

מזהמי מים: הדור החדש

ד"ר דרור אבישר

רקע:

בדוחות של אֶח פורסמו תרחישים שונים לגבי מצב המים בעתיד, ונראה כי משאבי המים יהוו מניעים עיקריים בעתיד לקונפליקטים צבאיים מחסור במים מתבטא בשתי פנים:

- כמויות: כיום למשל בארץ מדובר בעיקר נושא כמות המים פחות נושא איכות המים.
- איכות: ישנם אזורים בעולם המקבלים כמויות מים רבים אך איכות המים שמקבלים אינה ראויה. האיכות נמדדת ביחס לקריטריונים שונים. ישנם פרמטרים שונים שהולכים ונכנסים למשוואת איכות המים. רוב הפגיעות מזיהומי מים נעשים מזיהומים מיקרוביאליים ולא כימיים. לרוב לחומרים כימיים אין עדויות לרמות הפגיעה.

אפריקה כדוגמא: במצגת ניתן לראות גרף של כמות המים בשנת 1990 לעומת צפי ב-2025. ישנה חלוקה של הרמות השונות לשלושה חלקים: פגיעות במים, stress, ומחסור – החמור ביותר. חלק מהמדינות באפריקה מתקרבות לאיזור המחסור האמיתי. ניתן לייחס זאת לאירועים שונים בעולם – הן מתהליכים טבעיים והן בהשפעת האדם.

ישנם אזורים בעולם בהם כדי לקבל מים על האנשים ללכת למקום מרוחק, כגון באר כפר. המם נאגרים בכלים לא סניטריים שלא עברו חיטוי, הצנרת אינה סניטרית גם כן, ומוזהמים רבים מגיעים למקורות המים היחידים של אותם אנשים. מים אלו גורמים למחלות ובעיות, ואף תמותה. ילדים בגילאים 0-5 היא אוכלוסיית הפגיעה העיקרית.

בישראל:

הגידול המתמשך באוכלוסייה יוצר דרישה מוגברת למים. ככל שרמת החיים עולה, כך האזרח צורך יותר מים – לכביסה, מדיחי כלים, מקלחות ארוכות, בריכות, מותרויות הקשורות במים. ישראל בדרך למחסור. במאה הנוכחית בעיה זו קשה ביותר. ישראל נמצאת כיום ב-stress עד מחסור במים, המצב הכי נמוך שישראל היתה בו אי פעם – הגעה לקווים אדומים ושחורים בכנרת ובאקוויפר החוף. הבעיה היא לא רק כמותית, אלא גם איכותית. במשך השנים האחרונות, בשל הזנחה של שפכים ביתיים ותעשייתיים, כימיקלים רבים מוצאים דרכם למערכות האקוויטיות התת קרקעיות, וחומרים אלו מגיעים בצורה לא מבוקרת למי השתייה. ככל שהמחקר הטוקסיקולוגי מתפתח, אנו למדים שיכולת העמידות של חומרים אלו בסביבה גבוהה יותר ממה שציפינו. למשל: אנטיביוטיקה מסוג מסויים, מאוד מסיסה. נמצאה במקורות מי תהום. לא נעשה מחקר מקיף על שדות השקיה המקבלים מי קולחין הכוללים אנטיביוטיקה זו – מה ההשפעה על מי התהום. הוערך כי האנטיביוטיקה לא תשרוד, אך נמצא כי שר ידות האנטיביוטיקה רב מאוד. למשל, נמצאה בקידוחים עמוקים של 90 מ'. סיכום: לחומרים רבים רעילים שרידות גבוהה מהצפוי.

מה חדש:

מגוון רב של כימיקלים הנמצאים בשימוש ביתי. אמנם שפכים תעשייתיים הם בעייתיים ביותר, אך כמות הכימיקלים הסינטטיים המצויה בבתי ומשתחררים לטבע בשפכים תעשייתיים היא לא פחותה מהשפכים התעשייתיים. חומרי ניקוי שונים, מסירי שומנים – וכל אלו כימיקלים המתפתחים עם הזמן ונעשים יותר ויותר חזקים, ואלו משתחררים בשפכים ביתיים פוטנציאל רעילות ופגיעות שפכים אלו גבוה מאוד.

תרופות: תרופות נמצאות בשימוש לאורך שנים רבות. תרופות הן מצרך הכרחי, אך נשפך לסביבה בכמויות גבוהות מאוד. חומרים רפואיים המשתחררים ע"י שפכי בית חולים הם ברמות גבוהות מאוד. חומרים אלו לא נמדדו ולא נכנסו לתקנות, כך שמבחינה חוקתית אין תקנות עדיין לטיפול בשפכים כאלו. לצד זאת, פוטנציאל הרעילות עדיין לא ידוע.

הורמונים, תוספי מזון ותרופות אנטיביוטיות:

קבוצה זו נחשבת דור חדש של מזהמים כיוון שרק לאחרונה למדנו לנתר ולגלות חומרים אלו כמזהמים – למידת התנהגות כימית ופיסיקלית, אינטראקציות וכו'. כ-90% מחומר רפואי הנקלט לגוף יוצא בשתן מהגוף ומגיע למכונני טיהור שפכים (במקרה הטוב).

