

22 דצמבר, 2015  
מנ – 39220

**שדרוג התנאים הסביבתיים לשימושי אפר פחם בקרקע – סלילה, תשתיות וחקלאות<sup>1</sup>**  
המסמך מתבסס על דיונים שהתקיימו בצוות המקצועי-מדעי (מזהמים)<sup>2</sup>

**מבוא**

התנאים הסביבתיים לשימוש באפר פחם מרחף ביישומי קרקע שונים בסלילה כבישים, במילוי תשתיות וכתוסף לקרקע ליעודים חקלאיים<sup>3</sup>, נקבעו ע"י המשרד להגנת הסביבה בשנת 1998 בהמלצת מנהלת אפר הפחם בהתבסס על סיכום הועדה מקצועית-מדעית לאפר פחם של המנהלת<sup>4</sup>.

התנאים נקבעו בהנחות מחמירות על המסה מרבית ושטיפה של המזהמים באפר, על מעברם המידי בקרקע ועל הצטברותם במי תהום בפוטנציאל הכמותי המלא של האפר המיושם בשימוש נתון. הנחות אלו, המחמירות בעליל לדעת כל המומחים, היו בלתי נמנעות במצב הידע שהיה בידינו בעת ניסוח התנאים באשר לתהליכים המתרחשים באפר ובסביבתו:

- מנגנוני המסת המזהמים.
- פרופיל המסת המזהמים על פני זמן.
- שיעור חשיפת האפר בסוללה לתהליכי המסה.
- שיעור שטיפת המזהמים מתוך סוללת האפר.
- מנגנוני מעבר המזהמים בקרקעות לסוגיהן.
- תהליכי מיהול המזהמים המגיעים למי התהום, בתלות בסוג המסלע ובמאפייני האקוויפר.

יתר על כן, שיטות המדידה האנליטיות שהיו זמינות ומקובלות בעת ההיא לאמידת המסת מזהמים מפסולות תעשייתיות – **TCLP** של USEPA – הניחו סביבה חומצית אגרסיבית שלא שקפה את המציאות לה נחשף אפר הפחם בשימושו.

על רקע ההערכה המחמירה הנ"ל ובהתבסס על ממצאי חקירה ראשונית שנערכה בהנחיית הוועדה של פוטנציאל שטיפת המזהמים מהאפר בסביבה מדומה קיצונית כמוגדר במבחן TCLP כברירת מחדל, נוסחו התנאים הסביבתיים המגבילים שימוש באפר פחם בתשתיות לאזורי רגישות מי תהום ג' (העדר מי תהום או בקיום שכבת מגן אטימה). אישור לשימוש באפר פחם מרחף בסלילה ובתשתיות באזורי רגישות גבוהה יותר חייב הערכה גיא-הידרולוגית נקודתית ושימוש חקלאי היה טעון גם חקירת האינטראקציה בין האפר לקרקע ולצמחים.

בהמלצת הועדה יזמה המנהלת מהלך מחקרי מעמיק במגמה ליצור בסיס ידע לניסוח תנאים המשקפים נכון יותר את הסיכונים האמיתיים מחד גיסא ופותרים מרחב תמרון רחב יותר ליישומים מאידך גיסא, תוך הבחנה בין אפר מרחף לתחתית.

**ממצאי המחקרים**

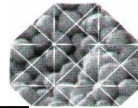
ממצאי המחקרים וההערכות הסביבתיות הנגזרות מהם בשימושי האפר הוצגו ונדונו בשלוש [סדנאות בינלאומיות שהתקיימו ביוזמת המנהלת בשנים 2005, 2009 ו-2012 \(מושב משלים 2013\)](#). המחקרים העלו את עיקרי הממצאים הבאים:

<sup>1</sup> הצעת התנאים המשודרגים הוגשה לראשונה ב-23.10.11. בעקבות דיונים נוספים שהתקיימו בצוות המקצועי-מדעי (מזהמים) ובסדנה הבינלאומית הוכנסו שינויים אחדים בתנאים המוצעים.

