

ישום קומפוסט

(פסולת ביתית, זבל בעלי חיים ובוצת שפכים)

בקרקות חקלאיות

תועלות ומגבלות

שבט התש"ע פברואר 2010

מסמך משותף של הפורום האורגני

13 ינואר 2010	כ"ז בטבת תש"ע	מהדורה ראשונה
7 בפברואר 2010	כ"ג שבט תש"ע	מהדורה שנייה

הפורום האורגני

הפורום האורגני הוקם ביוזמת אנשי הפסולת והמיחזור במחלקה המדעית באדם טבע ודין במטרה להעמיד תמונת מצב מהימנה על הפסולת האורגנית לסוגיה ולבחון מהן הדרכים הרצויות לטפל בפסולת זו. הפסולת האורגנית מהווה נתח משמעותי בפסולת הביתית, אך לא בלבד. גזם, בוצת שפכים וזבל בעלי חיים הם סוגי הפסולת הנוספים העיקריים בממלכת הפסולת האורגנית. תשומת לב יתרה ניתנת לפסולת זו בשל הבעיות הסביבתיות שעלולות להיווצר ממנה מחד, ובשל היכולת להפיק תועלת רבה דרך טיפול נאות בה, במיוחד על ידי טיוב קרקעות ושמירת מאזן הפחמן בקרקע.

לפורום האורגני הוזמנו רבים מבעלי העניין: המשרד להגנת הסביבה, משרד החקלאות, אנשי השלטון המקומי, חוקרי קרקע, בעלי אתרי קומפוסט ועיכול אנארובי, אנשי סביבה ונוספים. שלוש פגישות התקיימו עד כה ובמהלכן עלה הצורך לכתוב מסמך מנחה אשר יבהיר את תמונת המצב באשר לאפשרויות הישום של קומפוסט מפסולת אורגנית בקרקעות חקלאיות.

השתתפו בכתיבה או בהערות למסמך זה

גלעד אוסטרובסקי, המחלקה המדעית, אדם טבע ודין
רועי קוצר, המחלקה המדעית, אדם טבע ודין
ד"ר פנחס פיין, מנהל המחקר החקלאי
ד"ר מיכאל רביב, מנהל המחקר החקלאי
אשר אייזנקוט, משרד החקלאות, שה"מ
ד"ר חורחה טרצ'יציקי, האוניברסיטה העברית
ד"ר אילן צדיקוב, המשרד להגנת הסביבה
ד"ר יעל לאור, מנהל המחקר החקלאי
משה ברונר, חקלאות דרום הר חברון
אברהם זילברמן (גיון), שה"מ, משרד החקלאות
עמיעד לפידות, עמותת ארץ כרמל
ד"ר רבקה קולטון שפירא

השתתפו בדיוני הפורום האורגני

שי אילן ז"ל	המשרד להג"ס, מחוז חיפה	אורי בולוניה	חץ אקולוגיה
משה ברוקנטל	מגדלי דרום יהודה	ברוך קומפנו	מ.א. משגב
משה זאבי	הארגון לחקלאות אורגנית	דני פלודה	יועץ קומפוסט
ירון שפירא	קומפוסט גבעת עדה	דודי ריינר	קומפוסט אור
משה בן שחר	רכז חקלאי, עמק יזרעאל	יריב ספקטור	מודיפלסט
הושע גרנר	קומפוסט שדה אליהו	א.ב.י נוביק	שחף תכנון סביבתי
מילכה כרמל	מרכז השלטון המקומי	ד"ר תומאס עבוד	המשרד להג"ס, מחוז צפון
מורן סלקמון	מרכז השל	אסף גולדברג	אקוגולד
אורית משעל	היחידה הסביבתית כפ"ס	מאירי בן יעקב	בר עידן
עמיעד לפידות	עמותת ארץ כרמל	אורלי רונן	מרכז השל
יוסי לוי	ית"ב	מלה גרשטיין	איגוד ערים דן לתברואה
צחי גרטלר	ית"ב	עדי דורי	קיבוץ רבדים
מאיר אלקיים	עירית כפר סבא		

מבוא

פסולת אורגנית – בין מטרד למשאב

פסולת אורגנית שמקורה בבוצת שפכים, זבל בעלי חיים ופסולת ביתית מהווה מטרד מבחינה סביבתית, אולם ניתן, באמצעות טיפול ביולוגי (קומפוסטציה, עיכול אנארובי) להפוך אותה למשאב שינוצל לטיוב קרקעות חקלאיות והגדלת היבולים תוך צמצום השימוש בדשנים כימיים ובחומרי הדברה.

סקר הקומפוסט שבוצע בשנת 2000 העריך כי בתרחיש סביר עולה הביקוש לקומפוסט על ההיצע ב – 5.1 מיליון מ"ק לשנה. עבודה נוספת שנערכה על ידי משרד החקלאות בשנת 2006 בחנה את רמת הביקוש הצפויה עפ"י מגבלות חנקן וזרחן בקרקע והמליצה על יישום החומר האורגני בקרקע חקלאית.

הבעיה

במצב הקיים בו מרבית בוצת השפכים וזבל הרפתות מעובדים ומיושמים בקרקע, נשמעות תדיר טענות על מגבלות היישום. עיקר הטענות הן בדבר חוסר ביקוש מצד החקלאים, איכות לא מספקת של הקומפוסט, מפגעי ריח במהלך העיבוד, מחסומים בשיווק התוצרת החקלאית שדושה בקומפוסט ואפשרות לגרימת מפגעים סביבתיים בטווח הקצר (ריח) ובטווח הארוך (זיהום מים וקרקע).

נראה שמצב דברים זה יוצר קשיים ואי בהירות ביחס לאפשרויות היישום של פסולת אורגנית בקרקעות חקלאיות. דבר זה מכוון בעיקר לפסולת האורגנית הביתית שממוחזרת היום בשיעור זניח בלבד, בעוד שרוב זבל בעלי חיים ובוצת השפכים מעובדים לקומפוסט כבר היום.

פורום חומר אורגני

בכדי לקבל תמונה בהירה ומלאה של המצב כונס פורום מקצועי בהשתתפות אנשי אקדמיה, נציגי חקלאים ויצרני קומפוסט ובעלי עניין נוספים על מנת לבחון את הטענות שהועלו וכן את התועלות והמגבלות שביישום חומר אורגני בקרקעות חקלאיות. הפורום מתכנס מדי כמה חודשים על מנת לדון בשאלות המפתח בנושא זה.

המשתתפים הציגו היבטים סביבתיים וכלכליים של יישום חומר אורגני בקרקעות חקלאיות וכן היבטים של תהליך הייצור והתרומה ליבולים חקלאיים (המצגות נמצאות באתר האינטרנט של אדם טבע ודין).

כל הדוברים היו תמימי דעים לגבי נחיצות היישום של פסולת אורגנית לסוגיה בקרקעות חקלאיות הן בהיבט הסביבתי והן בהיבט של תרומה ליבולים חקלאיים. החומר האורגני מועיל לטיוב הקרקע ושיפור תאחיזת המים, משפר את הפעילות הביולוגית בקרקע ומגדיל את הזמינות של יסודות הזנה לצמחים. בנוסף, יישום חומר אורגני יביא לצמצום ההשפעות הסביבתיות הנגרמות משימוש בדשנים כימיים.

למרות תמימות הדעים בנושא, יתכן שקיים פער בין הידע המדעי הנמצא בידי אנשי המקצוע לבין מודעות בעלי העניין והציבור הרחב לנושא. נראה כי חלק מהנוגעים בדבר אינו מודע ליתרונות הגלומים ביישום חומר אורגני בקרקעות וקיימים חששות ואי בהירויות בנושא.

מסמך זה נועד לענות על השאלות המרכזיות לגבי ההיבטים הסביבתיים והכלכליים של יישום חומר אורגני בקרקעות חקלאיות ולסקור את המגבלות והתועלות שבו. המסמך יציג את הבסיס המדעי המוכח המקובל על חברי הפורום ויהווה "מורה נבוכים" לגורמים הנוגעים בנושא בכדי להוביל לטיפול בר קיימא בפסולת אורגנית לסוגיה.

הגדרות

דשן

חומר המשמש לשיפור הצמיחה של צמחים ולהעלאת פוריות הקרקע.

דשן אורגני / קומפוסט

דשן שמקורו בחומר אורגני מיוצב, לאחר שעבר תהליכי עיבוד (קומפוסטציה או עיכול אנאירובי). ניתן לחלק את הקומפוסט לשלושה סוגים על פי חומר המוצא: זבל רפתות (קומפוסט שמוצאו מפרש בקר), בוצות שפכים ודשן אורגני מפסולת ביתית.

הומוס

הומוס (רקבובית) הוא תוצר של פירוק החומר האורגני ע"י בעלי חיים ומיקרואורגניזמים בשלבי הסופיים. הומוס הוא צורה יציבה ביותר של חומר אורגני והוא נותר בקרקע במשך שנים. בהומוס אין סימנים המעידים על המקור שממנו פורק החומר האורגני.

מינרלים

חומרים אנאורגניים שמצויים בקרום כדה"א בעלי הרכב אחיד. בשלב הסופי של פירוק החומר האורגני נוצרים מינרלים.

חומר אורגני

חומר שמקורו באורגניזמים.

עיכול אנאירובי

תהליך תסיסה של חומר אורגני כתוצאה מפעילות של מיקרואורגניזמים. תוצריו הם גז המכיל ברובו מתאן (ביוגז) ובוצה אשר בד"כ עוברת קומפוסטציה לאחר תהליך התסיסה.

פסולת אורגנית

פסולת שמקורה באורגניזמים. רוב הפסולת האורגנית בישראל מקורה בזבל בעלי חיים, בוצות שפכים, גזם ושאריות מזון.

פסולת אורגנית ביתית

פסולת אורגנית שמקורה בפסולת ביתית. מכילה ברובה שאריות מזון.

קומפוסטציה

תהליך ביולוגי שבו החומר האורגני מתפרק בסביבה אווירנית לתוצר יציב, נטול פתוגניים ממקור אנושי או צמחי.

תכן העניינים

1. תרומת הדשן האורגני לגידולים חקלאיים – טיוב קרקעות ועלייה ביבול 7
2. השפעות סביבתיות על הקרקע כתוצאה משימוש בתוספים אורגניים..... 10
3. התועלת לחברה ולסביבה מישום פסולת אורגנית בקרקעות חקלאיות..... 16
4. הדשן האורגני (קומפוסט) – ביקוש והיצע בישראל..... 20
5. כדאיות כלכלית של יישום דשן אורגני בקרקעות חקלאיות..... 23
6. ישום פסולת אורגנית באירופה וארה"ב בהשוואה לתנאים בארץ..... 24
7. תקנות ואכיפה בכל הקשור לייצור וישום דשן אורגני..... 29
8. היבטים סביבתיים של עיבוד החומר האורגני (קומפוסטציה)..... 26

1. תרומת הדשן האורגני לגידולים חקלאיים – טיוב קרקעות ועלייה

ביבול

פסולת אורגנית שעברה תהליך עיבוד ("דשן אורגני" או "קומפוסט" במסמך זה) הנה תוצר של תהליכי פירוק ביולוגיים שבסופם מתקבל חומר עשיר בפחמן, חנקן, זרחן ואשלגן אורגניים. בנוסף, מכיל החומר האורגני יסודות קורט ומגוון מיני מיקרואורגניזמים המקנים לו תכונות התורמות לפוריות הקרקע.

למעשה, חומר אורגני הוא הדשן הטבעי שמחדש ומשמר במשך שנים בתי גידול שונים ומגוון מינים עשיר, והוא מהווה חוליה חשובה במחזור החיים בטבע.

בהקשר החקלאי, התרומה של החומר האורגני ליבול תלויה בסופו של דבר בגורמים נוספים כגון סוג הגידול, סוג הקרקע ומאפייניה, האקלים, משטר ההשקיה, שיטת היישום, חומר המוצא ועוד. מסיבות אלה קשה להגיע למסקנה גורפת לגבי התרומה של חומר אורגני לכלל היבולים החקלאיים במגוון הקרקעות המעובדות, אולם ניתן לומר שהרכבו ומאפייניו הכימיים והפיסיקליים של החומר האורגני הופכים אותו ליסוד חשוב התורם לטיוב הקרקע ובמקרים רבים גם לעלייה ביבול. בנוסף, מהווה הדשן האורגני תחליף לדשן הכימי ובמקרים מסוימים גם תחליף לקוטלי עשבים וחומרי הדברה.

