

# שפכים אגרו-תעשייתיים מחטרד סביבתי לכלכלה מעגלית

ד"ר עזרא אורלופסקי\*,  
סימון צ'רנואיבנוב ואיגי ליטאור

**הרפת מייצרת שפכים מסוגים שונים והמגדלים מתמודדים כל העת עם השאלה כיצד ניתן להיפטר ממנה באופן המהיר והזול ביותר. במעבדה של גאוהידרוכימיה במיגל (מכון מחקר מדעי בגליל) חוקרים עוסקים בנושא הטיפול בשפכים מקומיים מתוך תפיסה של כלכלה מעגלית. המאמר מחדד את היתרונות, הפתרונות שקיימים היום ומחשבות לעתיד •**

משקים אגרו-תעשייתיים כמו רפתות, יקבים, בתי בד, משחטות, ומעבדי מזון מייצרים שפכים עם כמויות גדולות של מוצקים, חומר אורגני, נוטריאנטים ומלחים. טיפול מקומי בשפכים האלה מחויב המציאות מכוח תקנים חדשים ולכן הביקוש לפתרון מקומי ויעיל הולך וגדל. במעבדה של גאוהידרוכימיה במיגל (מכון מחקר מדעי בגליל) חוקרים עוסקים בנושא זה מתוך תפיסה של כלכלה מעגלית. כיוון אחד בפיתוח הוא כריית זרחן משפכים ושימוש חוזר כדשן איכותי. זרחן הינו משאב בלתי מתחדש ומקורות יבשתיים צפויים להיגמר בעוד כ-100-200 שנה ע"פ מודלים מובילים. שפכי רפת, מכילים כ-70-100 מ"ג זרחן מומס, ולכן הוא מקור מתאים לכריה אחרי טיפול מקדים קצר. כיוון אחר לסגור את המעגל הכלכלי הוא מחזור השפכים עצמם לחקלאות או לפחות הזרמה ללא מגבלות למכון טיהור שפכים תוך כדי יצירת מוצרים בעל ערך מוסף. העלות והשטח הנדרש לפתרון ועונתיות של ייצור השפכים הם הגורמים המגבילים בפיתוח טכנולוגיות מתאימות. המערכת המשולבת שפותחה במיגל מטפלת בשפכים אגרו-תעשייתיים (יקבים ורפתות) עד לרמה של הזרמה לביוב ומתקרב לרמה של השקיה בלתי מוגבלת. בשלב הראשון של המערכת יותר מ-90 אחוז של המוצקים המרחפים מסולקים על ידי שימוש בנגו-מורכבים. פיתוח זה (פטנט של פרופ' ריטבו) מחבר חרסית ופולומר אשר מייצר גבישים של חרסיות בעלי צפיפות גבוה ו"זרועות" התופסים ומשקיעים את החומר המרחף ללא צורך בסינון.



איור 1. מערכת משולבת מנגו-מורכבים לשיקוע מהיר של מוצקים מרחפים ותאים ביולוגים מאווררים. המערכת נמצאת ביקב דלתון ומביאה 20 מ"ק שפכים ביממה לאיכות הזרמה בלתי מוגבלת לרשת הביוב. תמונה באדיבות גאון מאמץ פולדמיר בע"ם.

המעבדה לגאוהידרוכימיה, מיגל, גן התעשייה תל-חי, קרית שמונה.  
ezramo@migal.org.il



### מיגל - מכון למחקר מדעי בגליל

מיגל (מכון למחקר מדעי בגליל) הינו מכון מחקר יישומי, הפועל בתחומי הביוטכנולוגיה, מדעי הסביבה והחקלאות. המכון הממוקם בקרית שמונה הוא בבעלות החברה לפתוח הגליל. במיגל, שהוקם בשנת 1979, מועסקים כ-40 מדענים בעלי תואר דוקטור מתוך צוות של למעלה מ-150 חוקרים, מהנדסים, תלמידים לתארים מתקדמים, כולם תושבי הגליל. החזון של מיגל הוא לפתח כלכלת ידע בגליל, בתחומי מדעי החיים והסביבה. פיתוח כזה אפשרי באמצעות פעילות עסקית ענפה, הכוללת בין השאר יישום עסקי של תוצרי המחקרים המבוצעים במכון, לרבות מסחור הקניין הרוחני. מיגל משמש מוקד לפיתוח יחסי מדע וקהילה באזור הגליל. חוקרי מיגל משמשים כאנשי סגל בפקולטה למדעים במכללה האקדמית תל-חי.