<sup>2</sup> חברי הצוות המקצועי-מדעי (מזהמים) שהשתתפו בדיונים על הצעת התנאים: פרופ' אורי מינגלרין (יו"ר), פרופ' רמי קרן ז"ל, דר' יעקב נתן ז"ל, יועץ דויטש, דר' נדיה טויטש, דר' ישעיהו בראור, אילן נסים, דר' אילן צדיקוב, דוד וינברג, גיא רשף, דר' אריאל מצגר.

<sup>3</sup> [הנחיות סביבתיות להסדרת השימוש והטיפול באפר פחם, מרץ 1998](#)

<sup>4</sup> [סיכום הועדה המקצועית-מדעית לאפר פחם, מאי 1997](#)



### בתחום שטיפת יסודות קורט

- **ריכוזים נמוכים מאד של יסודות קורט (למעט בורון) נשטפים בנגר מסוללת אפר מרחף** – ניטור יסודות קורט בנגר, סחף וקרקע כיסוי בסוללת אפר מרחף בכביש ג'יסר א-זרקא, 1998 – 1999, 2008 – 2009, דר' מני בן-חור, מכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני לחקר החקלאות.
- **אפר מרחף מהודק בסוללת כביש הוא מונולית יציב כימית, אינרטי לסביבה** – הערכה מבנית של סוללות אפר פחם בכביש 57, 2000 – 2004, דר' מריו הופמן, "יונה" – ייעוץ וניהול הנדסי בע"מ; מעקב אחר שינויים כימיים ומינרלוגיים בסוללת אפר מרחף בכביש ג'יסר א-זרקא, 1997, 2000, 2003, 2006, יועץ דויטש, דר' יעקב נתן, המכון הגיאולוגי.
- **מסיסות המזהמים באפר מרחף הנחשף לסביבה פוחתת במהירות כתוצאה מקיבועם בתוך שריג האפר בתהליך "הזדקנותו"** – שחרור אוקסי אניונים מאפר מרחף בסביבה מימית, פרופ' רמי קרון, מכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני לחקר החקלאות, 2008.
- **אפר מרחף המעובד בסוללת כביש נאטס למעבר מים בתהליך מהיר יחסית כתוצאה משקיעת גיר בחשיפה ל- CO<sub>2</sub> באוויר** – חידור מים באפר מרחף בסוללות כבישים, ג'יסר א-זרקא (1999) וכביש 6 (2005 – 2009), פרופ' רמי קרון, מכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני לחקר החקלאות.
- **מנגנוני ספיחה ושחרור של אוקסי-אניונים המשתחררים מהאפר בתערובת עם קרקע ביישומים חקלאיים ובתשתיות קיבלו ביטוי בנוסחת חיזוי המתחשבת בסוג הקרקע** – פיתוח שיטה לאומדן שחרור אוקסי-אניונים מאפר פחם מרחף המוצנע בקרקע, פרופ' רמי קרון, מכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני לחקר החקלאות, 2005.
- **לא ניכרה השפעת אפר מרחף על ריכוזי יסודות בקרקע גם בעומס גבוה יחסית החורג מרמות היישום המעשיות** – שימוש באפר מרחף לשיפור תכונות קרקעות חקלאיות, דר' פנחס פיין, פרופ' אורי מינגלגרין וחוב', מכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני לחקר החקלאות, 2010.
- **ריכוזי יסודות קורט אחדים (מוליבדן, סטרונציום וכרום) עלו במידה מסוימת ביבול צמחים בקרקע המכילה אפר בעומס גבוה, אולם לרמות שאין בהן סכנת זיהום** – כנ"ל.

עם השנים גם נצבר בסיס נתונים רחב היקף על המסת מזהמים באפר מרחף למקורותיו בשיטות השטיפה השונות – TCLP של USEPA (שטיפה בחומצה) שאומצה בתחילת הדרך כשיטה הרגולטורית לשימושי אפר פחם בישראל; CAL-WET של California EPA – המחמירה יותר; שיטת השטיפה EN 12457-2 (שטיפה במים מזוקקים) של הדירקטיבה האירופאית להטמנת פסולות (Council Directive 2003/33/EC, Section 3), המשקפת את המציאות טוב מהאחרות.