1.1 טיוב הקרקע

פסולת אורגנית שעברה תהליך עיבוד (קומפוסט) תורם לפוריות הקרקע במספר דרכים:

תרומה למגוון הביולוגי, הגברת תאחיזת המים בקרקע, יצירת תלכידי קרקע, שימור חומר

אורגני, הספקת יסודות הזנה והקטנת ההתאדות כפי שמוסבר בטבלה להלן³²¹:

¹ Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry – Genesis, Composition, reactions (2nd Edition), John Wiley and Sons, Chichester.

² מיכאל רביב, 2008. מינהל המחקר החקלאי, נוה יער / מצגת לפרורם האורגני, אדם טבע ודין.

³ מנחם אגסי, יורם בנימיני, אפריים פיזיק, משה גוטסמן, אביבה הדס, פנחס פיין, גיא לוי, לנה ז'בלב, שי קטאין, דני ארז 2000. קרקעות חקלאיות כאתר לסילוק קומפוסט אשפת ערים.

תכונת הקרקע	התרומה של חומר אורגני	השפעה על הקרקע והיבול
המגוון הביולוגי בקרקע	החומר האורגני משמש כחומר מזון ומגדיל את מגוון, מספר ופעילות המיקרואורגניזמים בקרקע	<ul style="list-style-type: none"> מגביר את קצב מחזור יסודות ההזנה בקרקע מסייע בדיכוי מחלות מסוימות מקטין את הצורך בחיטוי קרקע
תאחיזת מים	חומר אורגני יכול להחזיק מים עד פי 20 ממשקלו	<ul style="list-style-type: none"> מאפשר חסכון במים
יציבות תלכידי הקרקע	חומר אורגני מסייע ביצירת תלכידי קרקע	<ul style="list-style-type: none"> משפר את אוורור הקרקע משפר כושר חידור למים מקטין סחף קרקעות מקטין את תשומת האנרגיה והמים לעיבודים
זמינות קטיונים	יוצר מבנים יציבים עם קטיונים	<ul style="list-style-type: none"> מגדיל זמינות יסודות הזנה לצמח
שימור חייא בקרקע	חומר אורגני אינו מסיס במים ברובו	<ul style="list-style-type: none"> מניעת איבוד החומר ע"י חלחול שחרור איטי של חומרי הזנה
יציבות pH	חומר אורגני משמש כמווסת pH	<ul style="list-style-type: none"> מסייע לשמירת תגובה אחידה בקרקעות חומציות ובסיסיות
חומרי הזנה	חומר אורגני מתפרק למיקרונוטרינטים	<ul style="list-style-type: none"> חומרי הזנה זמינים לצמח
התאדות מים מפני הקרקע	חיפוי בקומפוסט מצמצם את התאדות המים מפני הקרקע ומצמצם הווצרות נגר עילי	<ul style="list-style-type: none"> חסכון ניכר בתשומות מים מצמצם סחף קרקעות הגדלת יבול בגידולי בעל

התוצאה המצטברת של כל הגורמים שנזכרו הנה שיפור בפוריות הקרקע. לשם שימור הפוריות והגברתה יש לחדש את אספקת הדשן האורגני לקרקע באופן קבוע.

מנגד, הבעיות הסביבתיות שעלולות להיגרם כתוצאה משימוש בדשן אורגני הן הצטברות מתכות כבדות, המלחת קרקעות, הימצאות פתוגנים העשויים לסכן את התוצרת החקלאית והפצת עשבים רעים. אולם פוטנציאל ההשפעות של בעיות אלה נמוך ביותר ביחס למגוון התועלות שיצמחו, כפי שהוסבר למעלה.

הרמות המותרות של מתכות כבדות בבוצה נקבעו בתקנות המים ואילו נוכחותן של מתכות בפסולת ביתית שהופרדה במקור נמוך יותר ממילא. הסיכון שבהפצת מחלות הוא נמוך ביותר ומספר הדיווחים על מחלות שמקורן בפתוגנים מקומפוסט הוא זעום. הפצת זרעים של עשבים לא רצויים היא אכן תופעה לא רצויה, אולם גם במקרה זה, ישום קומפוסט שעבר תהליך עיבוד איכותי ומבוקר מצמצם את התופעה באופן ניכר.

יישום חומר אורגני בקרקעות חקלאיות תורם לטיוב הקרקע ומשפר את פוריות הקרקע



1.2 השפעת הקומפוסט על היבול החקלאי

התרומה של קומפוסט ליבול החקלאי תלויה בסוג הגידול ובתנאי הגידול ולכן קשה לקבוע מסקנות כלליות לגבי כלל הגידולים. מובן מאליו שגם סוג הקומפוסט ואיכותו משפיעים על היבול וישנה שונות גדולה בהרכב בין סוגי קומפוסט שונים. עם זאת, מהניסיון שהצטבר בארץ ובעולם ניכר שקומפוסט תורם לעלייה ביבול, במיוחד בקרקעות לא פורייות ועניות בחומר אורגני ובגידולים הנחשבים צרכנים גדולים של דשן. מכיוון שהשחרור של חנקן וחומרי הזנה אחרים מקומפוסט הוא איטי, הוא פועל בקצב יציב וקבוע לאורך זמן והשפעתו ניכרת לאורך שנים ובכך הוא שונה מדשנים כימיים שבהם החנקן זמין יותר לצמח אך לטווח זמן קצר יותר.

בשנים 1999 – 2003 התקיימו ניסויי שדה בביצוע מדריכי שירות ההדרכה והמקצוע (שה"מ), ובהם פוזרו בוצת שפכים (סוג ב' וסוג א' - קומפוסט) בגידולי שדה שונים בעמק יזרעאל ובנגב. סיכום הניסויים הללו מראה שקומפוסט בוצת השפכים הינו חלופה מתאימה לדשנים כימיים, ובחלק מהניסויים היבול עלה כתוצאה מהתוסף האורגני.

ככלל, חומר אורגני שעבר תהליך עיבוד (קומפוסט) יכול לתרום להגדלת היבול במספר דרכים^{4,5,6}:

1. עלייה באחוזי הנביטה.
2. עלייה ביבול בדגניים (בניסויים שונים ברחבי הארץ נמצאה עלייה של מעל 50% ביבול).
3. עלייה בריכוז החלבון בגרגרי חיטה.
4. גידול בנוף הצמח בגידולי שדה וקטניות.
5. עמידות למחלות שרש.

במדינות רבות בעולם קיים ישום נרחב של קומפוסט בקרקעות חקלאיות, במגוון גידולים, באזורים גיאוגרפים ותנאי אקלים מגוונים. בהתאם, קיימים מחקרים רבים התומכים בכך שישום חומר אורגני תורם לעלייה ביבול החקלאי. במחקרים מהשנים האחרונות באנגליה דווח על עלייה ביבול החיטה בשימוש בקומפוסט מפסולת ביתית⁷ וכן על עלייה ביבול תפוח"א בשימוש בקומפוסט, ויבול מוגבר בישום בכ - 1 טון /דונם לעומת דשן כימי⁸.

יישום חומר אורגני בקרקעות חקלאיות יכול לתרום להגדלת היבול החקלאי



⁴ א. איזנקוט, א. זילברמן. 2004. סיכום רב שנתי של השפעת פיזור קומפוסט בוצה ובוצת שפכים בגידולי פלח בשלושה אזורים על הגידולים והקרקע 2003 – 1999 / מחקר למדען הראשי של המשרד לאיכות הסביבה.

⁵ Stevenson, F.J. 1994 Humus Chemistry – Genesis, Composition, reactions (2nd Edition), John Wiley and Sons, Chichester.

⁶ מיכאל רביב, 2008. מינהל המחקר החקלאי, נוה יער / מצגת לפורום האורגני, אדם טבע ודין.

⁷ ADAS composting research project, 2008. Soil Quality and Fertility Field Trials Annual Report 2007

⁸ WRAP, 2008. Using Quality compost in potato production to increase yields , Case Study: Agriculture and Horticulture

2. השפעות סביבתיות על הקרקע כתוצאה משימוש בתוספים אורגניים

2.1 תרומת החומר האורגני לקרקע

לתוסף אורגני תכונות רבות המסייעות לשמירה על הקרקע המהווה בית גידול למגוון גדול של אורגניזמים.

א. מניעת סחף קרקע

בזכות מאפיינים כימיים ופיסיקליים של תוספים אורגניים הם עשויים לייצב את מבנה הקרקע ותלכיד הקרקע ולסייע במניעת סחף קרקעות. תכונה זו עשויה לסייע הן בשמירה על קרקעות חקלאיות, הנמצאות במשטר עיבוד אינטנסיבי ואשר נתונות לנגר ולסחף, והן בשמירה על הקרקעות בשטחים פתוחים ובשטחי מרעה.

ב. טיוב קרקעות

תוספים אורגניים לקרקע מגבירים את הפעילות המיקרוביאלית בקרקע ומגדילים את מגוון האוכלוסיות המיקרוביאליות בקרקע. על ידי כך הם משמרים את חיות הקרקע כושרה לספק יסודות הזנה חיוניים לצמחים ואת איכותה כמצע לצמחים מבלי להזדקק לדשנים כימיים. כך מתאפשר מחזור חיים מלא של החומר האורגני שהוא תנאי הכרחי לחקלאות בת קיימא.

ג. שמירת המגוון הביולוגי

חומר אורגני הוא עמוד השדרה של שרשרת המזון בקרקע. החומר האורגני הוא המרכיב היסודי שמאפשר הימצאותם של חיידקי קרקע ופטריות. אלו מהווים את החוליה הראשונה בשרשרת המזון, הם מעשירים את הקרקע ומהווים מזון ליצורים אחרים כגון נמטודות. בהמשך שרשרת המזון מצויות תולעי קרקע שתורמות לאוורור ויצורים אחרים בעלי תפקידים חיוניים. הצמחים וכל המערכת האקולוגית שסביבם תלויים באופן מוחלט במגוון הביולוגי בקרקע.

ד. מניעת התאדות ואצירת מים

תפקיד חשוב נוסף של החומר האורגני הוא באצירת מים ומניעת התאדות. במדינות עניות במים כגון ישראל, זהו ערך ראשון במעלה שיש לו גם חשיבות סביבתית וגם חשיבות חברתית – כלכלית. חומר אורגני יכול להיות מיושם כחיפוי על פני הקרקע להקטנת ההתאדות.

ליישום חומר אורגני בקרקע תרומה חשובה ביצירת קרקע בריאה, מניעת סחף, שמירת המגוון הביולוגי וחסכון במים



2.2 השפעות סביבתיות

הפיזור של זבל בעלי חיים וקומפוסט בשטחים חקלאיים מחייב התייחסות להשפעות הסביבתיות העשויות להיגרם לקרקע, למי התהום ולסביבת החי, הצומח והאדם. ככלל, שימוש בזבל אורגני צריך להיעשות כך שהזבל לא יגרום מפגעים או יהוו סכנה לאדם או לסביבה. להלן נתייחס למספר היבטים סביבתיים עיקריים:

א. מתכות כבדות

החשש מנוכחות מתכות כבדות מתמקד בעיקרו בבוצת שפכים. התקנות המסדירות את השימוש בבוצת שפכים⁹ קובעות ערכים מרביים מותרים לריכוזי מתכות כבדות בבוצה ובקרקע המטופלת בבוצה. ריכוזי מתכות כבדות בבוצות שפכים (לסוגיהן) בארץ הנם בדרך כלל נמוכים מהקבוע בתקנות אלו. בניסויים שנערכו בארץ נמצא שריכוז המתכות הכבדות בגידולים על קרקעות שטופלו בבוצות היו נמוכים מאד ודומים לריכוזים שנמצאו בצמחים שגדלו על קרקעות שדושנו כרגיל¹⁰. מספר מחקרים אף הראו שישנה ירידה בריכוז המתכות המצטברות בצמח כתוצאה מיישום קומפוסט בקרקע¹¹. סיבה אפשרית לכך היא ספיחה של המתכות לחומר האורגני שמקטינה את קליטתן ע"י הצמח. מחקרים רבים נערכים בנושא זה בעולם, בהם מחקר שבדק את הצטברות המתכות בקרקע ובצמח במשך 10-20 שנה¹². המסקנה שעולה ממחקרים אלו היא שברוב הקרקעות המתכות הכבדות אינן מצטברות בקרקע בריכוזי שעשויים לגרום לסיכון סביבתי או לפגיעה כלשהי ביבול.

