

דור אבישר

המרכז לחקר המים, בה"ס למדעי
כדור הארץ, אוניברסיטת תל-אביב

גפן חונן-אליה

המרכז לחקר המים, בה"ס למדעי
כדור הארץ, אוניברסיטת תל-אביב

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

אבישר ד ורון-אליה ג. 2017.
השקיה בקולחים – ממה צריך
להיזהר? *אקולוגיה וסביבה* 8(4):
48–55.



מכון טיפול בשפכים בלב שדות מוריקים בבקעת כסלו | צילום: יוסף אבו ראס, מתוך אתר פיקיוויק

השקיה בקולחים – ממה צריך להיזהר?

8 בדצמבר, 2017

גיליון חורף 2017 / כרך 8(4) / ניהול משק המים

[סקירות](#)

תקציר

למדיניות השבה ומחזור שפכים ישנה חשיבות רבה הן במניעת זיהום סביבתי הן ביצירת מקור מים נוסף. תכולת המים הקיימים בשפכים גולמיים (99-99.9%), מחייבת למעשה את הפרדת המים מהחומר האורגני והאי-אורגני ואת מחזורם. בישראל מושבים כ-85% מהקולחים להשקיה חקלאית, וזאת בהשוואה ל-25% בלבד בספרד, ואפילו פחות מזה במדינות אחרות בעולם. ישראל היא מעין מעבדה חיה עבור שאר העולם בכל הנוגע להשלכות של שימוש אינטנסיבי בקולחים להשקיה, וצריכה להוביל מחקר ולתת מענה לשאלות באשר לתקני הקולחים ולאיכותם. הקולחים המיוצרים בארץ עומדים בערכי התקנות ונחשבים קולחים באיכות גבוהה המתאימים לכל שימוש מלבד מי שתייה, בעיקר כמים מושבים להשקיה חקלאית בלתי מוגבלת. ההשקיה נעשית סמוך למקורות מים עיליים ומעל מקורות מי תהום, כך שהמים זולגים ומחלחלים מהשדות החקלאיים למקורות המים הטבעיים, ונעשים חלק פעיל ממחזור המים בישראל.

קבוצת מזהמים הכוללת שאריות של תרופות מגיעה למכוני טיהור שפכים (מט"שים) מבתי חולים, מהתעשייה, משפכים חקלאיים ובעיקר משפכים עירוניים. המבנה הכימי המיוחד שלהם, המאופיין בריבוי טבעות ארומטיות וקשרים כפולים, יוצר יציבות כימית, ועל כן הטיפול הביולוגי הנהוג במט"שים כטיפול שניוני, אינו יעיל לפירוקם. לפיכך, הקולחים הללו, המוגדרים כקולחים באיכות גבוהה, מכילים תערובת של שאריות תרופות. מחקרים שנעשו בארץ ובעולם הראו נזקחות רבה של חומרים אלה בקולחים שניוניים ואף בשלישוניים במוצא המט"שים, במקורות מים עיליים, במי תהום (מקור מי שתייה) ואפילו בגידולים חקלאיים עצמם (מקור מזון).

לנוכח הנתונים הללו, ברור שחומרים אלה אינם רצויים בקולחים המיועדים להשקיה חקלאית. לפיכך, יש להרחיב את מערך הניטור אחר חומרים אלה, להרחיב ולשכלל את הטיפול השלישוני והמתקדם הן במט"שים הן במקורות הזיהום עצמם, ולהכניס טכנולוגיות מתקדמות לפירוק ולהרחקה של המזהמים.

מבוא

נכולת המים הגבוהה בשפכים והצורך במחזורם

על פי דו"חות של ארגון הבריאות העולמי, לפחות 1.8 מיליון איש צורכים מים מזוהמים, ובכל יום מתים כ-1,000 ילדים ממחזור במים או מצריכה של מים מזוהמים שאינם ראויים לשתיה [35]. בעיית המים העולמית קיימת הן בהיבט הכמותי (משאב בחוסר) הן בהיבט האיכותי (משאב המועד לזיהום). מים הם משאב חיוני שצריכתו גוברת בהתאם להתפתחות האנושית. הגידול הניכר באוכלוסיית העולם בעשורים האחרונים והצפי להמשכו מצביעים על כך שביובל הקרוב כ-40% מאוכלוסיית העולם יתמודדו עם בעיות של עקת מים ומחסור [35].

