

האוניברסיטה העברית
הפקולטה למתמטיקה ולמדעי הטבע - החוג ללימודי הסביבה

**שימוש באפר פחם מרחף לשיפור
תכונות של קרקעות שוליות בישראל**

Utilization of Coal Fly Ash for the Amendment
of Marginal Soils in Israel

המגיש:

שי בר-טל

ת"ז: 037681947

המנחים:

פרופ' אורי מינגלגרין

ד"ר פנחס פיין

עבודת גמר לתואר
"מוסמך במדעי הטבע"

כד באלול תשס"ח

24 בספטמבר 2008

תקציר

ייצור החשמל בישראל ובארצות רבות בעולם מתבסס בחלקו הגדול על פחם כמקור אנרגיה המותיר לאחר שריפתו כמויות גדולות של אפר פחם מרחף (אפ"מ). האפר מאופיין כחומר דק גרגר בעל בסיסיות גבוהה (pH~12) המורכב בעיקר מתרכובות צורן, אלומיניום ותחמוצת סידן, בנוסף לריכוזים משתנים של יסודות קורט שונים כגון: כרום, עופרת, ניקל, סלניום ובורון. לצד תכולת יסודות בעלי השלכות שליליות על הסביבה, מצטיין האפ"מ גם בתכונות (לרבות כושר מילוט) ההופכות את החומר לראוי למיחזור בתעשייה ובחקלאות.

במקביל לגידול בביקוש לחשמל, הסתכם בשנת 2006 ייצור החשמל בארץ המבוסס על פחם ב- 70% מכלל ייצור החשמל וגדלה גם כמות האפר הנותרת המחייבת סילוק ומחזור נאותים. ייצור החשמל צרך כ- 12.5 מיליון טון פחם, שהותירו אחריהם כ- 1.2 מיליון טונות אפר פחם ש- 90% ממנו הוא אפר פחם מרחף (אפ"מ). עד כה, בגלל כושר המילוט שלו נעשה שימוש נרחב באפ"מ, כאשר בשנת 2006 נוצל כמעט כל האפר לייצור מלט (0.5 מיליון טון) ובטון (0.5 מיליון טון). ביתרת החומר נעשה שימוש בבניית תשתיות כבישים ובמידה זעומה גם בחקלאות. לאור הצפי להמשך הגידול בצריכת הפחם שיותר אחריו כמויות גדלות והולכות של אפ"מ, מן הראוי לחפש שימושים נוספים עבור האפר.

בעבודת המחקר הנוכחית נעשתה בדיקה מקיפה של אפשרויות שימוש באפ"מ לטיוב קרקעות שוליות – למשל חול דיונות וקרקעות לס, שהינן נפוצות מאוד באזור הנגב – תוך ניצול תכונות המילוט של החומר לשיפור מבנה הקרקע. בניסויים שבוצעו טופלו דוגמאות קרקע באפ"מ בריכוזים של עד 15% ולאחר מכן נעשה מעקב אחר השינויים החלים במבנה הקרקע וביציבותו, כמו גם בתכונות ההידראוליות והפיזיקאליות כימיות של הקרקע במטרה להשיג את היעדים הבאים:

- א. לשפר את תאחיזת המים של קרקע חול דיונה ולייצבה מפני סופות רוח.
 - ב. להפחית את הדיספרסיה של מינרלי החרסית בקרקע לס ובכך להחליש את הקרום הנוצר בקרקע זו.
 - ג. לבחון את ההשלכות הסביבתיות והחקלאיות הנובעות מהשימוש באפ"מ ולבדוק את השלכות שחרור המלחים, המתכות כבדות והבורון לתמיסת הקרקע.
- התוצאות הראו כי האפ"מ המוסף לקרקע חול דיונה האט בצורה משמעותית ומובהקת את קצב מעבר המים בקרקע והגדיל את תאחיזת המים בחתך הקרקע. האפ"מ המוסף גם הקטין את היסחפות פני הקרקע בסופות רוח. תוספת החלקיקים דקי הגרגר השפיעה על התפלגות גודל הנקבובים בקרקע מה שהביא להגדלת תאחיזת המים בחתך הקרקע ולהפחתת קצב תנועת המים

בקרקה.

תוצאות הניסויים

חלק נכבד של המחקר נעשה באמצעות מדמה גשם. תוספת האפ"מ הביאה להפחתה משמעותית של עד 90% בקצב חידור המים בקרקע חול דיונה ולהגדלת תכולת המים פי 8 בהשוואה לקרקע לא מטופלת. טיפול חוזר באפ"מ, בשיעור נמוך של 2% משקלי, הבטיח שמירה על קצב החידור הנמוך ותאחיזת המים הגבוהה בקרקע. כתוצאה מהצטברות מקטע דק גרגר בחתך הקרקע העליון, בנוסף למילוט שנגרם על ידי האפ"מ, הפכה הקרקע החולית למדיום בעל תכולה גבוהה של נקבובים דקים.

האפ"מ המוסף לקרקע לס הפחית את הנטייה לדיספרסיה של החרסית בפני הקרקע במהלך סופות הגשם. האפ"מ, המכיל ריכוזים גבוהים של מלחי סידן, גרם להיווצרות פחותה של שכבת קרום המאפיינת את קרקע הלס, דבר שבא לידי ביטוי בהגברת של 250% בקצב חידור המים, תוצאה מובהקת, בהשוואה לטיפול הביקורת.

