

משבשי פעילות הורמונלית והרחקתם בטכנולוגיה של אגנים ירוקים

דוקטורנטית דנה מילשטיין

רקע:

היבט המיקרו מזהמים. מה משותף לכימיקלים הבאים: (לא צריך לזכור אותם למבחן)

- ביספנול A: משמש בתעשיית הפלסטיק. אבן בניין של הפוליקרבונט, חומר חזק, משמש למוצרים יומיומיים רבים.
- Phthalates – חומרים שהופכים את הפלסטיק לגמיש ושקוף, גם כן נעשה בו שימוש נרחב בתעשייה ובקוסמטיקה.
- פסטיצידיים – חומרי הדברה נגד פטריות, עשבים שוטים, חרקים.
- Dioxine: חומר שהוא תוצר פירוק של PVC, חומר המצוי הרבה בשימוש הביתי.
- פחמימנים ארומטיים רב טבעתיים – PAHs: חומרים שמגיעים לסביבה כתוצאה מבעירה חלקית של חומרים כמו דלקים, זפת, פחם, טבק וקטורת.
- TBT – דיאוציד מאוד חזק, רעל חזק. משמש לשימור עצים, למשל שימוש בתחיות של אוניות למניעת הצמדות צדפות לספינה.
- הורמונים סינטטיים: גלולות למניעת הריון, הורמונים.

המשותף לכל הנ"ל: כולם סינטטיים ובעלי השפעה מיוחדת על המערכת האנדוקרינית בגוף – המערכת ההורמונלית. לכן כל אלו כנויים: *Endocrine Distractor Chemical* – משבשי פעילות הורמונלית.

מערכת הורמונלית:

- מערכת בלוטות באזורים שונים בגוף, אמורים לתקשר עם רקמות בגוף – ע"י הפרשת הורמונים בזרם הדם, דרכו מגיעים למטרה. על מה אחראים:
- ויסות מטבוליזם.
 - פעילות השרירים, כמו הלב.
 - שמירה על הומאסטזיס – סביבה קבועה בתוך הגוף.
 - מערכת החיסון.
 - תהליך הצמיחה.
 - מעורבות בתהליך הבסיסי של הרבייה: החל מיצירת אברי הרבייה בעובר, בשלנותם בתינוק, מחזור חודשי וכו'.

כיצד יודע הורמון עם איזה איבר אמור לתקשר:

באיברי המטרה יש רצפטורים – קולטנים עמם התאמה מושלמת עם ההורמון. כשהורמון נקשר עם הקולטן, התא יודע שעליו להתחיל בתהליך כלשהו.

משבשי פעילות אנדוקרינית:

דומים לקולטנים ולכן יכולים לשבש תהליכים הורמונליים. חומרים אגוניסטים להורמון – דומים להורמון ומסוגלים להיקשר לקולטן בדיוק כמו ההורמון המקורי. כך ניתן לקבל פעילות מוגברת. יש גם משבשים שהם אנטגוניסטיים להורמון – מספיק דומים כדי לשבת על הקולטן, אך לא מספיק דומים כדי לגרום לקולטן להעביר את המסר הלאה, וכך מונע מההורמונים להיקשר לקולטנים וחוסמים פעילות הורמונלית.

מערכת הורמונלית:

פעילות בריכוזים מאוד נמוכים בגוף, לכן המערכת רגישה. לפיכך משבשים אגוניסטיים בעייתיים, כל חסר בכמות גם גורם שיבוש – גם אנטגוניסטיים בעייתיים. כמו כן חשיפה להורמון לא בזמן בעייתית, כי יש בגוף תהליכים מחזוריים, והפרעה גורמת בעיות.

פרשת ביספנול A:

חומר הדומה להורמון השייך לפעילות נקבית, ומצוי בבקבוקי פלסטיק לתינוקות, והרעל משתחרר ממנו. כמו כן מצוי בכלי פלסטיק. פלסטיק שנחשף לשינויים בטמפ' פוגעים בפלסטיק וגורמים לפגיעה במזון ובעפילות ההורמונלית.