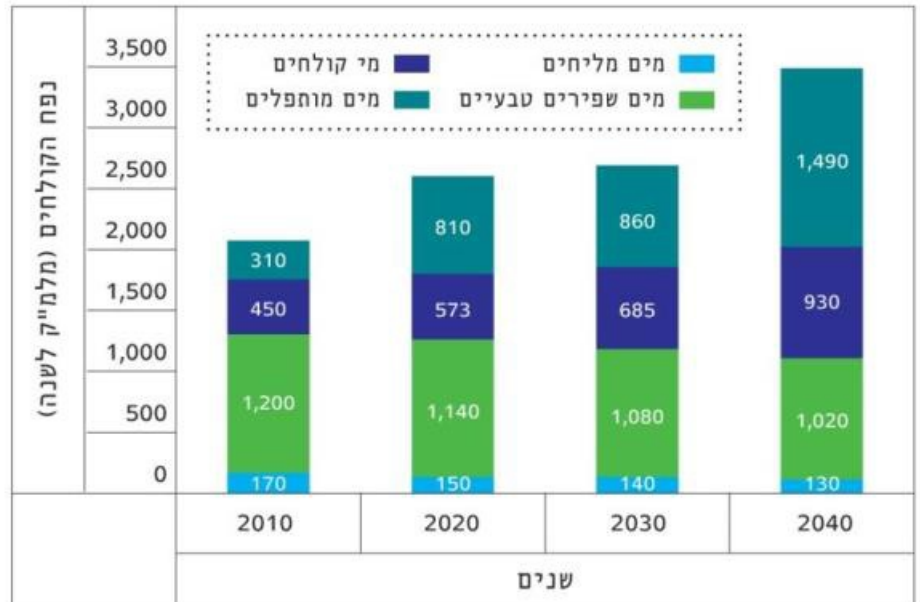
סקר ארצי שנערך ב-2014 בנושא איסוף שפכים, טיפול בהם וניצול קולחים, אמד את נפח השפכים הכללי בישראל בכ-513-517 מל"ש, הנתרמים משלושת המקורות העיקריים: תעשייה, שפכים ביתיים וחקלאות (בעיקר רפתות) [3]. המים, בתוך הנפח הכולל של השפכים הגולמיים, הם כ-99.99-99.99%. מתוך מספרים אלה ברור אפוא, שתהליך מחזור המים מהשפכים הכרחי, הן לטובת הקטנת הזיהום הן לטובת יצירת מקור מים נוסף, בייחוד בעידן שהמים הם משאב חיוני שנמצא במחסור יחסי לדרישתו.

ישראל כמובילה במחזור מים

שפכים הם תוצר המתקבל לאורך כל השנה, באופן קבוע ויציב [35]. בישראל תעשיית מחזור המים היא מהמובילות בעולם – מחזור המים והשימוש החוזר עומד על שיעור הקרוב ל-85%. במקום השני בעולם ניצבת הרחק מאחור ספרד עם כ-25% השבה בלבד [1]. על פי הנתונים בישראל, 93.5% מהשפכים מטופלים במתקני טיפול מכניים ובאגני יישוב, וכ-87.4% מהם (419 מל"ש) מושבים להשקיה חקלאית [3, 2]. כמות זו היא 30% מצריכת המים בחקלאות וכ-20% מצריכת המים הכוללת בישראל [3]. השימוש החוזר במים נעשה בעיקר לשם השקיה חקלאית, החדרה למי תהום, שיקום נחלים והשקיה בגנים עירוניים.

כמדינה שמקורות המים הטבעיים בה הגיעו לניצול מרבי, והדרישה של מקורות אלה עברה את יכולות האספקה, מקורות מים חלופיים תופסים נתח משמעותי ממשק המים המקומי, וצפויים להגיע עד 68% מהמשק כולו עד שנת 2040 [1] (איור 1). במגמה זו הקולחים יכפילו את נפחם בין 2010 ל-2040, ויהיו כ-26% מסך צריכת המים בישראל [1]. אנו משערים ומניחים, כי למרות הכנסת מים מותפלים למערכת המים הארצית כמקור מי שתייה עיקרי, עדיין נחויב לאסוף כמה שיותר שפכים ולטפל בהם כדי למנוע זיהום סביבתי וכדי להמשיך את השימוש החוזר בהם כמקור מים הכרחי להשקיה ולשיקום נחלים.

איור 1. תחזית מקורות המים של ישראל, 2010–2040
עד שנת 2040 נפח הקולחים יכפיל את עצמו, ובסך הכול כ-70% מהמים יגיעו ממקורות חלופיים ^[1].



איור 1

תחזית מקורות המים של ישראל, 2040–2010

עד שנת 2040 נפח הקולחים יכפיל את עצמו, ובסך הכול כ-70% מהמים יגיעו ממקורות חלופיים ^[1].