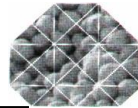
### אפר תחתית

- **כל יסודות הקורט באפר תחתית נמצאים בריכוז דומה או נמוך לזה של סלע משקע ממוצע הנפוץ בישראל** – פוטנציאל הזיהום בשימושי אפר פחם תחתית, דר' יעקב נתן, יועץ דויטש, המכון הגיאולוגי, 2004.
- **ריכוזי יסודות קורט שנמצאו במי נקז של מצע אפר תחתית המשמש לגידול צמחים נמוכים מהמותר בתקן מי השתייה** – פרופ' יונה חן, צילה אביעד, הפקולטה לחקלאות, מזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים, 1998, 2003.
- **לא נמצאה השפעה של אפר תחתית המיושם כחומר מילוי באתר תשתית על ריכוזי מזהמים במי תהום** – מעקב רב שנתי של ריכוזי יסודות קורט במי תהום, אתר זיקים, דר' יעקב נתן, המכון הגיאולוגי, 2001 – 2010.

במקביל נערכו מחקרים על היבטים סביבתיים משלימים ביישומי התשתית והחקלאות:

### בתחום החשיפה לאבק:

- **רוב חלקיקי הקוורץ (סיליקה גבישית) באבק אפר מרחף בר נשימה מצופים באלומינו-סיליקטים אמורפיים ולפיכך אין בהם סיכון בריאותי** – היבטי בריאות תעסוקתית של אפר פחם מרחף, דר' יעקב נתן, המכון הגיאולוגי, דר' אשר פרדו, אוניברסיטת תל-אביב, דר' אריאל מצגר, חברת החשמל, 2009.



- [מקטע החלקיקים בני הנשימה באפר תחתית הוא 0.4% בלבד וחלקם אינו מגיע לריחוף עקב כליאתם בין חלקיקים גסים מאוד](#) – היבטי בריאות וגהות בשימושי אפר פחם, דר' אשר פרדו, המכון הארצי לבריאות סביבתית ותעסוקתית, 2004.
- [ריכוז הסיליקה החופשית בת הנשימה באפר תחתית נמוך מאוד \(0.002%\) – פוטנציאל הזיהום בשימושי אפר פחם תחתית](#), דר' יעקב נתן, יועץ דוויטש, המכון הגיאולוגי, 2004.

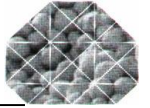
בתחום החשיפה לקרינה:

- [תוספת מנת הקרינה לעובדים הכרוכה בשימוש באפר מרחף בקרקע בשיעורים המקובלים ביישומים חקלאיים \(טיוב קרקע, בוצת שפכים מיוצבת\) היא מסדר גודל זניח \(trivial\), הפטור מפיקוח ובקרה](#) – [הערכת השלכות רדיולוגיות של הוספת בוצה המכילה אפר מרחף לקרקע](#), דר' ז'אן קוד, ממ"ג-שורק, 2010.
- [תוספת מנת הקרינה לעובדים ולבני אדם מהציבור הכרוכה ביישום אפר תחתית כמצע לגידול צמחים בחקלאות ובגינות היא מסדר גודל זניח \(trivial\), הפטור מפיקוח ובקרה](#) – [הערכת החשיפה לקרינה מיינת עקב שימושים באפר פחם בחקלאות וגינות](#), דר' ז'אן קוד, ממ"ג-שורק, 2002; [היבטים רדיולוגיים ומנהליים של העיסוק באפר פחם](#), פרופ' טוביה שלזינגר, דר' ז'אן קוד, ממ"ג-שורק, 2008.
- [קצב קרינת גמא מתשתית אפר רבת נפח מכוסה בשכבת קרקע בעובי 1 מ' משתווה לקצב קרינת הרקע הסביבתית וקצב פליטת הרדון נמוך פי 4-5 מקצב הפליטה מקרקע הסביבה](#) – [מידות קרינה באתר תשתית אפר תחתית קיבוץ זיקים](#), דר' ויקטור שטיינר, משרד הגנת הסביבה, 2001.