שיבוש מערכת הרבייה:

במערכת הרבייה הורמוני אנדרוגנים – פעילות זכרית, אסטרוגנים – פעילות נקבית. אם באזור ההורמונים הזכריים יש אגוניסטיים – יגרום פעילות זכרית מוגברת, למשל שיעור יתר בנשים (מסקוליניזציה). אנטגוניסטים בסביבה הורמוני זכרי – פמיניזציה. אסטרוגנים שבסביבתם אגוניסטיים – פמיניזציה; אסטרוגן שבסביבתו אנטגוניסטיים – גורם מסקוליניזציה (תופעות גבריות).

בטבע:

חלזונות ימיים – ל-TBT תופעות שקשורות להופעת סימנים זכריים. בחלזונות בהן יש מערכת מין זכרית ונקבית, ה-TBT גרם לאימוסקס – בפרטים נקביים הופיעו פינים (התהפכות מין). תופעה אחרת – הרמפרודיטיות: נקבות פיתחו בנוסף למערכת הנקבית גם מערכת זכרית. יכול לגרום למוות הפרט. תופעה נוספת: היפוך מין של דגים מזכרים לנקבות – פמיניזציה של זכרים. תופעה זו כוללת סימפטומים רבים. המשותף לכל המקומות בהם יש היפוך מין זה נחלים מזוהמים מקולחים – טיפול שפכים. היפוך מין גורם ליצירה של ויטלוגין – השחלה מייצרת אסטרוגן. הוא נע בדם ומגיע לכבד, ושם גורם ליצירת ויטלוגין, הקשור בהבשלת ביצים. לכן צריך להיות רק בנקבות בשלות. התחילו למצוא בנקבות צעירות ואף בזכרים.

הכניסו את הדגים לכלובים ושמו במעלה כניסת השפכים לנחל, ומורד כניסת השפכים לנחל. במעלה כניסת הקולחין – ריכוז נמוך של ויטלו' ובמורד – גבוה. לכן הבינו קשר, ורצו לבדוק מה גורם לתופעה. לקחו זכרים צעירים (סלמון) וחשפו אותם לחומרים שונים כדי למצוא את החומר הגורם לבעיה. הזכרים נחשפו לכימיקל סינטטי כלשהו ובעקבותיו הופיע ויטלוגנין – וכך הבינו שפעילותו דומה לפעילות אסטרוגן – אוגניסט לויטלוגנין. התופעה כה נפוצה עד שנעשה סממן לזיהום סביבתי. דוגמא: אגן ניקוז בו נחלים רבים ובמורד האגן יש אזור טיפול בשפכים. צפוי שבאזור זה יהיה ריכוז גבוה של ויטלוגנין. אוספים דגים מכל היובלים באגן, וכשמוצאים תופעה, מזהים את הזיהום. אותם חומרים גורמים גם לפגיעה בתהליך יצירת הזרע – נפח מתמעט פירוט נוסף במצגת. פוגע גם בסימני מין משניים. למשל, דג הגמבוזיה – סנפיר ההפריה של הזכר קצר מדי בשל חשיפה לקולחין, ומפביא להשפעה קשה על יכולת הזכרים להתרבות.

הפעילות ההורמונלית הנקבית מהשפכים משפיעה על הזכרים, האם גם על הנקבות:
חשפו נקבות לריכוזים שונים עם פעילות הורמונלית נקבית וראו שגורם ל: הקדמת ביוץ, ירידה ... במצגת.

באיזו רמה מתבטאת הפגיעה:

- פוגע בפרט – פוגעים במערכת הרבייה. יכול להביא ל:
- פגיעה באוכלוסיה כולה.
- השפעה ברמה החברה כולה של הדגים בנחל
- וכן הלאה – כל האקוסיסטמה תפגע.

מחקר באגם בפלורידה:

אוכלוסיה גדולה של תניניים. נמצא שבשנים האחרונות יש ירידה קיצונית באוכלוסיה. נמצא שאברי המין של הזכרים יותר ויותר קטנים, ויש תמותה מוגברת של זכרים מיד עם בקיעתם, ירידה במערכת החיסונית. הבינו שהמקור הוא חומר הדברה DDT הגורם פעילות אנטי-אנדרוגן.

ניסוי באגם אונטריו:

Fathead minnow בשני אגמים. מדי שנה נאספו בשני האגמים גדלי הדגים הללו. בהשוואת גדלים בין אתר הניסוי לאתר שהשאירו טבעי, נמצא ירידה במספר הפרטים הצעירים ולבסוף גם הבוגרים.