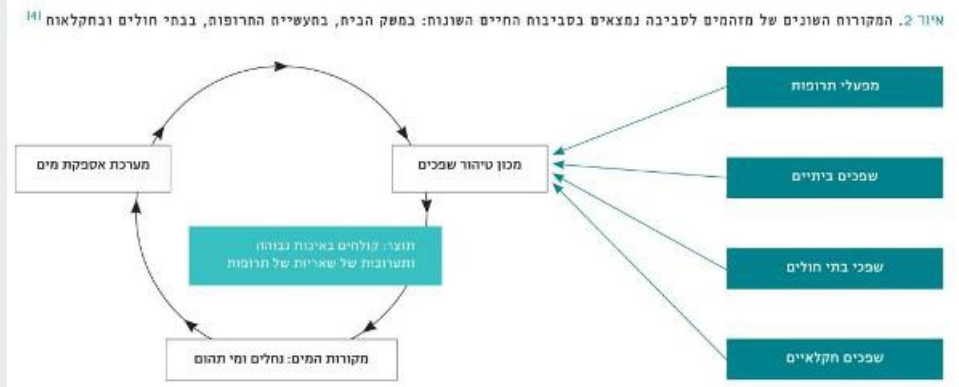
המרכיבים של שימוש במים ממוחזרים

מים המגיעים לשפכים מכילים מרכיבי זיהום רבים שמקורם בשימוש הביתי, התעשייתי והחקלאי (איור 2). בניגוד למים שפירים, השפכים מכילים זיהומים אורגניים ואי-אורגניים בצורה מומסת או חלקיקית ^[35,2]. השימוש החוזר בקולחים עשוי לגרום לזיהום של הקרקע, הצומח, מקורות המים העיליים ומי התהום הסמוכים עקב הנוכחות של המרכיבים הכימיים הנוספים במים הממוחזרים ^[35].

ישראל כמובילה בעולם בשימוש בקולחים למעשה משמשת מעבדה חיה וראי לעולם כולו, ומחויבת לבחון את סוגיות השימוש הבלתי מוגבל בקולחים על היבטיו השונים.

לאורך השנים נעשו מחקרים רבים בארץ ובעולם שבחנו את הנזקים הפוטנציאליים לקרקעות ולצמחייה כתוצאה מהשקיה בקולחים המכילים ריכוזים גבוהים של מזהמים אי-אורגניים. נוסף על כך, נעשו מחקרים רבים על נוכחותם ועל השפעתם של מיקרו-מזהמים אורגניים שכיחים, כגון חומרי הדברה, מרכיבי דלק וכדומה. החומרים הללו, שהנזקים הסביבתיים והשפעות הלוואי שלהם על בריאות הציבור נחקרו, עומדים על סדר היום באופן השוטף, נמדדים, מנוטרים וכלולים בתקנות. לעומתם, קבוצות מיקרו-מזהמים אורגניים קשי פירוק, שמקורם בשאריות תרופות ובמוצרי קוסמטיקה שעלולים לסכן את בריאות הציבור, עדיין אינם נמדדים ואינם כלולים בתקנות.

מאמר זה ידון, על כן, בשאלות שמצביעות על הבעייתיות הקיימת בשימוש בקולחים ובחומרים שאינם נמדדים או כלולים בתקנות, ומהם צריך להיזהר: אילו מרכיבים נוספים קיימים בקולחים? מה ריכוזם? מה תוצרי הפירוק? מהי יציבותם הכימית? מה מידת רעילותם? מהי מידת ההשפעה שלהם על הסביבה המושקית? מה הם הפרמטרים הקיימים בתקנות המים? האם הם מספקים בהקשר של מים ממוחזרים? האם הפרמטרים הנבדקים אכן מייצגים הגדרה של קולחים באיכות גבוהה?



איור 2

המקורות השונים של מזהמים לסביבה נמצאים בסביבות החיים השונות: במשק הבית, בתעשיית התרופות, בבתי חולים ובחקלאות [4]

מהם המרכיבים הנוספים הקיימים בקולחים? מהו ריכוזם?

השפכים המגיעים למתקני הטיפול מכילים, בין השאר, גם חומרים אורגניים קשי פירוק, כלומר חומרים המאופיינים בקשרים כפולים ובטבעות ארומטיות שפירקותן הביולוגית מוגבלת. שאריות של תרופות הן דוגמה לחומרים יציבים (persistent compounds) שכאלה. לאחר צריכת תרופה, מופרש חלק עיקרי (כ-90%) מהחומר הפעיל של התרופה ונשטף מהגוף, בעיקר מהשתן, ישירות לשפכים, בעיקר בצורתו המקורית (כחומר האם), ואף כתוצר פירוק של חומר המקור.

תהליכי הטיפול המקובלים בשפכים כוללים טיפול ראשוני המבוסס בעיקר על סינון ושיקוע, טיפול שניוני שמבוסס על פירוק ביולוגי, טיפול שלישוני המבוסס בעיקר על סינון וחיטוי ולעיתים אף טיפול מתקדם המבוסס על יישום טכנולוגיות מתקדמות לפירוק חומרים ייעודיים. הטיפול השניוני, שהוא השלב העיקרי בהרחקת החומר האורגני המומס, עשוי להרחיק יותר מ-90% מהחומרים האורגניים קלי הפירוק, הנמדדים כצ"ב (צריכת חמצן ביוכימית, BOD) [2]. התוצר, "הקולחים", המאופיינים על פי הפרמטרים המסורתיים (שנכללים בתקנות), נחשב קולחים באיכות גבוהה ביותר.

מחקרים הראו כי בתהליך הביולוגי (השניוני) של טיהור השפכים, חומרים קשי פירוק, כגון שאריות תרופות, אינם מתפרקים בצורה יעילה. כדי להעריך מהי תכולתם הפוטנציאלית של חומרים רפואיים שנצרכו והופרשו למערכות טיפול השפכים, נבדקו נתוני הצריכה של חומרים רפואיים שונים. תרופות שונות, כגון carbamazepine לטיפול בהתקפים אפילפטיים ו-diclofenac, חומר נוגד דלקת שאינו סטרואיד, מזהה ונמדדות בכל השפכים והקולחים בעולם, וצריכתן מוערכת באלפי טונות בשנה [37]. ראוי לציין כי שאריות של תרופות אלה ואחרות רבות, המוגדרות כקשות פירוק על אף הצריכה הגבוהה, נמדדות בקולחים עירוניים בריכוזים הנעים בין ננו-גרמים ספורים לליטר ועד מק"ג בודדים [37, 31, 21].