יש לציין שחלק מהדשנים הכימיים מכילים מתכות כבדות אף הם. דוגמה בולטת לכך היא דשני זרחן, שבעבר הכילו ריכוזים גבוהים של קדמיום¹³. אף שכיום הריכוזים הופחתו במידה ניכרת, דשן זרחני מהווה עדיין מקור עיקרי לזיהום קרקעות בקדמיום. כלומר במידה וקיים חשש לגבי זיהום במתכות כבדות, הסיכון לכך קיים במידה רבה בשתי החלופות (דשן כימי וקומפוסט שמקורו בבוצת מכוני טיהור שפכים תעשייתיים). לגבי קומפוסט שמקורו בפסולת ביתית יש יתרון ברור לפסולת שהופרדה במקור ואינה מכילה סוללות, צבעים, דבקים ושאריות פסולת אלקטרונית העלולים לזהם את הקרקע. מחקרים במקומות שונים בעולם הראו שפסולת אורגנית ביתית שהופרדה במקור מכילה רמות נמוכות של מתכות כבדות¹⁴. מחקרים שבוצעו בארץ ביישום בוצת שפכים ממקורות שונים במגוון גידולים הראו שהמתכות

⁹ תקנות המים (מניעת זיהום מים) שימוש בבוצה וסילוקה, התשס"ד-2004

¹⁰ א. איזנקוט, א. זילברמן. 2004. סיכום רב שנתי של השפעת פיזור קומפוסט בוצה ובוצת שפכים בגידולי פלח בשלושה אזורים על הגידולים והקרקע 2003 – 1999 / מחקר למדען הראשי של המשרד לאיכות הסביבה. ¹³ פנחס פיין, 2006. שימוש חקלאי בבוצות שפכים: ניצול משאב במקומו הראוי. מים והשקיה, 471: 8-18.

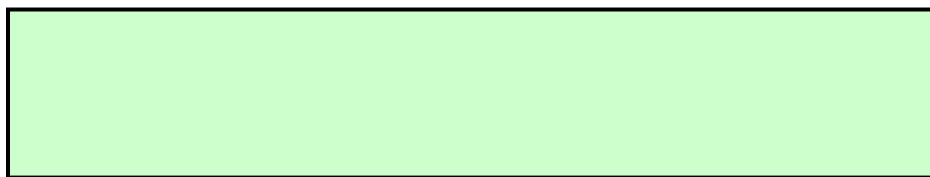
¹¹ Seminar Proceedings. "Applying compost – benefits and needs", Brussels 22-23 Nov 2001. Aspects of soil protection against potential pollutants. P. 171

¹² Kluge, R., Deller, B., Flaig, H., Schultz, E. and Reinhold, J. (2008). Sustainable Use of Compost in Agriculture: Research Results of a Long Term Study in the Federal Republic of Germany - Final Report April 2008. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg LTZ, Karlsruhe

¹³ אילן צדיקוב, ראש תחום פרוייקטים (תשתיות), המשרד להגנת הסביבה, במפגש הפורום האורגני שהתקיים ב-18.9.08.

¹⁴ יורם אבנימלך. 1996, קומפוסטציה: הופכים פסולת לזהב, מאמר לכתב העת ירוק כחול לבן, עמודים 14-15, 74.

הכבדות הבלתי חיוניות (כגון קדמיום ועופרת) בבוצה נמצאות במצב כמעט בלתי זמין לצמח ולא נמצאו ריכוזים חריגים שלהן בחלקים על קרקעיים של הצמח בהשוואה לטיפול דיכון^{15,3}.



ב. חיידקים מחוללי מחלות לאדם (פתוגנים)

הקרקע מהווה בית גידול למגוון גדול של מיקרואורגניזמים, בהם גם פתוגנים, שהנם מיקרואורגניזמים מחוללי מחלות לאדם שהפצתם עשויה להוות מפגע בריאותי. בארץ לא מוכרים דווחים על תחלואה כתוצאה משימוש בזבל טרי, לא כל שכן מקומפוסט בשל, בו נוכחות פתוגנים מופחתת באופן ניכר.

שימוש בבוצות שפכים במקומות רבים בעולם מוגבל בדרך כלל על פי משך הזמן שחלף בין היישום של הבוצה לבין אסיף התוצרת, והוא תלוי בגידול החקלאי. בארץ, השימוש מותר רק בבוצות מטופלות (בד"כ בתהליך קומפוסטציה בו מתחמם החומר לטמפרטורה של 55 מעלות צלזיוס) ולכן אין סיכון של הפצת גורמי מחלה לאדם עם הבוצה, ואין צורך בקביעת משך זמן מזערי בין מועד יישום הזבל לבין מועד האסיף. תקנות הבוצה מטילות על יצרני הבוצה את החובה לממן בקרה שוטפת של ריכוז הפתוגנים בבוצה באמצעות מעבדה חיצונית, ולהבטיח את עמידת הבוצה בתקן התברואי. ישנם גם מחקרים המראים, כי בקרקע ישנם גורמים ביוטיים אנטגוניסטיים לחיידקי הבוצה (כגון חיידקים טורפים, חד-תאיים ונמטודות) הגורמים להפחתה משמעותית באוכלוסיות של חיידקי הבוצה (או מי-קולחים) המוספים לקרקע¹⁶. החשש מנוכחות גורמי מחלה בקומפוסט מפסולת ביתית הוא נמוך ביותר.

החשש מהפצת פתוגנים הוא נמוך ביותר. ממשק מבוקר של פיזור והצנעת קומפוסט בקרקע מצמצם עד מאד את רמת הסיכון



¹⁵ פנחס פיין, יולי 2000. חלופות לשימוש בבוצת שפכים בחקלאות, מים והשקיה, גיליון 405, עמודים 41-28.

¹⁶ Fine, P., and A. Hass. 2007. Role of Organic Matter in Microbial Transport during Irrigation with Sewage Effluent. J. Environ. Qual. 36:1050-1060

ג. מלחים

ישום זבל בעלי חיים וקומפוסט אינו משפיע משמעותית על מליחות תמיסת הקרקע ואף יכול לתרום להורדת המליחות. בניסוי שבו פוזרו שלושת סוגי הקומפוסט (זבל רפתות, בוצת שפכים ופסולת ביתית), השפעת הקומפוסט על מליחות הקרקע הייתה שולית. שיעור מליחות תמיסת הקרקע בבית השורשים היה נמוך בכל קנה מידה ורחוק מלהוות איום כל שהוא לגידולי שדה¹⁷. עם זאת, ישום קומפוסט בחקלאות אורגנית בעומס גבוה עלול לגרום להמלחה של הקרקע בחנקות ובזרחות ולפגיעה ביבולים. פגיעה אחרת עלולה להיות עקב הצטברות אמוניה בקרקע (או אף ניטריט).

במקרה מסוים ניתן היה להראות כי קומפוסט היה יעיל במיוחד בטיוב של קרקעות שנפגמו בגלל המלחה וניתרון¹⁰. בניסוי שנערך באזור כפר ברוך הייתה עליה ביבולים בשיעור של כ- 30% בקרקעות מליחות כתוצאה מטיפול בקומפוסט לעומת קרקע שלא עברה טיפול. יש לציין שרמת המליחות בקומפוסט מפסולת ביתית נמוכה ביחס לקומפוסט בוצה וקומפוסט מזבל בעלי חיים.

זיבול מבוקר בקומפוסט אינו גורם לבעיות של המלחת קרקעות



ד. ריחות

פליטות ריח מבוצות מכוני טיהור לאחר עיכול אנארובי כוללות, מלבד מימן גופרי, מגוון רחב של תרכובות אורגניות נדיפות, כאשר תרכובות מכילות גופרית אחראיות בעיקר לריח הרע האופייני לבוצות¹⁸ על בסיס ניסוי שדה בו יושמה בוצה מיוצבת בסיד ואפר פחם, הוצע כי דימתיל דיסולפיד ודימתיל טריסולפיד, מהווים סמנים לנוכחות מטרדי ריח ויש קשר בין הריכוז שלהם לעוצמת הריח הנמדדת בשיטות אולפקטומטריות (חוש הריח האנושי)¹⁹. בניסוי בו הושוו מרכיבי ריח הנפלטים מבוצה שיוצבה בשיטות שונות (קומפוסטציה, קרינה, ייצוב בסיד ואפר פחם), נמצא כי ישום קומפוסט בוצה הקטין משמעותית את פוטנציאל המטרדים לעומת ישום של בוצה שעברה עיקור בקרינה או בוצה שיוצבה בעזרת סיד ואפר פחם (שיטת N-Viro). עיקור בקרינה נמצא כהליך הפחות יעיל בצמצום פוטנציאל המטרדים, ייתכן בשל פגיעה בחיידקים בעלי כושר פירוק של מרכיבי ריח²⁰.

בתהליך עיבוד הפסולת לקומפוסט נפלטים חומרים הגורמים ריח בלתי נח לאדם. ניתן לצמצם מאד את השפעת הריח ע"י עיבוד באתרים מרוחקים מישוב או במערכות סגורות המפחיתות את מרחב ההשפעה באופן ניכר



¹⁷ א. איזנקוט, א. זילברמן. 2004. סיכום רב שנתי של השפעת פיזור קומפוסט בוצה ובוצת שפכים בגידולי פלחה בשלושה אזורים על הגידולים והקרקע 2003 – 1999 / מחקר למדען הראשי של המשרד לאיכות הסביבה.

¹⁸ נאור, מ., רביד, ע., הלחמי, א., חן, י., בייביקוב, ר., פיין, פ., לאור, י. אפיון מטרדי ריח פוטנציאליים כתוצאה מיישום חקלאי של בוצות מכוני טיהור לאחר עיכול אנארובי וייצוב בסיד ואפר פחם. הוגש כתקציר לכנס השנתי של האגודה לאקולוגיה ומדעי איכות הסביבה, ISEEQS, 2008, הטכניון, חיפה

¹⁹ לאור, י., רביד, ע., הלחמי, א., חן, י. אפיון מטרדי ריח הנובעים משימוש חקלאי בבוצות מכוני טיהור. דו"ח מסכם לתוכנית מו"פ קולחין 06-0497-301. הוגש למדען הראשי של משרד החקלאות, אוקטובר 2008.

ה. זכוכית

זבל רפתות ובוצות שפכים אינם מכילים שברי זכוכית. גם קומפוסט שמקורו בפסולת ביתית שהופרדה במקור אינו מכיל זכוכית בכמות העלולה לעורר בעיות. שאריות פסולת זכוכית עשויות להימצא רק בקומפוסט שמקורו מפסולת ביתית שלא עברה הפרדה במקור (הופרדה בתהליך מכני). פסולת זו מופרדת בנפה סובבת המסננת את רוב הזכוכית, אולם פיסות קטנות של זכוכית יכולות לעבור דרך הנפה ולהגיע לקומפוסט. הזכוכית כשלעצמה אינה מחלחלת לאדמה ולא מזהמת את מי התהום אולם היא מהווה מחוון לאשפה שלא הופרדה במקור, ובהתאם לקומפוסט העלול להכיל מרכיבים שיגרמו זיהום סביבתי. מסיבה זו, מדיניות המשרד להג"ס איננה תומכת בישום קומפוסט שמקורו בפסולת ביתית שאיננה מופרדת במקור ותקנות החקלאות האורגנית אוסרות את השימוש בו.

בקומפוסט המיוצר מפסולת מופרדת במקור לא צפויה נוכחות של שברי זכוכית



ו. חומרים סינטטיים

פסולת אורגנית עלולה להכיל גם חומרים אורגניים סינטטיים שונים, כלומר חומרים מעשה ידי אדם. כך למשל בבוצות שפכים יתכנו שאריות דטרגנטים, בקומפוסט מפסולת ביתית עשויים להימצא שיירי פלסטיק או צבע ובזבל רפתות שיירי תרופות כגון אנטיביוטיקה והורמונים. חשוב להדגיש שכבר בחומר המקור (זבל רפתות, בוצת שפכים ופסולת ביתית) חומרים אלו מצויים בכמויות קטנות מאד. אם ניקח בחשבון את תהליכי העיבוד שהחומר האורגני עובר הרי שעל פי הערכה סבירה²⁰ בסופו של דבר נוכחות של חומרים כאלה לא תהווה סכנה בריאותית או מפגע סביבתי. נוכחותם בסביבה מופחתת ע"י קישורם למוצקי הזבל/קומפוסט בגלל חוזקם של קשרים אלה, ובגלל פירוק המזהמים הללו במהלך ייצוב החומר האורגני לפני ואחרי יישומו בקרקע. יתרה מכך, חומרים אלה אמנם אינם חלק ממחזור החומרים הטבעי, אולם בהתחשב בכך שכבר נוצרו ורבים הסיכויים שבכל מקרה ימצאו את דרכם לביוספרה, (בהנחה שאינם עוברים מיחזור), הרי שהימצאותם בקומפוסט אינה מהווה תוספת משמעותית לעומס הסביבתי. יש לציין שבתהליך הקומפוסטציה מתפרקים חלק מהחומרים סינטטיים כגון אנטיביוטיקה והורמונים.