מה לגבי האדם:

שכיחות התופעה של אשכים שנשארים בחלל הבטן עולה, הקדמת גיל הוסת בילדות צעירות; מחקר בישראל של זרע מבנק הזרע: נמצא שבעשור האחרון ספירת הזרע ירדה ב-40% וב-2030 נגיע להפרעה בפוריות. כנראה בשל חשיפה למוזהמים הורמונליים במזון ובמים.

מחקר אוכלוסיה איפשהו בקנדה:

חיים באזור מתועש, פליטת גזים שחלקם ידועים כמשבשי פעילות הורמונלית, ומגיעים אל המים. באוכלוסיה יש בערך 50% זכרים ו-50% נקבות. במעקב אחר אוכלוסית הזכרים באוכי' נמצאה ירידה משמעותית – עד אזור ה-30% זכרים באוכי' בשל תמותת עוברים זכרים.

סיכום קצר:

- המעי' ההורמ' חיונית לגוף.
- יש כימיקלים סינטטים משבשים פעילות תקינה.
- זיהום הסביבה ומשבשים פוגעים ברמת הפרט ומסכנים גם את האוכי'.

מה החומר הרעיל ביותר:

ההורמון עצמו בהורמונים הסינטטיים הוא המזהם העיקרי. מהיכן מגיע לסביבה:

- הבקר המקבל הורמונים מפריש הורמונים בהפרשות ומגיע בגשמים למקורות מים.
- הורמונים טבעיים וסינטטיים מופרשים בשתן ומשם דרך מערכת הביוב למפעל טיפול בשפכים.

מהו טיפול בשפכים:

טכנולוגיות בוצה משופעלת. מים בכניסה נקראים שפכים. מים אחרי טיפול נקראים קולחים. במפעל יש סדרת טיפולים שונים. שפכים שעברו טיפול ראשוני נקראים קולחים ראשוניים, שניונים וכן הלאה. ראשית השפכים נכנסים למפעל, ומוצאים גופים גדולים. משם לשיקוע הראשוני – מה שצף מוציאים ומה ששוקע מוציאים (שמנים ואבנים). משם לבוצה המשופעלת שם יש חיידקים המפרקים את החומר האורגני למספר שעות. לאחר מכן המים עוברים לשיקוע שניוני. שם הבוצה, הביומסה של החיידקים, שוקעת. המים למעלה – הקולחים השניונים. חלק מהבוצה מוחזר למתקן הקודם לטיפול במים חדשים שהגיעו. משם המים עוברים הלאה. לבסוף גם הבוצה מגיע איכשהו לסביבה.

גורל אסטרוגנים בסביבה:

אסטרוגנים מופרשים ע"י האדם. בהגעה לביוב יש שחרור ההורמון מנשאים, וכך הם נהיים פעילים לחלוטין. משם מגיעים למפעלים, חלק נספחים בבוצה וחלק נשארים במים. מהבוצה – חלק מגיע לים, חלק לדשן חקלאי ומשם לחקלאות. קולחים – משם מגיעים להשקיה וחלק מוזרם לנחלים וגורם שם זיהום. מפיזור על דשן חקלאי המזהמים יכולים להגיע למי התהום!

מה עושים עם הבוצה בישראל:

עד היום הבוצה הועברה לים, אך ישראל התחייבה להפסיק בזיהום הים. הפתרון שנמצא הוא שריפת הבוצה, נציגי עמותות שונות התנגדו לזה. לכן נמצא פתרון להשתמש בבוצה כדשן – אך זה בעייתי כי ספוחים בה מזהמים. לכל פתרון יש מחיר סביבתי.

הקולחים בישראל:

76% מהקולחים המיוצרים בישראל מופנים להשקיה חקלאית. אחוז כלשהו משאריות ההורמונים והתרופות שורדים את הטיפול בשפכים. מזהמים יכולים להגיע לפירות ולירקות ולגרום תחלואה.

בישראל מצוקת מים, ולכן השבת השפכים חלק אינטגרלי ממשק המים. ישראל מובילה בתחום השבת השפכים – 76% - אנו בין המדינות המובילות בזיהוי פגיעת שפכים. עלינו לתת פתרונות ולצמצם את הנזק הסביבתי של השבת השפכים.