תוצרי הפירוק – מהי יציבותם הכימית? מה מידת רעילותם?

גל אף יציבותן הכימית של שאריות התרופות, חלק מהן עשוי לעבור תהליך פירוק בשפכים [34]. נוסף על כך, תהליכי פירוק אלה מתקיימים באופן טבעי כתוצאה מחשיפה לקרינת השמש, כתגובה לרמת ההגבה (pH) של השפכים או בשילוב עם מרכיבים אורגניים נוספים במים [19, 17]. שינויים בהרכב הקולחים ישפיעו באופן שונה על תהליכי הפירוק, כך שבתנאים מסוימים תתפרק מולקולת האם בהעדפה לתוצר אחד ובמקרים אחרים בהעדפה לתוצר שונה, עובדה שמקשה אף יותר על יכולת הניטור והמדידה של תוצרי הפירוק [17, 16].

אמוקסיצילין הוא החומר הפעיל של האנטיביוטיקה הנצרכת ביותר בעולם המערבי. עם זאת, מולקולה זו לא נמדדה וזוהתה כלל בשפכים ובקולחים. נמצא כי האמוקסיצילין עובר הידרוליזה במגע עם המים. למעשה, בעקבות פתיחת הטבעת הבתא לקטמית לטבעת מחומשת משתנה "הפרצוף הכימי", ונוצר תוצר פירוק לא יציב ולא רעיל הנקרא דיקטופרזין [21, 18, 17]. מולקולת פירוק זו מתפרקת אף היא למספר תוצרי פירוק, שרובם לא עמידים ולא רעילים, מלבד תוצר פירוק המכונה בספרות ADP3 [16] (נספח 1). הוא הוגדר על-ידי החוקרים כחומר יציב ופעיל ביולוגית, ולמעשה הוא הנציג של האמוקסיצילין בסביבה. יתר על

כן, מולקולה זו נמדדה במגוון מקורות מים עיליים ותחתיים כתוצר הפירוק, שלמעשה, מייצג את מולקולת האם, האמוקסיצילין. התיאור לעיל מלמד על השינוי שמולקולות עשויות לעבור במהלך מסען בסביבה, ועל הקושי לזהות את הנציג או הנציגים (תוצרי הפירוק) היציבים, שייתכן שגם הם רעילים.

אמור, תוצרי הפירוק רבים, מגוונים, ועשויים להיות יציבים (כימית) יותר ממולקולות האם^[18]. היציבות שלהם מדאיגה במיוחד כשהם יוצרים מבנה כימי פעיל, שעשוי להיות רעיל, ויכולים לסכן את בריאותם של בני אדם ובעלי חיים הנחשפים אליהם, ואף להוביל להתפתחות של חיידקים עמידים במקרה של תוצרי פירוק אנטיביוטיים^[21, 17]. תוצרי פירוק פעילים עלולים להיווצר גם בטיפול יזום של חמצון מתקדם, המוצע כיום כפתרון מועדף לטיפול בשאריות התרופות. לפיכך, החשיבות של לימוד תהליכי הפירוק בתנאים שונים, ניטור ומדידה של תוצרים אלה, רבה^[17].

יציבותן של שאריות תרופות ושל תוצרי הפירוק שלהן עשויה להוביל לחלחול של חומרים אלה לסביבה עם הקולחים, כנגר או נקז. בדרך זו הם מתערבבים עם מקורות המים העיליים והתחתיים הסמוכים, בייחוד מתחת לאזורים חקלאיים^[37, 5].

קשה מאוד לזהות ולמדוד את הנוכחות של כל תוצרי הפירוק בסביבה עקב היותם חומרים לא מזוהים כלל (ללא שם והגדרה כימית). עובדה זו מובילה לכך שהידע הקיים ברשותנו מועט, כך שישנם למעשה עשרות ומאות חומרים לא מזוהים ולא מדידים כלל בסביבות המימיות (aquatic) השונות^[36, 21]. השאלה הגדולה שמעסיקה חוקרים רבים בתחום היא מה מידת רעילותם והשפעתם של תוצרי פירוק אלה על הסביבה, ומה מידת השפעתם על בריאות הציבור^[2]. כיוון שאנו מודעים לכך שחומרים אורגניים מומסים ויציבים אלה ותוצרי פירוקם אינם עוברים מינרליזציה למים ולפחמן דו-חמצני במהלך הטיפולים הייעודיים (שניוני, שלישוני ומתקדם), ישנה חשיבות רבה לבדיקת רעילותם של מי תוצר הטיפול.