זיהום בחומרים סינטטיים איננו נמנה עם הבעיות המרכזיות, אולם המגוון הרב והיקף השימוש הנרחב בחומרים אלה מצריך עמידה על המשמר ולימוד הנושא בהתקדמות הזמן



²⁰ Kester, G. B., R. B. Brobst, A. Carpenter, R. L. Chaney, A. B. Rubin, R. A. Schoof, and D. S. Taylor. 2005. Risk Characterization, Assessment, and Management of Organic Pollutants in Beneficially Used Residual Products. J. Environ. Qual. 34:80-90

ז. חנקות

דישון יתר משפיע לרעה על הסביבה במספר אופנים²¹: זיהום מי התהום, המלחת הקרקע וחשיפה מוגברת לסחיפה, זיהום התוצרת החקלאית שנועדה למאכל וזיהום אוויר.

עודף חנקות הנגרם ע"י זיבול יתר יגרום לאותן תופעות, אולם ברור שהשפעה של דשנים כימיים גדולה יותר משום שהם משחררים חנקות מיד לאחר יישומם בקרקע, והעודפים ימצאו את דרכם לתת-הקרקע ולמי התהום (אם יש כאלה במקום).

דישון יתר בדשן כימי גורם להמלחת הקרקעות ולעלייה בריכוז החנקות במי התהום. החנקה (NO_3) היא תרכובת שמהירות תנועתה בקרקע אל מי התהום גבוהה ביותר. כאשר היא חודרת למי התהום מעבר לסף מסוים היא מהווה סכנה לבריאות האדם. לפיכך, במדינות המפותחות קיימים תקנים המגבילים את ריכוז החנקות במי השתייה. בארה"ב הריכוז המרבי הוא 10 מ"ג/ליטר²², באירופה הריכוז הוא 50 מ"ג/ליטר²³ ובארץ 70 מ"ג/ליטר²⁴.

בפועל, ריכוזי החנקות במי התהום גבוהים מאד ביחס למדינות אירופה וארה"ב. ב-2007 כ-16% מהבארות במחוז מרכז חרגו מהתקן הישראלי וכ-34% היו גבוהים מהתקן האירופאי. כלומר, שליש מהבארות היו נפסלים לשתייה באירופה ובארה"ב. במחוז דרום כ-90% מהבארות אינן עומדות בתקן האירופי. סקר של השירות ההידרולוגי מצא שכ-70% מכמות החנקות האלה מקורן בדשנים כימיים²⁵.

חדירת חנקות למי התהום חמורה במיוחד בגידולי החממה. גידולים אלו מושקים ומוזנים באופן נמרץ, עד כדי כך שבחממות רבות יש להדיח את עודפי המליחות באמצעות שטיפות תקופתיות. מידי שנה מתנקזים כ-380 - 850 ק"ג חנקן, אשלגן וזרחן מכל דונם של בתי צמיחה.

גם תקנות הבוצה מגבילות את כמות החנקן המותרת ביישום בוצה לרמות של 50 ק"ג חנקן לדונם לשנה ומגבילות את השימוש לקרקע המושקת בקולחין (שמוסיפים גם לריכוזי החנקן) בכך שריכוז החנקן במי הקולחין נמוך מ-15 מ"ג/ליטר²⁶.

דשן כימי משפיע גם על התוצרת עצמה. עודפי הדישון, בייחוד דישון חנקני, עלולים לזהם את התוצרת החקלאית שנועדה למאכל, בדומה לזיהום שחומרי ההדברה גורמים. השוק האירופי קבע תקנות שמגבילות את רמת הניטראטים המותרת בתוצרת חקלאית ומדינות המייצאות את התוצרת לאירופה חייבות לעמוד בתקנים אלו. בנוסף, ריכוזי החנקות בקומפוסט מפסולת ביתית נמוך ביחס לקומפוסטים האחרים.

שימוש בדשן אורגני עדיף מבחינה סביבתית על הדשנים הכימיים



²¹ אתר המשרד להגנת הסביבה, דישון והשקיה, דישון. עודכן בתאריך 23.7.03
²² EPA. 2009. National Primary Drinking Water Regulations, List of Drinking Water Contaminants & their MCLs,
²³ The Drinking Water Directive (DWD), Council Directive 98/83/EC.

²⁴ תקנות בריאות העם (איכותם התברואתית של מי השתייה), תשל"ד 1947 (נוסח משולב 2001).

²⁵ אתר המשרד להגנת הסביבה, דישון והשקיה, דישון. עודכן בתאריך 23.7.03

²⁶ תקנות המים (מניעת זיהום מים) (שימוש בבוצה וסילוקה), התשס"ד, 2004

3. התועלת לחברה ולסביבה מימוש פסולת אורגנית בקרקעות חקלאיות

עד כה עמדנו על יתרונותיו של החומר האורגני כמטייב קרקעות ומשפר יבולים, על עדיפותו של הסביבתית על פני דשנים כימיים ועל המגבלות בישומו. אולם, כאשר בוחנים תועלת סביבתית יש לבדוק את כל מחזור החיים של החומר ולהשוות אותו לחלופות הקיימות. מחזור החיים של הקומפוסט מתחיל בפסולת האורגנית לסוגיה: זבל בעלי חיים, בוצה, פסולת ביתית וגזם. מכיוון שזבל בעלי חיים מיושם בקרקעות חקלאיות ברובו המכריע ובוצת שפכים אף היא עוברת ברובה קומפוסטציה ומיושמת בחקלאות ורק מיעוטה מוטמנת הרי שעיקר הדיון בפרק זה נוגע לפסולת האורגנית הביתית.

השיטה הנוכחית העיקרית לטיפול בפסולת האורגנית הביתית בישראל היא הטמנה. כאשר פסולת אורגנית מוטמנת בקרקע היא עוברת תסיסה אנאירובית ומשחררת מתאן, גז חממה החזק פי 21 מפחמן דו חמצני. הטמנה גם יוצרת תשטיפים העלולים לזהם את הקרקע ומי התהום. במטמנות המשודרגות התשטיפים מנוקזים ונאספים, כך שבעיה זו אמורה לבוא על פתרונה. הביוגז הנוצר בגוף הפסולת נשאב ובחלק מן האתרים אף מופקת ממנו אנרגיה. אולם גם באתרים משודרגים אלה, שיעור תפיסת המתאן הנו כ- 50% בלבד והיתרה משתחררת לאטמוספירה. לכך יש להוסיף את השפעות השינוע למטמנות, הפגיעה בערך הקרקע והפגיעה הנופית הנגרמת במטמנות ובסביבתן.

חלופה נוספת היא שריפת המסה האורגנית והטמנת שאריות האפר. בחלופה זו אכן מושג צמצום ניכר של נפח הפסולת, אולם תכולת המזהמים בחלק מהאפר היא גבוהה ולכן הוא מוגדר כפסולת מסוכנת. השריפה, על אף שהיא מלווה במיצוי חלק מהאנרגיה הגלומה בפסולת, הרי שהיא מכלה את המסה האורגנית שהקרקעות זקוקות לה וזהו עיקר חסרונה מבחינת מאזן החומר האורגני. חסרון גדול נוסף, שבעטיו פתרון השריפה נפסל בארצות רבות הוא זיהום האוויר. גם במשרפות המצוידות במתקני סינון מתקדמים נמצאו פליטות של דיוקסינים, כספית ועוד.

לעומת זאת בחלופות הטיפול הביולוגי (קומפוסטציה ועיכול אנאירובי) ההשפעות על הסביבה פחותות, מכיוון שסגירת מעגל החומר האורגני טומנת בחובה יתרונות סביבתיים רבים. ראשית, הפחתת כמות הפסולת המוטמנת תורמת לחסכון בשטחי הטמנה ולצמצום פליטת גזי חממה ממטמנות. הגדלת שיעורי המיחזור של המרכיבים היבשים (מהפסולת הביתית) מסייעת לניצול יעיל יותר של משאבים ולהפחתת כמות החומרים הבלתי מתחדשים המופקים על ידי האדם. ואילו הדשן האורגני שנוצר בתהליך מיושם בקרקע ותורם למניעת סחף, שיפור תאחיזת המים בקרקע, שיפור קליטת המים על ידי צמחים והגדלת יבולים חקלאיים.

כאשר לוקחים בחשבון את כל שלבי הטיפול בפסולת לרבות ההשפעות הסביבתיות הנובעות מצמצום השימוש בדשנים כימיים כתוצאה מהגדלת השימוש בדשנים אורגניים, מתקבלת תמונה חד משמעית שלפיה יש עדיפות מובהקת להפרדת הפסולת האורגנית ומיחזור לעומת הטמנת הפסולת או שריפתה. בחינת התועלות והעלויות הסביבתיות בשיטת ניתוח מיחזור חיים בכל תהליך הטיפול (הטמנה, מיחזור או שריפה) מכלילה את סך ההשפעות הסביבתיות לרבות פליטת גזי חממה, שימוש במשאבים מתכלים, פליטות מזהמים (למים, לקרקע ולאוויר) ועוד.

השוואה בדרך של ניתוח מיחזור חיים מלמדת שהפרדה במקור של הפסולת ומיחזור עדיפה על חלופת השריפה.



גזי חממה

גזי החממה הנפלטים בקומפוסטציה הם מתאן (CH_4) ו- N_2O שנפלטים כתוצאה מפירוק אנארובי וגזי חממה מדלקים מחצביים הדרושים לאיסוף החומר, שינועו ועיבודו (CO_2). גזי CO_2 ממקור ביוגני משתחררים בכמויות משתנות במהלך אחסון החומר האורגני, עיבודו ויישומו, אולם הם אינם מחושבים לצורך חישוב גזי החממה משמדובר בפחמן "חדש" שנקלט מהאטמוספירה והתקבע בביומסה ולכן שחרורו לאטמוספירה מאוזן. ניתוח מחזור חיים שבוצע ע"י הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (EPA), תוך שימוש במודל הסימולציה CENTURY, גורס שלא נפלט מתאן בכמויות משמעותיות בתהליך קומפוסטציה שמנוהל נכון בגלל שהאוורור אינו מאפשר היווצרות תנאים אנארוביים. גם במקרים בהם נוצר מתאן, בגומחות אנאירוביות בתוך ערימות הקומפוסט, הוא עתיד להתחמצן כאשר יגיע לשכבות העשירות בחמצן.²⁷

הפאנל הבינלאומי להגנה על האקלים (IPCC) נותן טווח רחב של פליטות מתאן כתוצאה מקומפוסטציה, 0.03-8 גרם CH_4 / ק"ג חומר אורגני בלתי מעובד, כאשר המקדם המוצע הוא 4 גרם שהוא כ-0.084 טון פד"ח / טון חומר אורגני בלתי מעובד.

מספר מחקרים הראו שפליטות ה- CO_2 כתוצאה משינוע ועיבוד החומר הן קטנות ביחס לכלל מחזור החיים.²⁸ במחקר של ה- EPA נמצא שמדובר ב-0.01 טון פד"ח/טון חומר אורגני בלתי מעובד. התרומה המרכזית של קומפוסטציה לגזי חממה היא בפליטות N_2O . על פי הערכות IPCC פליטות N_2O ממתקני קומפוסטציה הן במוצע כ-0.3 גרם N_2O / ק"ג חומר אורגני בלתי מעובד שהן שוות ערך לכ-0.093 טון פד"ח / טון חומר אורגני בלתי מעובד.²⁹

מנגד, במהלך היישום של החומר בקרקע חלק מהפחמן שבו מתקבע בקרקע, תהליך שמפחית את גזי החממה באוטמוספירה ומונע את התחממות כדה"א. יישום חומר אורגני תורם לקיבוע פחמן בקרקע במספר דרכים:

- תרומת הקומפוסט להיווצרות תלכידי קרקע והומוס. חומרים אלו יציבים בקרקע לתקופות ארוכות (>50 שנה) והם מוגנים יחסית מפירוק ע"י מיקרואורגניזמים.
- חומר אורגני מהווה "מכפיל כח" לקיבוע פחמן בקרקע בזכות יכולתו לשנות את קצב המחזוריות של מעגל הפחמן בקרקע ע"י יצירת תנאים לקיבוע פחמן גם ממקורות אחרים.
- החזרת פחמן אורגני לקרקעות שעובדו באופן נמרץ לאורך שנים, למחצבות ולקרקעות עניות בחומר אורגני.
- השבה מואצת של פחמן משאריות יבולים שנשארו בשדה כתוצאה מתרומת הקומפוסט לעלייה ביבול.