פגיעה בטבע:

במצוקת המים הנוכחית שיקום הנחלים בישראל יתבסס על שפכים מטופלים. האם נכון להיום השפכים המיוצרים בישראל מתאימים לכך: כיום לא, יש בהם מזהמים רבים, מלבד הורמונים, למשל אמוניה, חומר אורגני. בגלל ההורמונים נבחן אפשרות של טיפול נוסף בקולחים כדי להרחיק מזהמים, ולנסות להגיע לאיכות מים המתאימה לשיקום נחלים ע"י טכנולוגיית **אגנים ירוקים**.

אגנים ירוקים:

אגנים ירוקים טבעיים – *wetland*; - סוג של בית גידול, אקוסיסטמה. מלאכותיים *constructed wetland* – לטיפול במים.

טבעיים: מערכת שהיא שלב מעבר בין בתי גידול יבשים לאקוטי. המאפיין את בית הגידול הזה: אזור מוצף מים, בד"כ קרובים / על פני השטח, כל השנה או חלק מהשנה. תנאי הקרקע משתנים ולא מאפשרים צמחייה יבשתית, ומתפתחת סביבה אקוטי. השפכים היו מוזרמים בעבר לאיזורים אלו, ונמצא שבמערכת זו יש מים רבים ואור רב, ואצות רבות וצמחים רבים – יצרנות ראשונית. וכך כשמוסיפים חומר אורגני החיידקים מתרבים ומפרקים את החומר, וצמחים רבים גדלים. על בסיס זה הוקמו המלאכותיים:

מלאכותיים – טכנולוגיה לטיפול במים: היתרון הגדול של מערכת זו היא מסוגלות לטיפול במגוון מזהמים. הרעיון: בריכות רדודות עם צמחי מים, זרימה איטית דרך הבריכות. המים זורמים לאט דרך האגן ותו"כ מתרחשים תהליכים שמביאים לשיפור איכות המים: חלק מהמזהמים נספחים לצמחים והאבנים, מתנדפים וכו'. על הצמחים והאבנים מתפתחת אוכי עשירה של חיידקים מפרקים מזהמים.

טיפוסים של אגנים:

- בריכה עם חצץ מועט על השכבה התחתונה, המים זורמים על פני השטח. יצורים רבים נמשכים לאתרים אלו. ערך אקולוגי ואסטטי. חיסרון – לא מערכת כל כך יעילה, בגלל דרישות שטח כדי לקלוט כמות חמצן רבה. פירוק מזהמים נעשה לאט כי יש זרימה איטית, ולכן צריך שטח רב.
- כל המים מתמלאים חצץ, המים זורמים דרך שורשי צמחים וחצץ. מערכות אלו יעילות כי האבנים מהווים שטח עליו החיידקים נצמדים ויש פירוק רב ויעיל של מזהמים. המערכת כל הזמן רוויה מים. חסרון – עלות גבוהה. ההזרמה החוצה היא מלמעלה.
- מערכת דומה רק שהמים זורמים מלמעלה למטה, תנאים שונים של אוויר – פיתוח אוכלוסיה שונה של חיידקים, וטיפול במזהמים אחרים. לפיכך מערכות שונות מתאימות לטיפול במזהמים שונים.

הטכנולוגיה משתפרת והשטח מצטמצם:

טכנולוגיה זו בעייתית והיו לה התנגדות רבה בישראל בשל היותה *lowtech* ובשל הצורך הרב בשטחים גדולים. בריכת חמצון דורשת פי 80 מבוצה משופעלת. אגנים ירוקים של זרימת מים עילית – דורשים פי 50 מבוצה משופעלת, שטח גדול. זרימה תחתית ואופקית – שטח רק פי 16.7, וזרימה תחתית אנכית – רק פי 4.4. כלומר טיעון תפיסת השטח נעשה פחות רלוונטי והטכנולוגיה נעשית יותר יעילה.

שיפור: החדרת צינור לבריכה מהבסיס המחדיר חמצן למערכת, וגורם לתפוקה טובה יותר וסילוק מזהמים מהיר יותר.

כיום מערכת *tidal flow* משומשת לשיקום הירקון.

הירקון:

חלקו הראשון בראש העין זורם כ-7 ק"מ עד מפגש ירקון-קנה. דרכו זורמים עיקר המים בירקון, קולחים. לירקון אושרה תוכנית שיקום בעלת מספר שלבים: שיפור הקולחים והקמת מערכת אגנים ירוקים.

