהקות
	Elyakim	Pistacia atlantica	Bottom diameter	ביקורת	6	33.8	9.411		No significance
8	אליקים	אלון תבור	קוטר תחתון	אפר	8	28.1	4.3	0.432	אין מובהקות
	Elyakim	Quercus itaburensis	Bottom diameter	ביקורת	11	29.8	4.6		No significance
9	אליקים	אלה א"י	קוטר תחתון	אפר	12	28.5	3.3	0.919	אין מובהקות
	Elyakim	Pistacia palaestina	Bottom diameter	ביקורת	11	28.4	3.95		No significance

טבלה 2: נתוני גובה וקוטר תחתון בניסוי השתילים הגדולים בטיפול האפר וביקורת ותוצאות מבחן T להשוואה בין הטיפול והביקורת.

Table 2: Data table of T-test results for large seedlings.

המקדים שנעשה בקרן קימת לישראל על מדגם קטן (הר ובנישו, 2009), שמצא יתרון מובהק לעצים מועתקים שגדלו על מצע אפר פחם, שבא לידי ביטוי בצימוח צדדי רב יותר ובו נצפתה פריצת שורשים רבה יותר. ייתכן שההבדלים בתנאי הניסוי גרמו לתוצאות שונות. בניסוי 2009 המין המועתק היה אלון התבור (לעומת אלון מצוי בניסוי הנוכחי) והצומח המקומי היה יער פזור של חרוב בר, זית ואלת המסטיק, המצביע על תנאים משופרים לעומת סביבת הסירה הקוצנית בניסוי הנוכחי. התוצאות שהתקבלו כאן נמצאות בניגוד למחקר שנעשה במרכז פינלנד בעצי אורן (Hytonen & Fennica, 2003), שבו אפר עם תוספת של חנקן גרם לצמיחה רבה יותר לעומת הביקורת או לתוספת חנקן בלבד. כך גם, במחקרים בקרקעות בעייתיות (Claire & Domy, 1990),

מתקבל שבניסוי השתילים הגדולים אין הבדל מובהק בגובה ובקוטר התחתון של השתילים שטופלו באפר פחם לעומת שתילי הביקורת בשני האתרים, הר אחים ועין תות.

דיון וסיכום

מטרת המחקר הייתה לבדוק, לאור העלויות הגבוהות של העתקות עצים ונטיעת שתילים גדולים, כיצד לשפר את אחוז הקליטה של העצים ואת התפתחות העצים והשתילים. אחת האפשרויות שהוצעו לשם כך הייתה שימוש באפר פחם עם קומפוסט (30%) כמצע בבורות הנטיעה של העצים והשתילים. לא נמצא יתרון לטיפול אפר הפחם בניסוי השתילים בקוטר וביצימוח לגובה. בעצים המועתקים, בטיפול האפר נמצאה הפחתה בחיוניות ובהישרדות. זאת, בניגוד למחקר

אלון התבור באזור אלונים-שפרעם. עבודת גמר לתואר מוסמך. ירושלים: הפקולטה לחקלאות ברחובות, האוניברסיטה העברית.

חן, י., אביעד, צ. ומגדל א. (2003). אפיון כימי ופיזיקלי של אפר פחם תחתי ופיתוח השימוש בו כמצע לגידול צמחים (ד"ח מסכם). הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, המחלקה לקרקע ומים. רחובות.

חן, י., וינברגר, מ., בנישו, א., ולוב, ע. (ספטמבר 2009). סיוור בשטח הר אחים. קק"ל, מנהלת הפחם.

טל, ד. (2005, 25 בנובמבר). "הפתרון המושלם: אפר פחם יחליף את הטוף והכבול כמצע לגידולים" (גרסה אלקטרונית), עיתון גלובס <http://www.ios.org.il/site/newsPage.asp?id=827>

מנהלת אפר הפחם. (2013). בוצת שפכים מיוצבת בעזרת סיד ואפר פחם מרחף להחלפת דשנים וחומרי הדברה ולטיוב קרקע בחקלאות. אפר דע, 12.

http://www.coal-ash.co.il/docs/EferDa12_N-ViroLeafletNov2013.pdf

פיין, פ. ואחרים. (2013). ייעוד במס"א ליישום חקלאי-מעקב אגרונומי וסביבתי. משרד החקלאות, מרכז וולקני.

קוימדז'סקי, ח. (1972). התנהגות המגנין בבלית סלעים קרבונוטיים וסיליקטיים והשפעתו על הפדוגנזה בישראל. עבודה לתואר דוקטור. ירושלים: האוניברסיטה העברית.

Barman, S.C., Kisku, G.C., & Bhargava, S.K. (1999). Accumulation of heavy metals in vegetables, pulse and wheat grown in fly ash amended soil. *Journal of Environmental Biology*, 20 (1): 15–18.

Chen, J. & Li, Y. (June 15–19, 2003). Amendment of fly ash to container substrates for ornamental plant production. *Coal Combustion Byproducts and Environmental Issues* (pp. 177–183). Uppsala, Sweden: Springer

Claire, L.C. & Domy C.A. (1990). Growth and elemental content of two tree species growing on abandoned coal fly ash basins. *JEQ* (20) 3: 581–587.