²⁷ Hao, X., Chang, C., Lamey, F.J. and Travis, G.R. (2001). Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. *Journal Environmental Quality* 30: pp. 376-386

²⁸ US EPA 2002. Solid waste management and greenhouse gases: a life-cycle assessment of emission and sinks. EPA530-R-02-006, Environmental Protection Agency, USA.

²⁹ IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. Volume 5: Waste, Chapter 4: Biological treatment of solid waste.

המחקר בחן תועלות אלו במודל הסימולציה CENTURY והגיע למסקנה שקיבוע הפחמן בקרקע כתוצאה מישום קומפוסט הוא כ-0.055 טון פד"ח/ טון פסולת אורגנית רטובה (כ-0.117 טון פחמן לכל 1 טון קומפוסט).

מחקר ה-EPA אינו מתייחס לפליטות N₂O וטוען שפליטות המתאן זניחות. כאשר מחשבים את פליטות ה-N₂O על פי ה-IPCC ומשקללים עם נתוני ה-EPA מגיעים לפליטות גזי חממה בשיעור של 0.049 טון פד"ח/ טון חומר אורגני. כאשר מחשבים לפי המקדמים של ה-IPCC ומוסיפים את קיבוע הפחמן מקבלים פליטה של 0.133 טון פד"ח/ טון חומר אורגני. חישוב זה עשוי להשתנות בהתאם לתנאי הקרקע, האקלים, סוג היבול וגורמים אחרים.

לגבי עיכול אנארובי המצב מעט שונה, מכיוון שהתהליך מתבצע בתוך מעכלים סגורים. פליטות ה-N₂O הן זניחות, ה-CO₂ שנפלט בתהליך עצמו הוא ממקור ביוגני ולכן אינו מחושב ורוב המתאן נאסף ומשמש להפקת אנרגיה. ה-IPCC קובע מקדם של 1 גרם מתאן/ק"ג חומר אורגני בלתי מעובד, כלומר כ-0.021 טון פד"ח / טון חומר אורגני בלתי מעובד. פליטות אלו נובעות מדליפות של מתאן ובמתקנים מתקדמים הן זניחות או מטופלות באמצעות לפיד ואז למעשה המתאן הופך ל-CO₂ ממקור ביוגני ואינו נכנס לחישוב. מתקן עיכול אנארובי בד"כ מייצר את רוב האנרגיה שלו בעצמו ולכן אין פליטות CO₂ שהוא ממקור מחצבי. בטבלה הבאה מוצגים שיעורי הפליטה (בטון פחמן דו חמצני שוה ערך לטון פסולת אורגנית רטובה בלתי מעובדת) עבור קומפוסטציה ועיכול אנארובי.

סה"כ חישוב משולב	סה"כ	קיבוע פחמן	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	
0.133	0.177	אין מידע	0.093	0.084	אין מידע	קומפוסטציה - IPCC
0.049	-0.045	-0.055	אין מידע	זניח	0.01	קומפוסטציה - EPA
-0.034	0.021	-0.055	אין	0.021	אין	עיכול אנארובי - IPCC

בסיכום כולל, ישנו יתרון לקומפוסטציה ועיכול אנארובי בהשוואה לחלופות האחרות לטיפול בחומר האורגני בהן הטמנה, שריפה או יישום החומר ללא עיבוד. בחישוב של ה-IPCC לא מפורט מרכיב הקומפוסטציה של הבוצה שנשארת לאחר תום תהליך התסיסה בעיכול אנארובי. ניתן לטפל בבוצה העיכול במספר דרכים ובמקרה שמדובר בקומפוסטציה החישוב דומה לערכים הממוצעים של קומפוסטציה המופיעים כאן.

האיחוד האירופי: עדיפות מובהקת לטיפול ביולוגי בפסולת האורגנית הביתית

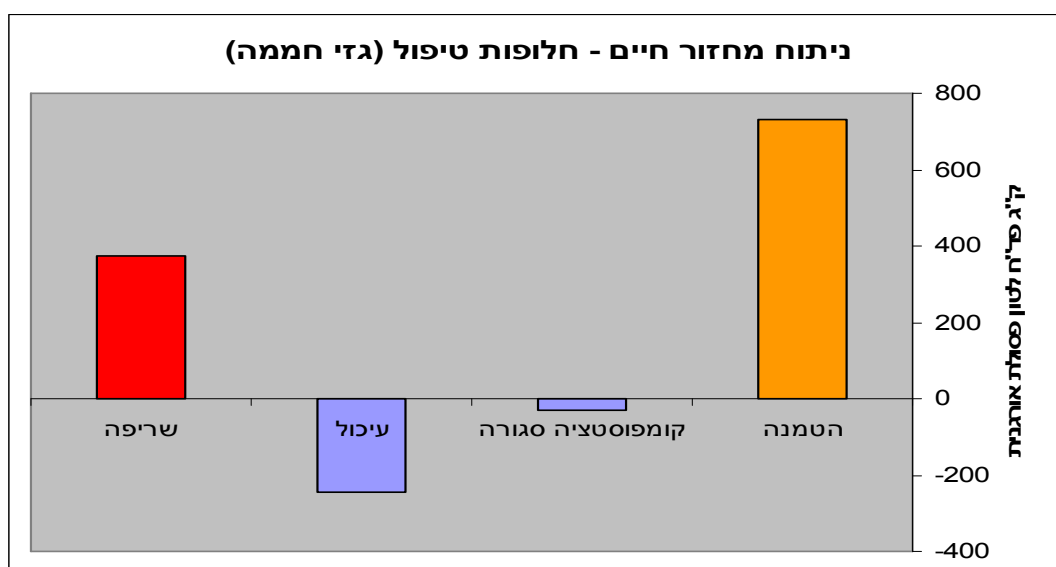
האיחוד האירופי, אשר הגדיר את הטיפול בפסולת האורגנית הביתית כבעלת חשיבות עליונה, ערך מחקר מקיף בשבע מדינות העומדות להצטרף לשורתיו.³⁰ מדינות אלה (פולין, צ'כיה, בולגריה ואחרות) נמצאות במצב דומה לישראל בכך שמרבית הפסולת עדיין מוטמנת ושעורי המיחזור נמוכים ביותר. מטרת המחקר האירופי הייתה לבחון חלופות טיפול בפסולת הביתית מהבחינה

³⁰ European Commission, Environmental Assessment of Municipal Waste Management Scenarios: Part 1 - Data Collection and Preliminary Assessments for Life Cycle Thinking Pilot Studies, 2007

הסביבתית והכלכלית, להסיק מסקנות ולהצביע על שיטות הטיפול המועדפות הן מהבחינה המקומית (צמצום הטמנה) והן מהבחינה הגלובלית (בעיקר הפחתת פליטת גזי חממה). המחקר התבסס על שיטת ניתוח מחזור חיים, כלומר כימות ההשפעות הסביבתיות באופן רחב כך שנכללת התרומה של חומרים ממוחזרים לחסכון בהפקת חומרי גלם ומחושבת התועלת המתקבלת מהשבה של חומר אורגני לטיוב קרקעות ומצמצום השימוש בדשנים כימיים. באופן דומה, מחושבות גם ההשפעות השליליות הנגרמות בתהליך המיחזור, כגון צריכת דלק, עומס אורגני בשפכים, וכו'.

המסקנות מתוצאות הניתוח הן ברורות: חלופות השריפה וההטמנה הן בעלות המשקל הכבד ביותר מבחינת פליטת גזי חממה. חלופת הקומפוסטציה היא כמעט מאוזנת מבחינת פליטת גזי חממה וחלופת העיכול האנארובי תורמת להפחתת הפליטות בכך שהיא מייצרת אנרגיה מגז המתאן הנוצר בתהליך העיבוד. מחקר אירופי נוסף בחן גם את דרכי הטיפול המועדפות לכל מרכיב ממרכיבי הפסולת.³¹ מכיוון שהחומר האורגני הרקבובי מהווה בישראל כמעט מחצית ממשקל הפסולת הביתית, יש חשיבות מכרעת לדרך הטיפול בו. גם כאן התוצאות מצביעות על עדיפות ברורה לקומפוסטציה ועיכול אנארובי על פני שריפת הפסולת האורגנית או הטמנתה. כפי שניתן לראות באיור הבא, בחלופת השריפה נפלטים פי ארבעה גזי חממה מאשר בחלופת הקומפוסטציה.

פוטנציאל פליטות גזי חממה מפסולת אורגנית לפי שיטות הטיפול (ק"ג פד"ח לטון פסולת אורגנית)



מנתונים אלה עולה שהתועלות החברתיות הנובעות משימוש מושכל בפסולת האורגנית והחזרתה למעגל הביולוגי הן רבות. הפסולת האורגנית הביתית הנוצרת במטרופולין צפוף האוכלוסין משמשת כדשן להזנת הקרקעות החקלאיות וכך תורמת לשמירת הפוריות והיציבות של הקרקעות אשר בהן גדלים גידולי השדה המזינים את המטרופולין בחזרה בתוצרת מזון ובסיבים.

לפסולת האורגנית תפקיד מפתח בשמירת מעגל ההזנה ההדדי בין השטחים החקלאיים ובין המרחב העירוני, ביצירת קשר מפרה ומאוזן ובצמצום ההשפעות סביבתיות הנוצרות מהטמנת הפסולת.



³¹ European Commission, Waste management options and climate change, 2001

4. קומפוסט – ביקוש והיצע בישראל

בשנת 1999 נערך סקר הקומפוסט בישראל³² שבחן את אפשרויות הייצור והיישום של קומפוסט בישראל. הסקר העריך שבשנת 2005 יעמוד היצע הקומפוסט הארצי על כ-1.9 מיליון מ"ק כאשר מתוכם 1.6 מיליון מ"ק מקורם בפסולת חקלאית (ברובה זבל רפתות), 0.2 מיליון מ"ק מפסולת ביתית (כולל גזם) ו-0.1 מיליון מ"ק מבוצות שפכים. פוטנציאל הביקוש ב-2005 הוערך ב-7 מיליון מ"ק. בהערכה לשנת 2020 צפו המשך המגמה של עודף ביקוש גדול לקומפוסט.

במחקר אחר שנערך בשנת 2006 נאמד ייצור הקומפוסט ב-1.5 מיליון מ"ק ופוטנציאל הביקוש נאמד ב-4.5 מיליון מ"ק (בהתחשב בהשקיה בקולחין)³³. מסקרים אלו עולה כי קיים עודף ביקוש של 2-5 מיליון מ"ק לקומפוסט בישראל.

ההיצע לקומפוסט

ניתן לחלק את ההיצע למספר סוגי קומפוסט על פי חומרי הגלם ודרגת הבשלות.

1. קומפוסט חקלאי- כולל פסולת בעלי חיים (ברובה זבל רפתות) ופסולת צמחית.
2. קומפוסט עירוני- פסולת אורגנית ביתית שהופרדה במקור או באמצעים מכניים.
3. קומפוסט בוצות- בוצות ממכוני טיהור שפכים שעברו תהליכי ייצוב.

לגבי קומפוסט בוצות קיימים שני סוגים :

- **בוצה סוג א'** - קומפוסט בוצה שעבר תהליך ייצוב וטיפול להפחתת פתוגנים. קומפוסט המוגדר "בוצה סוג א'" צריך לעמוד בתנאי תקנות הבוצה באשר לריכוזי מתכות ופתוגנים. ניתן ליישמו בקרקעות חקלאיות לכל הגידולים אך לא בגנים ציבוריים או בגינות פרטיות.
- **בוצה סוג ב'** - בוצה שעברה תהליך הסמכה ועיכול אנאירובי אך לא עברה טיפול להפחתת פתוגנים (קומפוסטציה בטמפ' גבוהות / פיסטור). החל מחודש מרץ 2008 לא ניתן ליישם בוצה סוג ב' והסוג היחיד שמותר לשימוש הוא בוצה סוג א'³⁴.