מיצג 'מעריסה לקבר' במוזיאון הבריטי (British Museum) בלונדון. במיצג כ-14,000 כדורים ותרופות בצורות שונות - מספר מנות התרופה שנוטל אדם בריטי ממוצע במהלך חייו | באדיבות Health Gauge

מהי מידת ההשפעה של שאריות תרופות ותוצרי פירוקן על הסביבה המושקית?

השקיה בקולחים ודישון בבוצת שפכים (קומפוסט בוצה) הן שיטות מקובלות בסביבה החקלאית. בישראל כ-50% מסך ההשקיה בחקלאות היא השקיה בקולחים^[27]. ייצור בוצת שפכים בארה"ב ובאירופה עומד על כ-7.2 ו-4.7 מיליוני טונות חומר

יבש בשנה, בהתאמה, וכ-50% מכלל ייצור זה משמש חומר דשן בחקלאות [12,7].

מרגע הגעת החומרים הרפואיים לסביבה החקלאית, אם על-ידי השקיה בקולחים או דישון בקומפוסט בוצה, יכולים להתרחש מספר תהליכים שיקבעו את גורלם בסביבה. תהליכים אלה כוללים תהליכי פירוק והתמרה [20]; תהליכי ספיחה ושחרור מהפאזה המוצקה בקרקע; תנועה לעבר מי תהום [29]; קליטה בצמחים [26,15,8]. תהליכים אלה תלויים בעיקרם בתכונות הכימו-פיזיקליות של החומרים הרפואיים, במטען המולקולה כתלות במדד ה-pKa (קבוע הפירוק מבוסס pH), בערך החלוקה אוקטנול מים (Kow) ובתכונות הקרקע, כגון ערך ההגבה ותכולת החומר האורגני.

בתהליך קליטת החומרים על-ידי צמחים שהושקו בקולחים, שאריות תרופות וגם תוצרי פירוקן עוברים שחלוף מהשורשים, לעלים ולפרי, ומצטברים בהם [26,15,8]. התוצרת החקלאית (פירות, עלים או שורשים) משווקת למאכל אדם ללא מגבלות.

בתהליך אחר יכולות שאריות התרופות לשמש לחילוף החומרים של הצמח ולהפוך לחומר שונה על-ידי הסרה של קבוצה תפקודית או על-ידי הוספת מולקולה אחרת, וכך לשנות את התכונות הכימיות של החומר הרפואי. במקרה כזה, נוסף על החשיבות בהכרת תוצרי הפירוק של שאריות התרופות, חייבת להיות גם הבנה מעמיקה של תהליכי חילוף החומרים בצמח [8,11]. נוסף על כך, נמצא כי בבוצת קומפוסט המשמשת לדישון חקלאי בשדות, קיימים ריכוזים גבוהים (מק"ג לק"ג) של חומרים רפואיים כדוגמת הורמונים ואנטיביוטיקות (מקרולידים). חומרים אלה מאופיינים בערכי חלוקה (Kow) גבוהים, כלומר, הם העדיפו את הפאזה המוצקה על הפאזה הנוזלית. חומרים רפואיים אלה שפוזרו בשדות, עשויים בתנאים מסוימים לעבור שחרור (desorption) ולהגיע לרקמות הצמח (גידול חקלאי) או לחלחל למי התהום [33,31].

שאריות התרופות מהקולחים, שלא נקלטו בצמחים, עלולות לחלחל מהשטח החקלאי למי התהום, ולהישאב עם המים בבארות [21,5]. צריכה עקיפה של תרופות דרך מים ומזון מזוהמים באופן בלתי מודע ובלתי מבוקר עלולה ליצור תגובות אלרגיות נרחבות וכשלים בריאותיים נוספים בקרב הציבור ולפגוע בבריאותו [11].

מהם הפרמטרים המתוקנים בתקנות המים? האם הפרמטרים הנבדקים אכן מייצגים הגדרה של קולחים באיכות גבוהה?

בדיקות מלאות לאיכות כימית מתבצעות באופן תדיר בקולחים בכל המתקנים הגדולים בישראל, כמו במדינות מפותחות רבות אחרות. נוסף על כך, מתבצעות בדיקות איכות כגון צח"ב, כלל מוצקים מרחפים (TSS) ועוד, המעידות על רמת הטיפול במט"שים [10,9,2]. בשנת 2007, בעקבות פעילות ועדת התקינה – תקן איכות קולחים ("ועדת ענבר"), אוחדו תקני איכות הקולחים עם היבטי תברואה וסביבה להתאמת קולחים להשקיה ולהזרמה בנחלים, ושולבו עם תקנים לאיכות הבוצה הנוצרת מהטיפול במט"שים. למרות ההתייחסות לפרמטרים רבים לניטור, החליטה הוועדה המתקנת לא לכלול בינתיים מיקרו-מזהמים אורגניים, כגון שאריות תרופות, לא בניטור ולא במעקב [2] מצב זה דומה למצב בשאר העולם [13] – למעט ניטור וניסיון לטפל ברמה לאומית בשאריות אנטיביוטיקה במספר מט"שים בשווייץ [32] אין התייחסות באסדרה (regulation) למיקרו-מזהמים דוגמת שאריות תרופות. למעשה התייחסות המאסדר בישראל באשר לשאריות תרופות היא, עדיין, כאל "חומרים שקופים". משמעותה, למעשה, היא שקולחים המכילים תערובת של חומרים רפואיים קשי פירוק רבים, ואין-ספור תוצרי פירוק, עדיין נחשבים על פי חוק כקולחים באיכות גבוהה, ומותרים לכל שימוש בסביבה.