מקורות זיהום עיקריים ודרכי הסעה של אנטיביוטיקה לסביבה:

מקורות עיקריים:

- ביוב עירוני – מהאוכלוסייה הצורכת, חלק נפלט כמטבוליטיים (פירוק) וחלק כמולקולות אם. מגיע למכון טיהור שפכים.
- משק החי – תרנגולים, פרות וכו' – שימוש בזרזי גדילה וטיפול בזיהומים. המזהמים משוחררים ישירות לסביבה, דרך מכונני טיהור שפכים, תשטיפים. ביניהם התעשייה הפרמצבטית.
- בתי החולים – תעשייה המעבירה את שפכים למכון לטיהור שפכים דרך ביוב.

אחת הבעיות: יכולת ההסרה של חומרים אלו נע בין 25-80% - ישנו מגוון רחב מאוד העמידים בפני הטיפול הקונבנציונאלי הטוב ביותר שיש כיום לטיפול בשפכים. הקולחין המכיל חומרים רפואיים משמש להשקיה חקלאית, הזרמה לנחלים (אחת מהדרכים לשיקום נחלים), החדרה מלאכותית למי תהום כדי להעשיר את מקורות המים.

כמויות:

מדובר על מאות טונות בשנה של חומרים רפואיים. חישוב גס: כל אדם משתמש בעשרה גרם אנטיביוטיקה בשנה, מה שמסתכם במגוון אנטיביוטיקות וכמות רבה המשתחררת לסביבה.

היסטוריה של המחקר:

החל בתחילת שנות ה-90 כסקרים ראשוניים. היכולת האנליטית השתפרה ונכנסה לתחום גילוי חומרים מזהמים, פותחו שיטות אנליטיות לזיהוי חומרים אלו בסביבה – גילוי בלבד. נמצאו מגוון חומרים רפואיים במקורות מים שונים. בארה"ב נמצאו שאריות סמים במקורות מים, אספירין, ניקוטין, קפאין. היכולת האנליטיות לזהות חומרים אלו בריכוזים נמוכים פותחו, והם החידוש בתחום מחקר זה.

ההשפעה על הסביבה:

ההשפעות של חומרים אלו על הסביבה – מחקר זה בתחילת דרכו. כיום קיים יותר מידע על הורמונים ופחות על אנטיביוטיקות. חומרים אלו תרופות, וחלקם הגדול תרופות מרשם. לא היינו רוצים בצורה גורפת ושגרתית לשתות מים המכילים חומרים אלו באופן קבוע. כיום יותר ויותר מחלות נעשות עמידות לאנטיביוטיקות שונות. רואים בסביבה פקטוריות העמידות למרק של אנטיביוטיקות, וחיידקים אלו אלימים יותר ובעייתיים – יכולים לגרום לבעיות קשות (כגון חיידקים טורפים). בתי החולים שומרים אנטיביוטיקות דור 3, למקרי קצה דחופים. אנטיביוטיקות אלו אף הן מצויות בשפכים של בתי חולים (ולקומיציף), וישנם מחקרים המעידים על עמידות חיידקים לאנטיביוטיקות אלו – בעיה חמורה. לפי ה-CDC (מרכז לשליטה במחלות) נמצא כי 70% מהזיהומים שאנשים חטפו בזמן אשפוז עמידים לפחות לסוג אחד של אנטיביוטיקה. דגימות מנחלים ונהרות מזהמים העידו על עמידות גבוהה של חיידקים לאנטיביוטיקות במורד הזרימה יותר מאשר במעלה מקורות הזיהום. בקטריות שונות יכולות להעביר גנים – בעיה קשה, שכן ברגע שגן זה מתפזר בסביבה, חיידקים אחרים רבים יכולים לרכוש גן זה ולפתח עמידות.

מחקר:

נבדקו מספר אנטיביוטיקות, ביניהן *sulfa...* - אנטיביוטיקה נפוצה מאוד, ונמצא שבמהלך טיפול ראשוני ושניוני במכון לטיפול בשפכים ישנה הכפלה בכמות החיידקים העמידים לסוג זה של אנטיביוטיקה, המצויה הרבה בשפכים. כאשר מפותחת עמידות לאנטיביוטיקה אחת, הגוף שצריך טיפול עמיד למשפחה שלמה של אנטיביוטיקות.

לאחרונה נעשה מחקר במי שתיה בארה"ב, ונמצאו ריכוזים גבוהים מאוד של מזהמים רפואיים

ממצאים מישראל:

בבחינת משפחת ה-*sulfa*, נמצאו ריכוזים של 200 ננו-גרם בשפכים מקומיים, 100 ננוגרם בקולחין באיכות גבוהה (אלו ההולכים להחדרה למי תהום), 9-36 ננוגרם נמצאו במי תהום וקידוחי השקיה ושתיה. נמצאו ריכוזי אנטיביוטיקה גם במזון שמקורו בבע"ח שקיבלו את אותה אנטיביוטיקה. אמנם הריכוזים נמוכים, אך עדיין מזיקים.