שיקום האלכסנדר: גם כן נבחן שימוש באגנים ירוקים לשיפור איכות המים.

עבודת המחקר: האם אגנים ירוקים יכולים להגיע לאיכות המתאימה להזרמה לנחלים ושימוש בחקלאות.

כיום רמת הקולחים במפעלים אינה טובה מספיק, ולא מתאימה. טיפול שפכים מבוסס על טיפול ביולוגי וכך אינו קבוע, ישנם פיקים וחריגות באיכות הקולחים. מספיק שיא אחד של זיהום שיגרום לקריסת המעי האקולוגית בנחלים הקולטים קולחים. לכן חייבים אגנים ירוקים שישמרו על איכות טובה תמיד. המערכת תשמש כמערכת הבטחת איכות.

הוקמה מערכת פיילוט במתקן השפדן: 21 בריכות עם 7 טיפולים שונים. נלקחים המים השניונים ובודקים עליהם אפשרויות שדרוג. הבדל בין הבריכות הוא מלבד סוג האגן הירוק, הוא סוג הצמחים – חלקם בלי צמחים כלל. הבריכות מולאו בסוגים שונים של חצץ – מצע שונה, וצמחייה שונה. ישנה מערכת בקרה לזרימת המים ומעקב אחרי הנתונים.

כיצד מתפקדת המערכת :

דינאמיקה מוליכות הידראולית והשפעה של הצומח – יכולת הקרקע להעביר נוזל. נעשו ניסויים: נלקחו קולונות המדמות את תנאי האגנים הירוקים ומולאו באותם שכבות חצץ כמו במערכת הטבעית. ב-4 נשתלו סוף ו-4 בלי. אחת לשלושה חודשים נבדקה הצמחיה, המוליכות ההדראולית של הקולונות, הצטברות החלקיקים – לבדוק האם כל הסיפור נסתם ואם כן למה. תוצאות:

- העמודות הצהובות – קולונות בלי צמחים. המוליכות ההדראולית בהן ירדה במקס 50%.
- העמודות הירוקות – עם צומח. המוליכות ירדה עד 90%, הקולונות נסתמו.

נבדק משקל החלקיקים בקולונות, וכולן בכל העמודות אותו דבר, ולכן לא מסביר את ירידות המוליכות ההדראולית. נמצא שכמות השורשים שגדלה מאוד היא שתמה את הקולונה. כמו כן כשהמוליכות ירדה ב-50% היעילות בסילוק מזהמים עלתה – החיידקים עבדו יותר טוב ויותר זמן על המים. כשהקולונה נסתמה לגמרי המערכת הפסיקה לעבוד, חלק מהמים זרמו מלמעלה, חלק נתקעו בפנים יותר מדי, נגרמה הרעה.

מה נלמד: השורשים גורמים לירידה במוליכות ההדראולית וסתימת המצע, וזהו פרמטר קריטי המשפיע על סילוק המזהמים. זה חשוב לבחירת הצמחים לאגנים הירוקים. מתכננים מערכת עם מצע מתאים. מצד אחד אורצים מצע גדול שלא יסתם, מצד שני קטן שיהיו חיידקים מרובים.

האם תרמו האגנים הירוקים לשיפור איכות המים :

נעשה שימוש בביואינדיקטור לבדיקת פגיעה בחיות. נלקחו חלזונות בשולי הנחלים. סלי רשת כאלו נכנסו לבריכות שונות מהניסוי. כל שבוע נבדקו החלזונות ונבדקו כמה מהם בסדר וכמה לא. ממצאים: חלק מהחלזונות פתחו עקה (stress). אחוז העקה – 100% בקולחים. חלק הראו רק 75% - אלו שישבו באגנים ירוקים נטולי צמחים. עקה של 50% - ישבו במוצא בריכות טיפול שבו היה רק סוף. 30% - אלו ששהו בבריכות עם מגוון צמחים. לפיכך, המים פחות רעילים לאחר טיפול אגנים עם צמחים.

מה לגבי הכימיה של המים :

חומר אורגני, מוצקים מרחפים, אמוניה, נתרן, חנקן וזרחן. ממוצע החומר האורגני והמזהמים המרחפים בסדר לעומת התקן, אך הפיקים, שיאים – גבוהים. אמוניה – אפילו הממוצע גבוה מהתקן.