כפי שהוזכר קודם לכן, שאריות תרופות ותוצרי הפירוק שלהן נמצאים בקולחים, אולם לא מנוטרים, לא נמדדים ולא נקבע להם תקן. כאמור, מחקרים רבים מעידים על כך שחומרים אלה מזהמים את הקרקעות, את התוצרת החקלאית, את מקורות המים השונים, מגיעים אל משקי הבית, ונצרכים באופן שוטף ובלתי מודע. ההשלכות הבריאותיות והסכנות נמצאות עדיין בשלבי מחקר ראשוניים, אך כבר ברור ש"מרק" של חומרים רפואיים שעשויים לקיים תהליכי אֶגְבוּר (synergy) בינם לבין עצמם ובכך להגביר את אפקט הרעילות של התמיסה, צריכים ואף חייבים לעורר סימני אזהרה, ויש לדרוש תהליכי מניעה והתייחסות של המאסדר. מכאן, שהגדרת הקולחים כאיכות גבוהה פשוט איננה אמינה.



תהליך מיצוי ואנליזה של חומרים כימותרפיים משפכי בתי חולים. עד לאחרונה היה מקובל כי הטיפול בקולחים מחייב רק סילוק מיקרואורגניזמים גורמי מחלות וכימיקלים מזיקים. המאמר מעלה את הבעייתיות בהימצאות מזהמים נוספים בקולחים המטופלים: כימיקלים יציבים, שיירי תרופות ומוצרי קוסמטיקה וכן מזהמים שריכוזם כה נמוך עד שאינם מפתחים אוכלוסיית מיקרואורגניזמים המסוגלת לפרקם. חלק מהשיירים הללו עלולים לפגוע בסביבה ובבריאות האדם | צילום: גפן רונן-אליר

לאן מכאן?

לנוכח המצב שהוצג, לא מן הנמנע שבשנים הקרובות תתווסף הדרישה למדידה, למעקב ולטיפול במיקרו-מזהמים אורגניים, הכוללים שאריות תרופות, במט"שים עצמם, ואף במוצא השפכים כאשר מדובר בתעשייה או בתי חולים^[13]. טיפול במקור הוא

טיפול ממוקד במיקרו-מזהמים מסוימים תוך הפרדת זרמים ובנפחים קטנים, ועל כן הוא יעיל יותר וזול יותר.

כפי שהוזכר, הקושי העיקרי בפירוק החומרים הללו נובע מהמבנה הכימי שלהם. החומרים הללו מתפרקים באופן חלקי בתהליך הפירוק הביולוגי המקובל במט"שים, כך שבפועל, החומרים הרפואיים נוכחים כתערובת בקולחים לאחר טיפול שניוני ושלישוני, שמשמשים מקור השקיה עיקרי. בעיה זו אינה נסותרת מעיני המדענים העוסקים בתחום, ומשום כך, מספר קבוצות מחקר בארץ ובעולם מפתחות בשנים האחרונות שיטות משולבות לפירוק ולהרחקה של חומרים רפואיים במוצא הקולחים (במטש"ים) ובמקורות הזיהום עצמם (מפעלים ובתי חולים). הפתרונות מתמקדים במספר היבטים טכנולוגיים, אך בעיקר בפיתוח ובמיטוב של תהליכי חמצון מתקדם (AOPs – Advanced Oxidation Process) שנמצאו יעילים ביותר לטיפול בבעיה.

עיקרון הפעולה של תהליכי החמצון המתקדמים הוא הרס (destructive process) של הקשרים הכפולים בחומרים קשי הפירוק, תוך שימוש במנגנוני פירוק ישירים בעיקר אך גם עקיפים, על-ידי רדיקלי הידרוקסיל ($\text{OH}^\bullet$)^[14]. בסיום תהליך זה ובהתאם לריכוזי המזהמים ולריכוזי המחמצנים, הנוזל המטופל (קולחים) מכיל את תוצרי הפירוק של מולקולות האם, המאופיינים במבנים כימיים פשוטים יותר, ולכן גם בפריקות ביולוגית גבוהה יותר, המאפשרת פירוק ביולוגי יעיל ומהיר של התוצרים.

אוי לציין כי תהליכים אלה, הנחשבים יעילים וידידותיים לסביבה^[28], הראו לאחרונה תוצאות מבטיחות ביישום הטכנולוגיה במט"שים^[6, 21, 22, 23, 24, 38], במפעלי תעשיית התרופות^[25] ובבתי חולים^[4] במספר מחקרים ומחקרי חלוץ שנעשו בישראל, והדגימו באופן מעשי את היכולת לייצר קולחים שלישוניים נטולי מיקרו-מזהמים.