בתחום קליטת יסודות בצמחים:

- [נראה כי אין סיכון לצמח, לקרקע, לשרשרת המזון ולסביבה משימוש בבוצת שפכים מיוצבת בסייד ובאפר מרחף](#) – שימוש חקלאי בבוצות שפכים מיוצבות באפר פחם מרחף ובסיד, דר' פנחס פיין וחובריו, המכון למדעי הקרקע, המים וסביבה, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, 2006, 2008, 2013, 2015.<sup>5</sup>
- [חישובים המבוססים על הנחות מחמירות מראים כי אין חשש לזיהום תוצרת חקלאית או מי תהום מפזור אפר מרחף בקרקע בשיעורים ניכרים החורגים מהצורך החקלאי](#) – [ריכוז יסודות בתמיסת הקרקע ובמי תהום שמקורם באפר פחם \(למקורותיו השונים\) המצוי בבמס"א המפוזר בשדה החקלאי](#), פרופ' רמי קרן, 2013; [Risk Assessment for Agricultural Applications of Fly Ash](#), פרופ' רמי קרן, 2014.
- [ריכוזי הרדיונוקלידים הטבעיים הצפויים בתמיסת הקרקע שהוסף לה אפר מרחף נמוכים במידה ניכרת מהמגבלות שבתקנות איכות מי שתייה וממגבלות משרד הבריאות לתוצרת חקלאית](#) – [קליטת רדיונוקלידים טבעיים מאפר פחם בתוצרת חקלאית](#), גוסטבו חקין, ממ"ג-שורק, 2013.
- [ריכוזי המתכות הכבדות והרדיונוקלידים בירקות ופירות שגדלו במצע אפר תחתית נמצאו נמוכים באופן ניכר מהסף המותר ולא חרגו מתחום הריכוזים הטבעיים של היסודות בצמחים](#) – בדיקת ריכוז מתכות כבדות ורדיונוקלידים בצמחים שגדלו במצע אפר תחתית, [סיכום רב שנתי של ניסויים \(1998-2006\)](#), פרופ' יונה חן, הפקולטה לחקלאות, מזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים, גוסטבו חקין, שטח בטיחות קרינה, ממ"ג-שורק.

<sup>5</sup> ממצאי המחקר עומדים למבחן [במתכונת שנקבעה ע"י ראש שירותי בריאות הציבור](#) הכוללת השלמת מידע למקצת הגידולים ובחינת טווח ארוך לאחרים.



### הצעת תנאים סביבתיים משודרגים

הצוות המקצועי-מדעי (מזהמים) סיכם את לקחי המחקר וגיבש, בעקבות דיוני הסדנאות, המלצה למערך תנאים סביבתיים ביישומי אפר בתשתיות ובחקלאות הכולל את הפרקים הבאים<sup>6</sup>:

- א. [תנאים סביבתיים ליישומי אפר בסלילה ובתשתיות](#)
- ב. [תנאים סביבתיים ליישומי אפר בחקלאות](#)
- ג. [נהלי ניטור מזהמים באפר מרחף](#)

כל אחד מהפרקים כולל את המרכיבים שלהלן:

- פירוט התנאים הסביבתיים
  - הקיימים
  - המוצעים
- מסמכי דיון הצוות המקצועי-מדעי בסדנאות 2009, 2012, 2013 (מושב משלים)
  - מצע הדיון
  - פרוטוקול הדיון
  - קישור לחומר הרקע של הדיון (תקצירים ומצגות)

ככלל מבחינים התנאים בין אזורי יישום אפר לפי מידת רגישות מי התהום, הקרקע והצמחייה להשפעות הסביבה ובצד תנאי ברירת מחדל מחמירים יחסית, בהתאם לממצאי המחקר, מאפשרים הערכה סביבתית מקומית בעזרת כלים אנליטיים שפותחו במסגרת המחקר.

<sup>6</sup> ההצעה שהוגשה לראשונה בשנת 2011 כללה המלצה לקריטריון "שימוש יעודי" – רשימת ערכים מרביים ליסודות המזהמים בתשטיפי אפר הפחם בתלות בייעוד האפר, שאמור היה להחליף את הקריטריון ההיסטורי לכלל השימושים "אפר בר שימוש". ההצעה הנוכחית מאמצת את הקריטריונים "לא מסוכן" (לאפר מרחף) ו"אינרטי" (לאפר תחתית) של הדירקטיבה האירופית להטמנת פסולות section 2.1.2.1 - ו section 2.2.2 - לחומר אינרטי ולא מסוכן,  $L/S = 10 \text{ l/kg}$ , בהתאמה.