מבוססת על מינרלים וצמחי מלחות אשר סופחים ומסלקים הנתרן, בהתאמה (איור 2). הקולחין היוצאים מהמערכת הטבעית כשירים להשקיה בלתי מוגבלת ברוב הפרמטרים הנבדקים, כולל נתרן, וכעת המגמות ארוכות הטווח והקיבולת של המערכת בבדיקה. כמו כן, המרכיב הצמחי המיוחד של המערכת הטבעית הוא מוצר שווה-ערך בעצמו, לדוגמה כמספוא (כ-10% חלבון), מקור לשמנים אתריים ולחומרי גלם חשובים לקוסמטיקה. דוגמה למערכת אשר כוללת גם את השלב של סילוק נתרן נמצאת ברפת כפר בלום. המערכת הוקמה בסיוע של האיחוד האירופאי במסגרת הוריון 2020, תכנית BRIGAD אשר נותנת תמיכה לפיתוחים בתחום התמודדות עם שינוי אקלים.

**לסיכום, מתואר פתרון למשקים אגרו-תעשייתיים בשילוב מרכיבים של כלכלה מעגלית. ניתן לבקר ביקב דלתון (מערכת מסחרית) או רפת כפר בלום (מערכת פיילוט) בתיאום מראש ולהתרשם ממערכת בעבודה ואיכויות הקולחים. ▲**



איור 2. מימין: מתקן טיהור שפכים כוללת סילוק נתרן על ידי מערכת טבעית ברפת כפר בלום. המערכת הוקמה ע"י צוות מיגל בסיוע של האיחוד האירופי במסגרת תכנית הוריון 2020-BRIGAD. משמאל: שפכי רפת בשלבי טיהור השונים. צילומים: סימון צ'רנואיבנוב

מדובר באחוז הסרה של מוצקים שמתקרב ל-100%. סוג הפולמר, כמות החרסיות ויתר פרטי התהליך נקבעים על פי פרמטרים כמו צפיפות המטענים של החומרים המרחפים וריכוזם. בשלב הזה, המים עדיין נושאים מומסים כמו חומר אורגני מומס, נוטריאנטים כמו חנקן, זרחן, ומלחים. כאן נכנס השלב הבא של המערכת המשולבת של כריית זרחן ועיכול אירובי בתאים ביולוגיים מאווררים.

### המשך הטיהור

כריית הזרחן מבוצעת על ידי פסולת ברזל ו/או אלום שמקורה מתעשיות טיפול במי שתייה או התפלת מי ים ומייצרת דשן איכותי שנבחן בניסויי שדה. השיטה מיוחדת בכך שהיא לא רק לוכדת את הזרחן, אלא גם משחררת אותו בקצב הדרוש לגידולי עלים, לעומת שיטות אחרות שמשמשות כמבלע זרחן ואינם משחררות את הזרחן לצמח בקצב הרצוי לגידולים. המשך טיהור השפכים והכשרתם להזרמה לביוב מתבצע בסדרה של תאים מלאים עם חצץ פורסיבי ואינרטי, תוך כדי הזרמה של אוויר. המערכת עוצמתית ויציבה מאוד ומייצרת קולחים ללא ריח, אפילו משפכי רפת קשים. הסיבה לכך היא שבתנאים האירוביים, סולפיד ואמוניה, שני מרכיבים רעילים והמשפיעים ביותר על הריח, מתחמצנים והופכים לתרכובות של סולפט וניטראט אשר מותרים להזרמה בכמויות גדולות יותר מאשר בצורתם המחוזרת. מעבר לכך, הביומסה העצומה שמתפתחת בתוך התאים מסלקת כ-90% של החומר האורגני והנוטריאנטים על ידי שני מסלולים עיקריים - פירוק וקיבוע בביומסה עצמה. שילוב של ננו-מורכים ותאים מאווררים נותן פתרון ישים, יעיל ומסחרי אשר מפיק קולחים משפכים קשים כמו יקבים ושפכי רפת ראויים להזרמה לביוב על פי התקנים של שפכי מפעלים (2014). דוגמה למערכת משולבת מסחרית העובדת בשיטה הזאת נמצאת ביקב דלתון ומטפלת בכ-20 מ"ק ביממה על שטח מצומצם של כ-30 מ"ר (איור 1). המערכת ביקב דלתון מתופעלת על ידי גאון מאמץ-פולדמיר, בע"מ.

### מערכת המבוססת על מינרליים

שפכים אגרו-תעשייתיים מאופיינים גם בתכולת מלח גבוהה. הקולחים היוצאים מתאים המאווררים עדיין מכילים מלחים (נתרן בריכוזים מעל התקן של 150 מג"ל) שאינם מאפשרים השקיה. פתרון הקונבנציונאלי לסילוק נתרן הוא התפלה באוסמוזה הפוכה, שיטה שאינה מתאימה לרפת או משקים אחרים בגלל המורכבות ועלויות הפעלה הגבוהות. המעבדה של הירוגואיכימיה במיגל בוחנת כעת מערכת טבעית