סוגי הקומפוסט שונים זה מזה בריכוז חומרי ההזנה (חנקן, זרחן, אשלגן), בריכוזי המתכות והמינרלים, במרקם ובמאפיינים נוספים³⁵. מההבדלים בין הסוגים השונים נגזרים גם הבדלים באופי היישום כגון סוג הגידולים, עומס הישום, אופן הפיזור והבדלים במחיר הקומפוסט.

באופן כללי, ניתן לאמור שקומפוסט בוצה עשיר יחסית בחנקן וזרחן אך מרקמו צמיגי יותר והוא עשוי להכיל ריכוזים גבוהים יותר של מתכות כבדות ופתוגנים בהשוואה לסוגים האחרים.

³² אפיק הנדסת סביבה והדרולוגיה, עמוס לביא ייעוץ כלכלי והשקעות, מאי 2000. הקומפוסט בישראל, סקר מקורות ושימושים וניתוח כלכלי. בעבור משרד החקלאות והמשרד להגנת הסביבה.

³³ חורחה טרצ'יצקי, ברכה גל, ג'מאל מדלג', תניב רופא, שי דותן, ג'ון זליברמן ומשה ברונר. אוגוסט 2006. אומדן הביקוש לקומפוסט.

³⁴ הערות למסמך- ד"ר חורחה טרצ'יצקי

³⁵ דוגמא להבדלים בנספח מס' 1.

קומפוסט מפסולת עירונית מתאפיין ביחס פחמן / חנקן גבוה יחסית וריכוזים נמוכים יותר של זרחן ואשלגן³⁶.

ביקוש לקומפוסט

הביקוש לקומפוסט מחושב על פי מכפלת שטחי הגידול בכמות הדרושה לגידול (במ"ק/דונם). חקלאים מעוניינים בקומפוסט למגוון שימושים וגידולים, הן בשטחים פתוחים והן בחממות ובתי גידול. החקלאים משתמשים בקומפוסט כתחליף או כתוספת לדשן כימי במיוחד בגידולי שדה שבהם מעוניינים להגדיל את היבול מבלי להשתמש בדשנים כימיים יקרים. בנוסף, משמש הדשן האורגני לטיוב של קרקעות כבדות במיוחד או קרקעות עניות בחומר אורגני.

הגידולים שבהם נפוץ במיוחד השימוש בקומפוסט הם:

- תפוא"א (5-7 מ"ק דונם)
- מטעים (לפני נטיעה מפזרים כ-10 מ"ק/דונם)
- גידולי שדה (חיטה, שעורה, תירס)

כמו כן קיים ביקוש לקומפוסט במשתלות, בגינות פרטיות ובגינות ציבוריות.

ביקוש מול היצע

הסקרים שבחנו את שוק הקומפוסט הציגו תמונה לפיה קיים עודף ביקוש לקומפוסט בישראל. גם בניתוח אזורי של ההיצע והביקוש, נראה כי בכל האזורים קיים עודף ביקוש. המחירים שחקלאים יכולים לשלם נאמדו בטווח של 40-90 ₪ עבור מ"ק קומפוסט (כולל הובלה). מחירים אלו נגזרים מהתרומה של הקומפוסט לפדיון השנתי של החקלאי. אולם בפועל, ישנם חקלאים המשלמים 0 ₪ /מ"ק עבור הקומפוסט וקיימים גם עודפי היצע מקומיים, במיוחד בקומפוסט עירוני שלא עבר הפרדה במקור.

כלומר, עודף הביקוש שלכאורה קיים בשוק, 2-5 מיליון מ"ק, אינו בא לידי ביטוי מלא. הוא מבוסס על חישוב השימושים האפשריים לקומפוסט, כלומר על כמויות שיכולות להחליף דשנים כימיים ולטייב אדמות עניות שלא מדושנות כלל.

כמויות אלו, על אף שיש בהן צורך ברור, אינן מבוקשות בפועל על ידי החקלאים בגלל חוסר מודעות לתרומת הקומפוסט, היעדר תקינה ופיקוח על איכות הקומפוסט, איכות נמוכה של קומפוסט במקומות מסוימים, ודפוסי עבודה שנתקבעו במשך שנים הכוללים דישון נוזלי בדשנים כימיים. העלאת המודעות בקרב החקלאים בשילוב תקינה ואכיפה על ייצור קומפוסט איכותי יביאו להגדלת הביקוש הקיים.

הביקוש הארצי לקומפוסט גבוה מההיצע אך נמוך מפוטנציאל השימושים האפשרי



³⁶ נורית בן הגיא, משה ברנר, מיכאל רביב, נווה יער, יסמין שגיב (קרוקובסקי), 2008, אפיון חומרים אורגניים לחקלאות.

לגבי ההיצע, חסר כיום היצע של קומפוסט איכותי בפריסה ארצית רחבה. אתרי ייצור הקומפוסט מרוכזים במספר אתרים בדרום הארץ ובצפונה, כאשר שטחים חקלאיים רבים אינם מצויים בקרבתם, דבר הגורר עלויות הובלה גבוהות שמעלות את מחיר הקומפוסט או לחילופין מורידות את כדאיות הייצור. על מנת לספק את עודפי הביקוש הצפויים יש להרחיב את היצע הקומפוסט ולדאוג שיסופק באיכות גבוהה. מכיוון שחומרי הגלם לקומפוסט חקלאי וקומפוסט בוצה נמצאים כבר היום קרוב למיצוי, ניתן לעשות זאת בעיקר ע"י הכנסת פסולת אורגנית ביתית שהופרדה במקור כחומר גלם איכותי לקומפוסט.

ההיצע הארצי לקומפוסט נמוך מהביקוש וניתן להגדילו באמצעות שימוש בפסולת אורגנית ביתית כחומר גלם איכותי



ניתן לסכם ולאמור שבשוק הקומפוסט קיימים פערים גדולים הן בצד הביקוש והן בצד ההיצע. הביקוש בפועל נמוך מכפי שהיה יכול להיות בהינתן התוספת האפשרית ליבול החקלאי, ואילו ההיצע מרוכז בדרום הארץ ואינו מנצל חומר גלם שמקורו בפסולת אורגנית ביתית.

5. כדאיות כלכלית של יישום דשן אורגני בקרקעות חקלאיות

המרכיב הכלכלי הוא שיקול חשוב בשימוש בדשן אורגני בחקלאות. כדי לבחון כדאיות כלכלית יש לאמוד את התועלת של יישום החומר בקרקע מול מחירו. המחיר של הדשן האורגני תלוי בחומר המוצא, איכות החומר ומרחק השינוע וכן במחיר החלופות (דשנים כימיים). בעבודה שנערכה במשרד החקלאות בנובמבר 2006 נאמדו מחירי הדשן האורגני בטווח של 40-70 ₪ למ"ק³⁷ (כולל הובלה ופיזור).

חשוב לציין שבעוד שמחירים של דשנים כימיים נקבע על בסיס תכולת החנקן והזרחן, בדשן אורגני שחרור מרכיבים אלו לקרקע הינו איטי יותר (5-15% חנקן וכ-70% זרחן משתחררים בשנה הראשונה) ולכן השפעתם היא לטווח ארוך. רוב האשלגן משתחרר כבר בשנה הראשונה.¹ ערכו של הדשן האורגני לחקלאי מבוסס על שני מרכיבים:

- התועלת העונתית, כלומר התרומה לפדיון מיישום דשן אורגני באותה עונת גידול.
- טיוב הקרקע והתועלת לטווח ארוך, כלומר התרומה של הדשן האורגני לגידולים של השנים הבאות.

לפיכך, הערכה כלכלית של כדאיות השימוש בקומפוסט דורשת פרק זמן של שלוש שנים לפחות. בחקלאות אורגנית המתבססת על דשן אורגני כמקור החנקן היחיד ישנו ערך נוסף שמתבטא ביכול אורגני, שהוא בעל ערך גבוה יותר לצרכן.

כדאיותו הכלכלית של הדשן האורגני כשלעצמו הוכחה במקומות שונים בעולם, ובגידולים חקלאיים שונים כגון: חיטה, תפוח"א, תירס, בצל, תותים, דובדבנים, אגסים, תפוחים ואחרים. זאת ועוד, במחקרים רבים הוכח שבשילוב בין דשן אורגני לדשנים הכימיים לאותו גידול היבול גבוה יותר מאשר בשיטות הדישון הרגילות (דשנים כימיים) והרווחיות גבוהה יותר^{39,38}.

עם זאת, על החקלאי לבחון את השימוש בדשן אורגני ואת הכמות הדרושה על פי מאפייני הקרקע, האקלים והגידול החקלאי. בגידול של קטניות, למשל, שימוש בדשן אורגני נמצא כלא כדאי במספר מחקרים.

שימוש בדשן אורגני הוא כדאי מבחינה כלכלית לגבי מגוון של גידולים חקלאיים ובקרקעות שונות



³⁷ חורחה טרצ'יצקי, ברכה גל, ג'מאל מדלגי, תניב רופא, שי דותן, ג'ון זילברמן ומשה ברוני. נובמבר 2009. אומדן הביקוש לקומפוסט.

³⁸ Using quality compost to benefit crops / WRAP

³⁹ JM. Macharia², SK. Kimani, LN. Kimenye, RA. Nyikal, J. Ramisch, August 2006. Economic evaluation of organic and inorganic resources for recapitalizing soil fertility in small holder maize based cropping systems of central Kenya. presentation at 26th Conference of the International Association of Agricultural Economics (IAAE), Gold Coast, Australia on 12-18th August 2006

6. ישום פסולת אורגנית באירופה וארה"ב בהשוואה לתנאים בארץ

באירופה, כמות הפסולת האורגנית הביתית כולל גזם עירוני עמדה בשנת 2008 על כמאה מליון טון⁴⁰, כאשר פוטנציאל העיבוד והישום בקרקע עדיין רחוק ממיצוי. בכל ארצות אירופה מתקיים ייצור ויישום קומפוסט בקרקעות חקלאיות וברובן גם קיים ייצור של קומפוסט מפסולת ביתית מופרדת במקור⁴¹. תרמה לכך רבות דירקטיבת ההטמנה (Landfill Directive)⁴² אשר בה נדרשות המדינות החברות באיחוד האירופי לצמצם את כמות הפסולת האורגנית המוטמנת ב – 65% עד שנת 2015.

היעדים שנקבעו במדינות האיחוד האירופי מחייבים את הרשויות בכל מדינה ומדינה לנקוט את הצעדים הדרושים לצמצום הפסולת האורגנית המוטמנת ובהם גם מחזרה לקומפוסט. בהולנד, למשל, נקבע באופן חד משמעי בתכנית הפסולת האסטרטגית שיש להפריד פסולת אורגנית במקור. קביעה זו עוגנה בחקיקה המחייבת רשויות להפריד פסולת במקור.⁴³

הדירקטיבה האירופית העוסקת בטיפול בבוצת שפכים⁴⁴ ובפרט בהגנה על הקרקע כתוצאה משימוש בבוצה לחקלאות ולשימושים קרקעיים נוספים, קובעת מפורשות כי יש לעודד ישום בוצת שפכים בחקלאות תוך שימוש מבוקר והקפדה על שמירת הסביבה. עיקרה של הדירקטיבה הוא בקביעת הסייגים וההיתרים לשימוש בבוצה בקרקעות חקלאיות ויצירת האחדה בגישת הטיפול. חלק ממדינות אירופה אף קבעו תקנות מחמירות יותר מדרישות הדירקטיבה באשר לישום בוצת בחקלאות. הדבר גרם לכך שבארצות כמו הולנד ובגרמניה התפתחה חלופת השריפה. יחד עם זאת, אין לראות במציאות הצפון אירופית דגם מייצג עבור ישראל, הן משום התנאים הסביבתיים והן משום התנאים הפיזיים. התנאים הסביבתיים בארצות השפלה שונים מהותית מאלו של ישראל: כמות משקעים גדולה, קרקע עשירה בחומר אורגני, מפלס מי התהום גבוה וענף גידול בקר נרחב הביאו לכך שמצאי הקרקעות הזמין לישום פסולת אורגנית הוא מוגבל. יתר על כן, תכולת המתכות הכבדות בבוצת השפכים במרבית מדינות אלה היא גבוהה יותר ולכן מוחרפת בעיית הסיכון הסביבתי כתוצאה מישום בוצת בקרקע.

לעומת זאת, ברוב שטחה של ישראל שורר משטר של מיעוט משקעים, יש אזור צחיח נרחב וקרקעות דלות בחומר אורגני. גם סקירת המצב במדינות הדרומיות באירופה מגלה תמונת מצב שונה מזו של צפון היבשת, לפיה ניתנת עדיפות לטיפול ביולוגי על פני חלופת ההטמנה והשריפה⁴⁵.