Dharmendra, K.G., Upendra, N.R., Rudra, D.T., & Masahiro, I. (2002). *Journal of Plant Research* (115), 6: 401–409. Impacts of fly-ash on soil and plant responses.

Effects of wood, peat and coal ash fertilization on Scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural peat soils. Hytonen, J. & Fennica, S. (2003).

International Workshop on Agricultural Coal Ash Uses, Strategy, Agronomy, Environment & Health (May 2014). Beit Dagan.

Ram, L.C. & Mastro, R.E. (2014). Fly ash for soil amelioration: A review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments. *Earth-Science Reviews*, 128: 52–74.

Naveen, K., Harit, R.C., & Sharma, S.K. (2000). Effect of fly ash incorporation on soil properties of texturally variant soils. *BioSource Technology*, 75(1): 91–93.

Yeledhalli, N.A. & Ravi, M.V. (2008). Effect of co-application of fly ash and sewage. *Asian Journal of Soil Science*, 3(1): 71–75.

שבהם התקבלה תוספת צימוח עם תוספת האפר וכך גם במחקרים שנעשו בארץ בקרקע נתרנית ובמצע מנותק. נמצא שתוספת אפר פחם עם קומפוסט באה לידי ביטוי בעצים מפותחים יותר וגם בבלבול טוב יותר של העצים (דג וגל, 2010; חן, וינברגר, ובנישו, 2009).

מסקנה חשובה ממחקר זה, לאור ההשפעה הרחבה של האפר פחם בשילובים שונים, בתחומים רבים על הקרקע (פיזי, כימי וביולוגי) היא, שניתן לאמץ את מסקנות החוקרים (Masto ו-Ram, 2014), שמאחר שישנה הטרוגניות למאפייני האפר, לסוג הקרקע ולתנאים אגרו-אקלימיים, חשוב ביותר שיישום האפר בקרקע יהיה מאוד ספציפי, בהתאם למאפייניו של האפר ולקרקע שבו הוא ניתן.

מכאן ניתן להניח, שסוג הקרקע שבה נערך הניסוי, במקרה שלנו קרקעות חרסיתיות מסוג טרה רוסה ורנדזינה חומה, ובהקשר מסוים של מערכת הסלע-קרקע, הוא גורם שאפר הפחם אינו תורם להתפתחות העצים ואף משפיע לשלילה עד כדי תמותת עצים (בהעתקות). כמו כן, בקרקעות אלו אין יתרון לעצים, כיוון שאין מחסור ביסודות קורט, הן אינן קרקעות קלות או חומציות ואינן סובלות ממחסור בחומר אורגני. ייתכן שישנה משמעות למינון האפר בהתאמה לגודל העצים.

ייחודו של המחקר בהקשר של מחקרי אפר הפחם הוא בכך, שהוא כנראה היחיד שבו הנושא נבדק בעצים מועתקים ובקרקע חרסיתית בסיסית (בהשלמה למחקר הקודם של הר ובנישו, 2009). רוב הניסיונות באפר פחם בעולם נעשו בקרקעות בעלות נטייה חומצית (PH נמוך) ויתרונם בא לידי ביטוי בקרקעות קלות או דלות או נתרניות. ייתכן שתוספת האפר העלתה את הבסיסיות עוד יותר, דבר שהיה יכול גם להתבטא בהפחתת קליטה של מספר יסודות קורט.

מקורות

אשל, מ. (2000). כך הפך אפר פחם מנטל לנכס. ירוק כחול לבן: ביטאון פורום המשק והכלכלה למען איכות הסביבה בישראל, 33.

אתר מנהלת אפר פחם: www.coal-ash.co.il/efer.html

גל, מ. (1965). גזים תכונות והתפשטות של קרקעות ממוצא של סלעי פחמה בגליל העליון. עבודה לתואר דוקטור. ירושלים: הפקולטה לחקלאות ברחובות, האוניברסיטה העברית.

דג, א. וגל, א. (2010). שימוש בקומפוסט בוצה במטעי זית לשמן. דוח לתכנית מחקר מספר 203-0699-08 יחד עם הפקולטה ברחובות ושה"מ. מינהל המחקר החקלאי גילת.

המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני (2014). סדנה בינלאומית על השימוש באפר פחם בחקלאות. הקריה החקלאית בית דגן.

הר, נ., בנישו, א., בונה, ע., בן ישי, ש., גינסבורג, פ., וינברגר, מ., וזידאן, ס. (2009). גורמים המשפיעים על הקליטה והתפתחות של עצי אלון תבור מועתקים, יער, 11: 32–40.

הר, נ. ובנישו, א. (2009), אגף הייעור ומרחב הצפון, פס הירק. קריית חיים.

הר, נ. (1998). מסלע וקרקע כגורם אקולוגי של תפוצה והתפתחות ביער