מודעות

בנסיבות שתוארו לעיל חשוב מאוד לעורר את המודעות ולתת הערכות סיכונים אפשריים מול העלויות הדרושות לתיקון ולאכיפה^[30]. לנוכח המחקרים הרבים שנעשו בעניין, היכולת לגבש את ההערכות הללו אפשרית גם בהיבט של זיהוי ומדידה של מיקרו-מזהמים אורגניים, וגם בהיבט של דרכי הטיפול והפירוק שלהם. לדעת הכותבים, המדיניות של התייחסות לחומרים שנוכחותם בקולחים ידועה כבר מספר שנים, כאל חומרים שקופים, אינה נכונה וכמוה כעצימת עיניים, וזאת בעיקר עקב היות מדינת ישראל מעצמה בשימוש חוזר בקולחים להשקיה חקלאית. נוח מדי להסתתר מאחורי טענות, שטרם הוכחו, כי ריכוז החומרים הללו נמוך והסיכוי שיהיו סכנה בריאותית קטן. טענה זו טרם הוכחה או נבדקה כראוי, בעיקר בגלל מחסור במחקרים הבוחנים את מידת הנזק הבריאותי. נוסף על כך, ראוי לזכור כי תרופות אלה הן חומרים כימיים סינתטיים שלא אמורים להיות נוכחים כלל במים. חומרים אלה נמצאים בקולחים כתערובת, "מרק" של חומרים רפואיים ותוצרי פירוקם. הקולחים, כאמור, מכילים הרבה מאוד חומרים כאלה בריכוזים נמוכים, אך כתערובת, ומעט מדי ידוע לנו, עדיין, על הסכנות הבריאותיות שעשויות להיגרם מכך.

הכרת קבוצות של תרופות הנמצאות בשימוש נרחב וכן תוצרי פירוקן הרבים והלא מוכרים, במקביל לפיתוח שיטות המדידה שלהם, זיהוי המגבלות האנליטיות, ובחינת השפעת תערובות של חומרים אלה על בריאות הציבור והסביבה, הם שלבים הכרחיים בגיבוש תקנות חדשות להגבלת ריכוז המזהמים הללו במקורות מים ובקולחים^[19]. הפיכת שפכי בתי חולים לשפכים תעשייתיים המחויבים לטיפול במקור, דרישה ואכיפה של טיפול ראוי בשפכי תעשיית התרופות וחקיקה מפורשת וברורה באשר לרמות המותרות של מיקרו-מזהמים אורגניים בקולחים הכרחיות כדי ליישם באופן יעיל שיטות טיפול המוצעות להרחקתם. כך ניתן יהיה לייצר קולחים שבאמת יתאפשר לכנותם 'קולחים באיכות גבוהה', המתאימים לכל ייעוד ומטרה וניתן לעשות בהם שימוש ללא כל הגבלה. קולחים באיכות משופרת לאחר שימוש בטכנולוגיות מתקדמות הם היעד שמדינת ישראל צריכה לשאוף אליו, כמובילה בהתרת השימוש בקולחים כמקור עיקרי להשקיה חקלאית.

מקורות

1. בר-אלי א. 2017. ישראל מתייבשת, אבל כבר לא מתרגשת מזה. *דה-מרקר*.
2. גרוסמן ל ורורמן א. 2007 זיהוי ואפיון מזהמים אורגניים רעילים בקולחים להשקיה. משרד הבריאות, המעבדה הארצית לבריאות הציבור.
3. כהן א, פיימן ד, ישראלי מ וקולר נ. 2016. איסוף וטיפול בשפכים וניצול קולחים להשקיה חקלאית. רשות המים.

4. Avisar D. 2016. Technologies for water treatment and reuse: Advanced oxidation processes (AOP). City of Knowledge Academic Center, Annual Conference, Wastewater Management; Panama.
5. Avisar D, Lester Y, and Ronen D. 2009. Sulfamethoxazole contamination of a deep phreatic aquifer. *Science of the Total Environment* **407**: 4278-4282.
6. Avisar D, Lester Y, and Mamane H. 2010. pH induced polychromatic UV treatment for the removal of a mixture of SMX, OTC and CIP from water. *Journal of Hazardous Materials* **175**: 1068-1074.
7. Beecher N, Crowford K, Goldstein N, et al. 2007. A national biosolids regulation, quality, end use and disposal survey. USA: NIH.
8. Ben-Mordechay E, Chefetz B, Tarchitzky J, et al. 2017. Effects of composted biosolids and treated wastewater on uptake and translocation of pharmaceuticals: Lettuce as a case study. *16th International Conference on Chemistry and the Environment*. 18-22 June 2017; Oslo.
9. Bower H. 2000. Groundwater problems caused by irrigation with sewage effluent. *Journal of Environmental Health* **63**: 17-20.
10. Carr RM, Blumental UJ, and Mara DD. 2004. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (2- Wastewater use in agriculture). World Health Organization.
11. Christou A, Agüera A, Bayona JM, et al. 2017. The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: The knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic resistant bacteria and resistance genes – A review. *Water Research* **123**: 448-467.
12. Eurostat. Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)). 2016. www.tinyurl.com/eurostat-sewage-sludge.
13. Gerrity D and Snyder S. 2011. Review of ozone for water reuse applications: Toxicity, regulations, and trace organic contaminant oxidation. *Ozone: Science and Engineering* **33**: 253-266.
14. Glaze WH, Kang J, and Chapin DH. 1987. The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation. *Ozone: Science & Engineering* **9**: 335-352.
15. Goldstein M, Shenker M, and Chefetz B. 2014. Insights into the uptake processes of wastewater-borne pharmaceuticals by vegetables. *Environmental Science and Technology* **48**: 5593-5600.
16. Gozlan I and Koren I. 2016. Identification, mechanisms and kinetics of macrolide degradation product formation under controlled environmental conditions. *Journal of Environmental Analytical Chemistry* **3**: 2380-2391.
17. Gozlan I, Rotstein A, and Avisar D. 2010. Investigation of an amoxicillin oxidative degradation product formed under controlled environmental conditions.