האנטיביוטיקה הנפוצה ביותר בארץ היא ממשפחת *amoxicillin* (מוקסיפן בארץ). בשפכים גולמיים תחילה לא מצאו אותו, וזאת כיוון שמולקולת אנטיביוטיקה זו מתפרקת בצורה מסויימת במים, ומתפרקת לתוצרי פירוק. כיום יודעים לזהות תוצרים אלו, למשל *ADP* – תוצר פירוק עם טבעת מחומשת, המהווה נציג של אמוקסיצילין בסביבה (תלוי באיזה שלב בסביבה). חומר זה, יציב ומסיס מאוד, נמצא בריכוזים גבוהים בשפכים גולמיים וגבוהים אף יותר בקולחין באיכות גבוהה. חומר זה עמיד ומהווה מזהם. מכאן: פרט לבדיקת הימצאות מולקולת האם, יש לבדוק גם תוצרי פירוק – למשל במקרה הנ"ל אמנם מולקולת האמוקסיצילין התפרקה, אך לחומרים רעילים ומזהמים.

חומר נוסף: אוקסיטרציקלין. משפחת אנטיביוטיקה נפוצה בשימוש בעיקר וטרינרי. מבחינת תכונות כימיות ופיסיקליות, אנטיביוטיקה זו תקשר לחרסית ותצטבר. בבחינת מקורות המים, אינה מובילית, אך מצטברת בקרקע. אכן נמצא בבוצות או קרקעות חקלאיות הצטברות רבה מאוד של מולקולה זו. בקטריות הנחשפות לכך: יכולות לפתח עמידות או לההרס – ופירות הקרקע יכולה להפגע. אוקסיטרציקלין ניתן הרבה לטיפול בדגה. דגים מקבלים אנטיביוטיקה זו או דרך זריקה תת עורית או אנטיביוטיקה בקפסולות מזון / טבולה במים. מחקרים הראו שהדגים פולטים בערך 75% ממי בריכות הדגים. משם לרוב מוזרמים לים או לסביבה. בישראל נמצא שישנה בריכה קטנה בה מתרכזים "מי האנטיביוטיקה", ושם המים מחלחלים למי התהום. אמנם חומר זה לא מובילי, ולא אמור להגיע למי תהום, אך תחת בריכות כאלה שבהם יש כל הזמן החדרה של מים, מתפתחים נתיבי זרימה מועדפים רוויים, דליפות רוויות של מים מתחתית הבריכה למי התהום. בגלל הרטיבות הרבה, אין כמעט אינטראקציה בין המזהם ל סדימנט (החומר הסופח). תנאי הספיחה יורדים למתחת ל-5%, וכך החומר המזהם מגיע למי התהום. בקידוח באזור נמצא מזהם זה בריכוז גבוה במי התהום, המהווים מי שתיה. לסיכום, גם מולקולה שנחשבת לא מובילית, בתנאים מסויימים כן מובילית.

הורמונים אסטרונים:

ישנם שאריות של הורמונים נשיים בסביבה מהווה בעיה הן בקרב בני האדם והן בקרב בע"ח. ידוסקס בהרצאה האחרונה.

שיטות לטיפול בבעיה:

בדיקה האם *UV* מסוגל בנוסף להריגת חיידקים לפרק מולקולות. קרינת *UV* יחד עם מי חמצן – תהליכי חימצון מתקדמים – הוספת מי חמצן לתמיסה עם מזהמים, הקרנה עליה קרינת *UV* באורך גל מסויים, גורם לשחרור רדיקלים חופשיים – ואלו הורסים את מולקולות המזהמים. המחקר הגיע לרמות אופטימליות של כל התהליך הזה לפירוק המזהמים. הגיעו לתוצאות של פירוק 99% מהמזהמים תוך זמן קצר (עד חצי שעה). הרדיקלים החופשיים הם O_2H_2 , ואלו אחראים על פירוק החומרים המזהמים. *Ppm* – מיליגרם לליטר. הוספת רק 10 *ppm* מי חמצן להקרנת ה-*UV* מעלה משמעותית את ניקוי

הזיהום. אותם רדיקלים אינם מהווים סיכון תוך זמן קצר לאחר תגובה למזהמים. מנורת ה-UV שנלקחה היא כזו שיכולה להקרין בטווח רחב לצורך טיפול בריבוי מזהמים. התפיסה כיום בארגון הבריאות העולמי היא ליצור תקנים לקבוצות מזהמים, שכן ישנן עשרות אלפי מולקולות ולא ניתן לעמוד בהוצאות הכלכליות אם יתוקנו תקנות לכל אחד מהמזהמים הקיימים והמתגלים.

המרצה ציין שהמצגת תועלה לאתר.