⁴⁰ Luca Montanarella, Biowaste Treatment and Soil protection, European Commission, presentation in Brussels, 9-10 June 2009

⁴¹ Legal framework for compost application in Europe, Josef Barth, Informa Compost Consultants, Oelde, Germany

⁴² Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste

⁴³ The Netherlands, Separation of Household Waste, information sheet by the Waste Management dep. Of the ministry of Environment and Spatial planning,

⁴⁴ Council directive of 12 June 1986 on the protection of the environment and in particular on of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/278/EEC)

⁴⁵ European Commission, Disposal and recycling Routes for Sewage Sludge, Part one, October 2001. p 25, 27, 29.

השוואה של ריכוזי המתכות המותרים בקומפוסט מבוצות שפכים (בוצה סוג א' בארץ) :

מתכת	ישראל ⁴⁶ (מ"ג/ק"ג)	האיחוד האירופי ⁴⁷ (מ"ג/ק"ג)	ארה"ב ⁴⁸ (מ"ג/ק"ג)
קדמיום	20	20-40	85
נחושת	600	1000-1750	4300
ניקל	90	300-400	420
עופרת	200	750-1200	840
אבץ	2500	2500-4000	7500
כספית	5	16-25	57
כרום	400	-	3000

זה המקום להדגיש שמדיניות הטיפול בפסולת אורגנית באירופה נשענת על שני עיקרים: האחד, צמצום ההשפעות הסביבתיות בכלל ופליטות גזי חממה בפרט. במספר עבודות שבחנו את שיטות הטיפול בפסולת אורגנית ביתית נמצא שיש עדיפות מובהקת לטיפול ביולוגי (קומפוסטציה ועיכול אנארובי) על פני חלופות אחרות.

העיקר השני נוגע לתפיסת הפסולת האורגנית כבעלת פוטנציאל מסייע לשיקום קרקעות ולעצירת הדלדלותן. שטחים נרחבים בדרומה של אירופה ובמרכזה סובלים מהדלדלות נמשכת והן חסרות חומר אורגני ופחמן אורגני לבניית קרקע ברמה מספקת⁴⁹.

⁴⁶ תקנות המים (מניעת זיהום מים) (שימוש בבוצה וסילוקה), התשס"ד, 2004

⁴⁷ Council Directive on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture, (86/278/EEC).

⁴⁸ US CFR (US code of federal regulations). Title 40. Part 503. July 2003. Standards for the use or disposal of sewage sludge

⁴⁹ European Soil Atlas, Loss of Organic Matter (EC website)

7. היבטים סביבתיים של עיבוד החומר האורגני (קומפוסטציה)

קומפוסט מציע מגוון הזדמנויות לשיפור המאזן הסביבתי: השבת חומר אורגני לקרקע, קיבוע פחמן דו חמצני, שיקום קרקעות ועוד. זה המקום לציין ששורה של מחקרים הראו שבמאזן סביבתי כולל (ניתוח מחזור חיים), חלופות הטיפול הביולוגיות (הקומפוסטציה ועיכול אנאירובי) עדיפות לאין שיעור על פני חלופות אחרות (הטמנה ושריפה)^{50,51,52,53}. עם זאת לתהליך הקומפוסטציה עצמו עלולות להיות השפעות סביבתיות שליליות ברמה המקומית כגון: מפגעי ריח, זיהום קרקע ומים, זיהום אוויר וכו'. לפיכך, חלק זה אינו מתייחס לעדיפות הברורה של טיפול ביולוגי (קומפוסטציה/עיכול אנאירובי) בפסולת האורגנית, אלא להיבטים הסביבתיים המקומיים של תהליך עיבוד החומר האורגני. וזאת, מבלי לכלול את מגוון ההשפעות החיוביות של החזרת החומר האורגני לטבע. כלומר, עם כל היתרונות הגלומים בתוצר הסופי (קומפוסט), יש לתת את הדעת גם להשפעות תהליך העיבוד. להלן השפעותיו האפשריות על הסביבה.

א. זיהום אוויר

בתהליך קומפוסטציה פתוחה עשויים להשתחרר לאוויר ביואירוסולים (חלקיקי חומר אורגני זעירים) למרחק של 200-250 מ' מאתר הקומפוסטציה⁵⁴. חלקיקים אלו עלולים להוות מפגע בריאותי אולם עדיין לא נקבעו להם ספי חשיפה. הגורם לפליטות החלקיקים הוא אוורור ערימות הקומפוסט וניפוי החומר. ניתן להקטין את הפליטות באמצעות תכנון וניהול נכון של מתקן הקומפוסטציה למשל ע"י התחשבות במשטר הרוחות, השקיית הקומפוסט, כיסוי, בחירת שיטת האוורור המתאימה ותזמון נכון של פעולות האוורור. עם זאת, נראה שהדרך הטובה ביותר להתמודד עם בעיה זו היא מניעתה מלכתחילה, כלומר מיקום מתקן הקומפוסטציה במרחק מה מישובים, כך שהחשיפה לחלקיקים תהיה נמוכה מאד.

ב. ריחות

ריחות רעים הנפלטים מאתרי קומפוסטציה אינם מהווים בהכרח בעיה בריאותית, אך הם עלולים להוות מטרד של ממש לתושבים הגרים בסמוך לאתר. במובן מסוים בעיית הריחות קשורה גם היא לבעיית הביואירוסולים משום שלעיתים הם מהווים את המקור לריח. בין הכימיקלים האחראים לריחות נמצאים גזים אנאורגניים (כמו אמוניה ומימן גופרי) וכן תרכובות אורגניות נדיפות ממשפחות רבות, כולל תרכובות מכילות גופרית וחנקן וחומצות שומן נדיפות. בניסוי שנערך

⁵⁰W. Edelmann, K. Schleiss, and A. Joss, Ecological, energetic and economic comparison of anaerobic digestion with different competing technologies to treat biogenic wastes, Water Science and Technology Vol 41 No 3 pp 263–273. 2000.

⁵¹ European Commission, Environmental Assessment of Municipal Waste Management Scenarios: Part 1 - Data Collection and Preliminary Assessments for Life Cycle Thinking Pilot Studies, 2007

⁵² Mara Regina Mendes, Toshiya Aramaki, Keisuke Hanaki. Assessment of the environmental impact of management measures for the biodegradable fraction of municipal solid waste in Saˆo Paulo City. Waste Management 23 (2003) 403–409.

⁵³ Ayalon O, Alternative MSW Treatment Options to Reduce Global Greenhouse Gases Emissions – The Israeli Example, Waste Management and research 18, pp.538-544, 2000

⁵⁴ Ellen Z. Harrison, Compost Facilities-Off-Site Air Emissions and Health, Cornell Waste Management Institute. July 2007

בקליפורניה נמצא כי שימוש בשיטה של ערימת קומפוסט עם אוורור מאולץ⁵⁵ מפחית את שיעור פליטת האמוניה בכ - 70%, החומצה הפורמית בכ-57% ואת החומצה האצטית בכ-11% ביחס לשיטת שורות הרוח⁵⁶, כששאר הכימיקלים הגורמים לבעיית ריח מופחתים לרמות מזעריות. באותו ניסוי נמצא גם ששימוש בביופילטרים הקטין את הריחות ב-57.98%. בעבודה שביצעה ד"ר רבקה קולטון עבור השפד"ן, שעסקה בהערכת עוצמה ופיזור של ריחות מתהליכי קומפוסטציה של בוצה לא מיוצבת, נמצא שאתרי הקומפוסטציה המשמשים לייצוב הבוצה עלולים להוות מקור למטרדי ריח קשים. הממצאים של קולטון, המבוססים על ניסוי קומפוסטציה של בוצת שפד"ן לא מיוצבת באתר דלילה (בשדות קיבוץ נחשון), מעלים את החשש שהיישובים הסמוכים לאתר יסבלו מעוצמות ריח בלתי סבירות. יהיה צורך לכן בטיפול מונע (למשל, כיסוי הערמה) במהלך השלבים ההתחלתיים של התהליך. עוצמת המטרדים תלויה בראש ובראשונה בדרגת הייצוב של הבוצה וכמובן, כמו בכל תהליך קומפוסטציה, ניתן להשיג הפחתה של הריח על ידי אספקת תנאי אוורור טובים באמצעות אוורור מאולץ, היפוך הערמות והוספת כמות מספקת של חומר נפחי (גזם למשל). כפי שניתן לצפות, גם בעבודתה של קולטון נמצאו עוצמות ריח גבוהות יותר מערמות סטטיות לעומת ערמות עם אוורור אקטיבי. ניהול נכון של מתקן הקומפוסטציה ללא מטרדי ריח הוא הכרחי וייתכן שיהיה הכרח לעבור לעבודה במתקנים סגורים, לכל הפחות באתרים הקרובים לאזורי מגורים.

בעיית הריחות קיימת ברוב אתרי הקומפוסטציה הפתוחים והיא בד"כ מחריפה באקלים חם ונתונה לשינויים ותנודות בהתאם לשינויי מזג האוויר. מתקני קומפוסטציה פתוחים שלא נקטו באמצעים המתאימים להפחתת הריחות נאלצו לצמצם את פעילותם או אף להפסיק לחלוטין את הפעילות. דוגמא לכך, היא מפעל קומפוסט 2000 שליד קרית ביאליק. יש לציין, שבעיית הריחות כמעט ואינה קיימת במתקני קומפוסטציה סגורה המנוהלים כראוי משום שבמתקנים אלו קיימות מערכות סינון ביולוגי הקולטות ומפרקות את החומרים האורגניים.

בימים אלה פועל המשרד להגנת הסביבה לאכיפת נוהל חדש אשר מגדיר מפגעי ריח. אתרי קומפוסטציה, כמו שאר מקורות פולטי ריח לסביבה, יחויבו בהערכת עוצמות הריח במקור וקביעת המרחק המינימלי הדרוש בין המקור לבין בתי תושבים, על מנת למנוע מטרדים פוטנציאליים. מכאן שיש להתייחס לפוטנציאל מטרדי הריח בכובד ראש ולראות בהם שיקול מרכזי בתכנון ותפעול נכון של אתרי טיפול בפסולת אורגנית.

ג. תשטיפים

במהלך העיבוד, מאבד החומר האורגני מתכולת המים שבו כתוצאה מתהליך הקומפוסטציה ומהתאדות. בחודשי הקיץ צריך להשקות את ערימות קומפוסט באופן תדיר על מנת לשמר סביבה לחה עבור מיקרואורגניזמים המפרקים את החומר האורגני ואילו בחורף ערימות הקומפוסט חשופות למי גשמים. עודפי המים עשויים ליצור תשטיפים שיחדרו לקרקע, למי התהום, או למי נגר עילי. תשטיפים אלו עשירים מאד בחומר אורגני ויכולים להוביל לתהליכי אוטרופיקציה, המלחת הקרקע, זיהום מי תהום ומפגעים סביבתיים אחרים.

⁵⁵ שיטת קומפוסטציה שבה החומר האורגני נערם בערימה אחת ומאוורר באמצעות מערכת צינורות ומפוחים.

⁵⁶ שיטת קומפוסטציה שבה החומר האורגני נערם בשורות המאווררות ע"י היפוך באמצעים מכניים.
⁵⁷ Paul Rosenfeld, Mark Grey, Paul Sellev, Measurement of Biosolids Compost Odor Emissions from a Windrow, Static Pile, and Biofilter. Water Environment Research. Alexandria:Jul/Aug 2004. Vol. 76, Iss. 4, p. 310-315 (6 pp.)

בגלל הרכבם הכימי, התשטיפים עלולים ליצור עומס על מתקני טיהור השפכים ולכן אסור לנקזם למערכת הביוב ללא טיפול קדם⁵⁸. המשרד להגנת הסביבה קבע דרישות מפורטות לאתרי קומפוסטציה בנוגע למניעת תשטיפים כגון בניית מערכת ניקוז לתשטיפים ומיקום האתר לפחות 100 מ' מערוצי נחלים. בנוסף, כאשר המשרד מאשר הקמת אתר לטיפול בחומר אורגני הוא בוחן גם נתונים טופוגרפיים, הידרולוגיים, נתוני מזג אוויר ונתונים נוספים היחודיים לאותו אתר.