התייצבות מבנה הקרקע, בעקבות תוספת אפ"מ לקרקעות חול דיונה ולס, נבחנה כנגד כוחות גזירה של רוחות במנהרת רוח שבה נחשפו דוגמאות הקרקע למשטרי רוחות בעוצמות שונות. בתוצאות הניסויים בלטה ההשפעה הרבה שיש לכושר המילוט של האפ"מ על ייצוב הקרקע החולית אשר הראתה, בטיפול באפ"מ בריכוז של 15%, עמידות גבוהה מאוד לסחף הרוח גם כשמהירות הרוח הגיעה ל 26 מ"שנייה, וזאת - בהשוואה לסחף הרוח המוחלט שמתרחש בעוצמת רוח של 9 מ"שנייה, בקרקע הביקורת. הטיפול באפ"מ (המפחית את מידת הדיספרסיה של מקטע החרסית) גורם לפלוקולציה ולאגריגציה בתלכידים גדולים של חלקיקי הקרקע הראשוניים ובכך לסידור לוחות החרסית באוריינטציה אקראית בניגוד לסידור באוריינטציה אחידה של לוחות החרסית בקרום רציף, דבר הגורם להחלשות כוחות המשיכה בין לוחות החרסית ולהחלשות בשכבת הקרום, תהליך חיובי כשלעצמו למרות הגדלת רגישות פני הקרקע לסחף רוח. בהתאם, במהירות רוח של 26 מ"שנייה הובחן בטיפול 15% אפ"מ הרס וסחף משמעותיים של פני קרקע הלס וזאת בהשוואה לסחף רוח אפסי בטיפול הביקורת.

בנוסף למדידה ישירה של השפעת האפ"מ על חידור המים, נעשה בעבודה זו שמוש באמצעי חישה מרחוק אשר כללו בדיקה ספקטרלית של האלבדו ושל בליעות האור בתחום הבליעה של מינראלי החרסית. תוצאות המדידה נמצאו במתאם גבוה מאוד לאלו של מדידת קצב חידור המים והם מצביעים על אמינות המדידה הספקטרלית בחיזוי השינויים החלים בפני קרקע לס. השיטה מתאימה למעקב וניטור קרקעות לס לשם בחינת ההשפעות של טיפולים שונים (כולל טיפולים

באפ"מ) על תכונות הקרקע כולל שינויים בתכונות ההידראוליות ונטיית הקרקע להיסחפות. לריכוזי האפ"מ שנבדקו בקרקעות הניסוי יש השלכות חקלאיות וסביבתיות פוטנציאליות המחייבות התייחסות קפדנית קודם ליישום נרחב של האפ"מ לטיוב קרקעות שוליות. האפ"מ מכיל ריכוזים גבוהים יחסית של מלחים ושל מתכות כבדות שעלולה להיות להם השפעה שלילית על הצמח והסובב. בניסויי מדמה גשם נמצאו בתשטיפים מקרקעות המטופלות באפ"מ ריכוזי כרום, בורון, עופרת וסלניום הגבוהים מתקן מי שתייה. שטיפת המלחים ושחרור היסודות הרעילים לתמיסת הקרקע נשלטת על ידי משטר השטיפות (הגשם או ההשקיה) וכן על ידי תכונות הקרקע כמו רמת ההגבה המכתיבה את קצב התמוססות היסודות, כולל בורון הרעיל לצמח. תוצאות המחקר הראו בברור כי על מנת לצמצם או למנוע לחלוטין נזק בלתי הפיך למערכת הגידולים ולסביבה, יש להתאים את אופי הטיפול באפ"מ לתנאי הסביבה ולזוּסֵת את רמת המינון ותדירות ההוספה לפי תכונות הקרקע וזמינות מי התהום ועל פי משטר הגשמים והרוחות באזור.

לסיכום:

נוכח כמויות האפ"מ הגבוהות הנותרות משריפת פחם בארץ ובעולם והאפשרות של הצטברות עודפי אפ"מ למרות השימוש הרב בו בתעשיית הבנייה ותשתיות כבישים, נראה כי השימוש באפ"מ לטיוב קרקעות שוליות הוא מסלול שימוש סביר, העדיף בלי ספק על סילוק לים או למטמנות-קרקע, סילוק שאינו מאפשר ניצול היתרונות הגלומים בחומר זה.

אפר פחם מרחף הינו חומר המכיל מקטע דק גרגר באחוז גבוה בעל כושר מילוט הנדרש בענף הבנייה. לאפ"מ תכונות שימושיות אחרות שבאו לידי ביטוי בעבודה זו שבה נבחנה האפשרות לטייב קרקעות שוליות - קרקעות חול דיונה וקרקעות לס - על ידי הוספת אפ"מ בריכוזים של עד 15%. הקרקעות הבעייתיות הללו הפכו בעקבות הטיפול באפ"מ לקרקעות בעלות תכונות ההידראוליות משופרות ופוריות.

בעבודות שונות הוכח כי ניתן להוסיף גם כמויות גבוהות של אפ"מ ללא גרימת נזק לגידולים. עם זאת, מן הראוי לציין כי תכולת המלחים הגבוהה יחסית, כולל תכולת יסודות המסוכנים לצמח ולסביבה, מחייבת ממשק מתאים של הוספת האפ"מ ובחירת גידולים נכונה נוכח רגישות צמחים מסוימים למליחות בכלל וליסודות ספציפיים כמו בורון בפרט. שימוש נרחב באפ"מ מחייב תשומת לב רבה למינון האפ"מ במטרה למנוע זיהום הקרקע, מערכות ניקוז עיליות ומי תהום. מומלץ על כן לבחון בכל מקרה לגופו את ההשלכות הסביבתיות הפוטנציאליות ולהתאים את הטיפול והמינון לקרקע ולמאפייני האזור, תוך כדי כפיפות למגבלות ולהנחיות היישום.