Environmental Chemistry Letters **7**: 435-442.

18. Gozlan I, Rotstein A, and Avisar D. 2013. Amoxicillin-degradation products formed under controlled environmental conditions: Identification and determination in the aquatic environment. *Chemosphere* **91**: 985-992.
19. Gozlan I, Rotstein A, and Avisar D. 2014. Carboplatin-degradation products formed under deliberated and non-deliberated laboratory experiments: Structural elucidation. *Water, Air, and Soil Pollution* **225**: 1-12.
20. Grossberger A, Hadar Y, Borch T, and Chefetz B. 2014. Biodegradability of pharmaceutical compounds in agricultural soils irrigated with treated wastewater. *Environmental Pollution* **185**: 168-177.
21. Lamm A, Gozlan I, Rotstein A, and Avisar D. 2009. Detection of amoxicillin-diketopiperazine-2', 5' in wastewater samples. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* **44**: 1512-1517.
22. Lester Y, Avisar D, and Mamane H. 2010. Photodegradation of the antibiotic sulphamethoxazole in water with UV/H₂O₂ advanced oxidation process. *Environmental Technology* **31**: 175-183.
23. Lester Y, Avisar D, and Mamane H. 2013. Ozone degradation of cyclophosphamide – Effect of alkalinity and key effluent organic matter constituents. *Ozone: Science & Engineering* **35**: 125-133.
24. Lester Y, Mamane H, and Avisar D. 2012. Enhanced removal of micropollutants from groundwater, using pH modification coupled with photolysis. *Water, Air, and Soil Pollution* **223**: 1639-1647.
25. Lester Y, Mamane H, Zucker I, and Avisar D. 2013. Treating wastewater from a pharmaceutical formulation facility by biological process and ozone. *Water research* **47**: 4349-4356.
26. Malchi T, Maor Y, Tadmor G, et al. 2014. Irrigation of root vegetables with treated wastewater: Evaluating uptake of pharmaceuticals and the associated human health risks. *Environmental Science & Technology* **48**: 9325-9333.
27. Navon R, Hernandez-Ruiz S, Chorover J, and Chefetz B. 2011. Interactions of carbamazepine in soil: Effects of dissolved organic matter. *Journal of Environmental Quality* **40**: 942-948.
28. Oturan MA and Aaron J. 2014. Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: Principles and applications. A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **44**: 2577-2641.
29. Paz A, Tadmor G, Malchi T, et al. 2016. Fate of carbamazepine, its metabolites, and lamotrigine in soils irrigated with reclaimed wastewater: Sorption, leaching and plant uptake. *Chemosphere* **160**: 22-29.
30. Scott CA, Faruqui NI, and Raschid-Sally L. 2004. Wastewater use in irrigated agriculture: Confronting the livelihood and environmental realities. Canada: CABI.

31. Shafrir M and Avisar D. 2012. Development method for extracting and analyzing antibiotic and hormone residues from treated wastewater sludge and composted biosolids. *Water Air Soil Pollution* **223**: 2571-2587.
32. Swiss Federal Council. 2016. [Strategy on antibiotic resistance](#).
33. Tenenbaum I, Chefetz B, and Avisar D. 2014. Physicochemical behavior of tetracycline and 17 α -ethinylestradiol with wastewater sludge-derived humic substances. *Water Air Soil Pollution* **225**: 1-11.
34. Wang J and Wang S. 2016. Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review. *Journal of Environmental Management* **182**: 620-640.
35. WHO. 2006. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (1- Policy and regulatory aspects). Geneva: World Health Organization.
36. Yin L, Wang B, Yuan H, et al. 2017. Pay special attention to the transformation products of PPCPs in environment. *Emerging Contaminants* **3**(2): 69-75.
37. Zhang Y, Geissen S, and Gal C. 2008. Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere* **73**: 1151-1161.
38. Zucker I, Mamane H, Cikurel H, et al. 2015. A hybrid process of biofiltration of secondary effluent followed by ozonation and short soil aquifer treatment for water reuse. *Water Research* **84**: 315-322.

נספחים (זמינים באתר)

נספח 1

[להורדה](#)