באתר קומפוסטציה המנוהל עפ"י הנחיות המשרד להגנת הסביבה מי התשטיפים מנוקזים וממוחזרים להאצת תהליך הפירוק המיקרוביאלי (משמשים להשקיות נוספות) או לחילופין מטופלים בטיפול קדם בטרם הזרמתם למט"ש. באופן זה נמנעת זליגת תשטיפים אל מחוץ לאתר ומצטמצם עד מאד הסיכון לזיהום סביבתי. יש לציין, שכאשר אנו באים לבחון את השפעתו הסביבתית של תהליך מסוים יש לבחון אותו מול החלופות. בארץ, החלופה המרכזית לטיפול בפסולת האורגנית הביתית היא הטמנה ומיותר לציין שלהטמנה קיימות השפעות סביבתיות חמורות כשלעצמה.

בעיית הזבובים באתרי קומפוסטציה עלולה לגרום למטרד חמור, במיוחד כאשר תהליך הטיפול איננו נעשה כראוי. הנחיות המשרד להג"ס בעניין זה הנה להקים מתקני קומפוסטציה סגורה בקרבת אוכלוסין ולהתיר מתקנים פתוחים רק במרחק מישובים. הקפדה על תפעול מדויק ומבוקר גם היא יכולה להקטין את עצמת הבעיה באופן ניכר.

בתהליך עיבוד החומר האורגני, כאשר הוא מתוכנן ומנוהל בצורה נכונה, ההשפעות הסביבתיות הן מזעריות



⁵⁸ Uta Krogmann, Heike Woyczehowski. Selected characteristics of leachate, condensate and runoff released during composting of biogenic waste. Waste Manage Res 2000: 18: 235±248

8. תקנות ואכיפה בכל הקשור לייצור וישום דשן אורגני

התנאים הנאותים לייצור חומר אורגני ויישומו בקרקעות חקלאיות מעוגנים
בתקנות ובחוק רישוי עסקים



הקמת מתקן קומפוסטציה

דרישות סביבתיות

כל מתקן לייצור קומפוסט למעט קומפוסטציה ביתית נדרש לנושאים הבאים:

- התייחסות מוסד התכנון לנושא בתכניות המתאר ברמה המקומית, המחוזית והארצית, יעודי קרקע, שימושי קרקע רגישים, מרחקים ממגורים וכו'.
- היתר בנייה כדין.
- רישיון עסק ספציפי ותנאים הרישיון העסק.

המשרד להגנת הסביבה פרסם גם קובץ הנחיות סביבתיות לאתר קומפוסט המתייחס לתשתית הנדרשת, התפעול, מיקום האתר ורישוי העסק הנדרש⁵⁹.

רישוי עסקים

בחוק רישוי עסקים - התשכ"ח 1968 נקבעו התנאים להקמת אתר להקמת קומפוסט⁶⁰. בחוק מוגדר תהליך הקומפוסטציה (קומפוסטציה מסחרית), התוכניות הדרושות לצורך רישוי, חומרי הגלם המותרים לייצור קומפוסט (הפסולת ותוספים אפשריים) וכן תנאי התפעול, ההובלה, מניעת המפגעים הסביבתיים והדיווח. המשרד להגנת הסביבה הוא הסמכות הרשמית המאשרת ומפקחת על הקמת האתר ותפעולו.

בוצות שפכים

לגבי דשן אורגני המיוצר מבוצות שפכים נקבעו אמות מידה לריכוזי מתכות כבדות ופתוגנים המפורטים בתקנות המים (מניעת זיהום מים) (שימוש בבוצה וסילוקה), התשס"ד, 2004. התקנות קובעות את התנאים לייצור הדשן האורגני, סיווג הבוצה (סוג א' וסוג ב'), ריכוזי מתכות ופתוגנים מותרים (נספחים 2 ו-3) והפיקוח על התהליך. על פי התקנות מגבלת היישום על פי ריכוז החנקן היא 1.5 טון/דונם/שנה. התקנות נועדו למנוע זיהום מקורות מים ולמנוע מפגעים סביבתיים ויחד עם זאת הן מסייעות להבטיח שהדשן האורגני המשווק לחקלאים יעמוד בסף הריכוזים המותרים.

⁵⁹ המשרד להגנת הסביבה, האגף לפסולת מוצקה / הנחיות להקמה ולתפעול אתרי קומפוסטציה, דצמבר 2000
⁶⁰ חוק רישוי עסקים - התשכ"ח 1968

זבל רפתות

ברפורמה למשק החלב מפורטים התנאים הסביבתיים הדרושים לייצור דשן אורגני מזבל רפתות. החלופות העומדות לרשות הרפתנים הן:

- עיבוד הזבל באופן מסודר לדשן אורגני באופן עצמאי
- הצנעת הזבל בשדות חקלאיים
- פינוי הזבל ע"י קבלן חיצוני שיש לו רישיון לסילוק ועיבוד זבל בעלי חיים

אמות המידה לסיוע מכספי הקרן לשמירת הניקיון⁶¹

מסמך המפרט את אמות המידה לסיוע לרשויות ויזמים בהשבת ומחזור פסולת כולל מערכי מחזור של פסולת אורגנית.

המסמך מפרט את התנאים הדרושים לקבלת סיוע להקמת מתקני קומפוסטציה, עיכול אנאירובי ותחנות מעבר ממיינות לטיפול בפסולת האורגנית הביתית ובהם דרישות סף:

- סוג הפסולת- לאתר קומפוסטציה אך ורק פסולת ביתית מופרדת במקור בלבד.
- גודל המתקן- מתקן הקולט פסולת אורגנית בכמות של 100 טון ליום לכל הפחות, אולם מתקן קיים המטפל ב- 100 טון ליום לפחות, יכול לזכות בתמיכה לצורך שדרוג וקבלת 15 טון פסולת אורגנית ליום.
- שיטת הטיפול- אתר קומפוסטציה חדש צריך להיות סגור עם מערכת למניעת ריחות.

במסמך מפורטות אמות מידה נוספות המדרגות את הבקשות לסיוע. הבקשות שיוגשו יקבלו ניקוד שעל פיו יחולקו כספי הסיוע שבקרן שמירת הניקיון.

תקן ישראלי לקומפוסט ת"י 801

התקן מגדיר דרישות הכרחיות לקומפוסט ובהן מאפיינים כגון:

- תכולת מיני לחומר האורגני בקומפוסט (35%)
- תכונות כימיות: pH, אחוז רטיבות, מוליכות חשמלית, תכולת בור ונתרן.
- יחס פחמן/חנקן
- דרגת בשלות
- גודל החלקיקים
- סף חומרים זרים

התקן גם מפרט את חומרי הגלם שמהם מותר לייצר קומפוסט, הסימון הנדרש ממוצר קומפוסט וכיצד לבצע את הדגימות והמדידות הדרושות.

תקן ישראלי לקומפוסט מגדיר את תנאי התהליך לייצור קומפוסט, מאפייני המוצר, האריזה וחומרי המוצא מהם מיוצר הקומפוסט.



⁶¹ אמות המידה לסיוע לקידום אמצעים חלופיים להטמנת פסולת במרחב החוץ עירוני מכספי היטל ההטמנה לשנים

2008-2009 ("חלק ב'")

סעיף 22 בחוק מגדיר את האמצעים המותרים לטיוב הקרקע בחלקה אורגנית:

- מחזור זרעים הכולל קטניות או גידולים מעמיקי שורש אחרים
- מיחזור חומר אורגני
- מטייבי קרקע אורגנים המפורטים בתקנות התכשירים האורגנים
- מטייבי קרקע מינרלים המפורטים בתקנות התכשירים האורגנים
- קומפוסט

סעיף 23 מגדיר תנאי הייצור לקומפוסט לשימוש בחלקה האורגנית:

- הקומפוסט יוצר באתר מורשה לסילוק פסולת
- אינו מכיל בוצת שפכים, פסולת עץ שעברה טיפול כימי, כל פסולת אחרת למעט שאריות מזון וקליפות שהופרדו במקור
- התוספות לתהליך העיבוד הן ממקור צמחי, מיקרואורגניזמים או מאבקות סלעים המפורטים בתקנות התכשירים האורגנים
- הייצור נעשה בביקורת שוטפת של גוף אישור ובקרה

⁶² החוק להסדרת תוצרת אורגנית (תוצרת אורגנית מן הצומח- ייצורה ומכירתה) התשס"ח 2008

נספחים

נספח 1: הרכב כימי של קומפוסט ממקורות שונים בישראל⁶³

Mn ppm	Co ppm	EC dS/m	%K	%P	% N	% חומר אורגני	% חומר יבש	
309.40	6.75	3.60	0.30	2.49	4.46	57.65	18.8	בוצת שפכים
326.00	5.45	6.02	0.4	1.24	1.60	27.70	73.15	קומפוסט בוצה
	12.70	4.69	1.40	1.14	1.13	21.80	82.3	קומפוסט בקר
315.00	8.13	4.10	0.48	0.30	0.81	34.00	88.00	קומפוסט אשפת ערים

B ppm	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	Pb ppm	Cr ppm	Cd ppm	Ni ppm	
54.25	243.15	1604.50	3216.50	72.25	230.10	4.90	53.70	בוצת שפכים
42.40	120.00	568.50	2462.50	29.81	35.23	2.51	31.19	קומפוסט בוצה
89.20	57.00	212.00	6838.00		60.00	2.60	38.90	קומפוסט בקר
	331.50	692.50		170.70	44.38	10.60	61.25	קומפוסט אשפת ערים

⁶³ א. איזנקוט, א. זילברמן. 2004. סיכום רב שנתי של השפעת פיזור קומפוסט בוצה ובוצת שפכים בגידולי פלחה בשלושה אזורים על הגידולים והקרקע 2003 – 1999 / מחקר למדען הראשי של המשרד לאיכות הסביבה.

נספח 2: הביקוש לקומפוסט לפי סוג הגידול⁶⁴

הגידול	מ"קד' ממוצע לשנה על בסיס חנקן	מ"קד' ממוצע לשנה על בסיס זרחן
עגבניות חממה	5.0	1.0
מלפפון חממה	5.0	0.5
אחרים חממה	5.0	1.0
עגבייה	3.0	0.5
מקשה	1.5	0.3
תפו"א	3.0	0.5
בצל	3.0	0.5
כרפס	3.0	0.5
כרוב	3.0	0.5
תות	5.0	0.9
שום	3.0	0.5
חסה	3.0	0.5
גזר	3.0	0.5
כרובית	3.0	0.5
מלפפון	3.0	0.5
פלפל	3.0	0.5
חציל	3.0	0.5
קישוא	3.0	0.5
כרוב סיני	3.0	0.5
צנון-צנונית	3.0	0.5
תבלינים	3.0	0.5
ירקות אחרים	3.0	0.5
ירקות בעל	1.0	0.2
פלחה ותעשייה (בעל)	1.0	0.2
תעשייה	1.0	0.2
כותנה	3.0	0.5
מספוא גס	3.0	0.5
פרחים	3.0	0.5
בנות	2.0	0.3
נשירים	2.0	0.3
סובטרופיים	0.0	0.0
פרדס	1.0	0.2
ענבי יין	0.0	0.0
ענבי מאכל	2.0	0.3
זית	1.0	0.2
תמרים	1.0	0.2

⁶⁴ חורחה טרצ'יצקי, ברכה גל, ג'מאל מדלגי, תניב רופא, שי דותן, ג'ון זילברמן ומשה ברונר /אומדן הביקוש לקומפוסט. נובמבר 2009

נספח 3: ריכוזי פתוגנים המותרים לפי תקנות הבוצה

ריכוז מותר (מ"ג / ק"ג ח"י) (מ"ג / ק"ג ח"י)	סוג הפתוגנים	סוג בוצה
> 1000 MPN ל-1 גרם ח"י	קוליפורמים צואתיים	בוצה סוג א' (לדישון חקלאי כולל גידולי מאכל, לא לגינון)
> 3 MPN ל-4 גרם ח"י	סלמונלה	
> 1 PFU ל-4 גרם ח"י	נגיפי מעיים	
> 1 ל-4 גרם ח"י	ביצי טפילים חיות	
		בוצה סוג ב' (לדישון חקלאי. גידולים שאינם משמשים למאכל)

נספח 4: ריכוזי מתכות כבדות המותרים לפי תקנות הבוצה

ריכוז בבוצה

ריכוז מותר (מ"ג/ק"ג חומר יבש)	המתכת
20	קדמיום
600	נחושת
90	ניקל
200	עופרת
2,500	אבץ
5	כספית
400	כרום

ריכוז בקרקע

ריכוז מותר (גר' לדונם במשך שנה אחת)	המתכת
30	קדמיום
900	נחושת
135	ניקל
300	עופרת
3,750	אבץ
7.5	כספית
600	כרום