יעילות ההרחקה של האגנים: חומר אורגני ומוצקים מרחפים – 66%, 77% אחוזים (!). ככל שהרכוז נמוך, כך קשה יותר להרחיק את המזהם, ולמרות אחוז נמוך של אלו – היתה הרחקה טובה. אמוניה – 98% הרחקה. ניטראט – יעילות הרחקה שלילית – 16%, וזה בגלל פירוק החיידקים את האמוניה. למרות זאת המערכת מוסתת את הניטראט. חנקן – 50%, זרחן – 8%, התמודדות לא טובה, לא הורחק. נכנס 1.2 ויצא בערך אותו דבר.

מה לגבי משבשי פעילות הורמנולית :

האם יש הורמונים בקולחים השניוניים: אם כן, הם יהיו בריכוז הנוגורם לליטר. אם כן, האם מסכנים את בריאות מאכלסי הנחל? האם אגנים ירוקים מסוגלים לסלק את ההורמונים?

יתרונות על פני הטיפול הרגיל:

- מגוון תנאים ונישות ביולוגיות ולכן אוכי בקטריאלית עשירה עם יכולות פיסולוגיות רבות – טיפול ביותר מזהמים, יכולות גבוהות יותר.
- נוכחות ביופילם קבוע: החיידקים כל הזמן נשארים במערכת, לא עוברים ממקום למקום. כך, גם חיידקים שגדלים לאט גדלים כמו שצריך, המים זורמים עליהם, לא הם עוברים ממים למים.
- זמן שהיה ארוך של המים לעומת בוצה משופלת. בבוצה – שעות. באגנים – ימים.

האם יכולים לפרק הורמונים אסטרונים באגנים :

החיידקים שגודלו באגנים נכנסו בתנאי מעבדה לכלים, אליהם הוכנסו הורמונים. חלקם אווררו וחלקם דימו תנאים עניים בחמצן. ממצאים: במצגת: פיק גבוה מבטא הרבה הורמון, נמוך – מעט הורמון. נמצאו ירידה בהורמון מצד אחד והפיכתו להורמון אחר. בסביבה מחומצנת הפירוק היה גבוה מסביבה אנאירובית. נעשה ניסוי זה עם הורמונים שונים ואף סינטטיים.

ביוטרנספורמציות של אסט' באמצעות ביופילם של אגנים ירוקים :

עיקר הפעילות מתבצעת בתנאים עשירים בחמצן. השאלה האם יעבוד לא בתנאי מעבדה:

נלקחו מים אחרי הבריכות הראשונות בניסוי בהם יש עושר חמצן. שני ההורמונים העיקריים שנמצאו בקולחים שניוניים נמצאו בירידה בבריכות הניסוי – עם צומח מגוון, שתולות ביבלית בלבד וללא צומח. מכאן – פוטנציאל להורדת מזהמים הורמונלים.

- מפחיתים רעילות מים.
- מרחיקים מזהמים קונבנציונלים.
- מרחיקים הורמונים.

מכאן טכנולוגיה זו מתאימה לשיקום נחלים.

טיפול בשפכים :

יש מקומות רבים בארץ שלא ניתן לחברם למכון טיפול שפכים קונבנציונלי, ומייצרים שפכים רבים. באותם מקומות, כמו בסיסי צבאיים, 3% מהביוב מוזרם ישירות לאדמה, ויכול לחלחל למי תהום. בורות ספיגה אלו יכולים לחדור לאקוויפר ההר. הטיפול יכול להביא לשת"פ עם הפלשתנאים.

דילגה משקופית מים אפורים עד יתרונות: הפעלה פשוטה ומודולארי.

אריאל סטורמן

יתרונות נוספים :

- הפעלה פשוטה. לא נדרשים אנשים לתפעלה.
- מודולרית – ניתן לשלבה בכל מקום.
- זול להקמה תפעול ואחזקה.
- סביבתית! יכולים להוות פתרון למצוקה זו, להתאכלס ע"י בע"ח, תרומה למערכת החינוכית וכו'.

סיכום :

- טבעיים – אקוסיסטמה.
- מלאכותיים – לטיפול במים.
- מצמצמת רעילות, סילוק מזהמים קונבנציונלים והורמונלים.
- יישומים : ליטוש קולחים ושיקום נחלים.

.....