



חטיבת השרות ההידרולוגי
אגף איכות מים

**חומרים מעכבי בערה (PFAS)
במקורות מים בישראל
ממצאי סקר ראשוני**

חיים כץ

גיא גסר

הראל גל

ספטמבר 2020

תודות

סקר זה בוצע בשותפות מספר גורמים, להם נתונות תודותיי -

המעבדת לאיכות מים באגף איכות מים, בה פותחו שיטות ובוצעו במסירות אנליזות למרכיבי PFAS במים, ברמת אמינות גבוהה על אף מגבלות אובייקטיביות רבות.

לד"ר תמר ברמן, טוקסיקולוגית המערך הארצי לבריאות הסביבה במשרד הבריאות, שכתבה את הפרק הטוקסיקולוגי וסקירת הרגולציה במסמך זה.

חברת LDD בצעה עבורנו את תיאום הדיגומים, ביצועם, משלוח הדוגמאות למעבדות והקשר מול המעבדה בארה"ב. כמו כן, סייעה בפיתוח שיטת הדיגום.

מזהמי מים מקבוצת PFAS (Per- and PolyFluoroAlkyl Substances) נמצאו בשנים האחרונות ברחבי העולם במקורות מים ובמערכות אספקת מי שתייה מהם שותים מיליוני בני אדם. חשיפה לחומרים אלו במי שתייה מהווה סיכון בריאותי ממשי (פגיעה בגדילת העובר, פגיעה במערכת החיסונית, הגברת סיכון לתחלואה בסרטן ועוד) החל בריכוזים נמוכים ביותר. תרכובות PFAS, בשל תכונותיהן הייחודיות, משמשות בטווח רחב מאוד של יישומים – ציפויי מחבתות וסירים, תוספים דוחי שמן ומים לבדים, חומרים מעכבי בערה וכיבוי אש ועוד. היישום בעל ההשלכות הסביבתיות הכי משמעותיות הוא קצף כיבוי המשמש לכיבוי שריפות של נזלים דליקים, בו עושים שימוש בכיבוי של תשתיות ומכלי דלק וכן כיבוי בעולם התעופה האזרחי והצבאי. משפחתמשפחת חומרים זאתזאת מכונה 'מעכבי בערה'. בשנים האחרונות, מעכבי הבערה החלו לקבל תשומת לב בשל גילוי השפעות בריאותיות קשות בחשיפה אליהם בעיקר במי שתייה, לאחר שעשרות שנים הם נחשבו כבטוחים לחלוטין לשימוש. המודעות לנושא בישראל נותרה נמוכה עד לאחרונה והשימוש בחומרים ממשפחה זאת לא נתפס כבעל סיכון. בהתאמה, אין התייחסות מפורשת למשפחה זאת בפקודת החומרים המסוכנים. נכון להיום, המדינה היחידה בעולם שקבעה תקן מחייב למי שתייה לחומרים ממשפחה זו היא קנדה שקבעה ריכוז מירבי מותר של 600 ננוגרםלליטר (ppt) של PFOS ו- 200 ננוגרםלליטר של PFOA. במהלך יולי 2020, אימצה הוועדה המייעצת לתקני מי השתייה של משרד הבריאות, המלצה לתקן מי שתייה לשתי תרכובות אלה בהתאם לריכוזים שנקבעו בתקן הקנדי. החלטה זו התבססה, בין השאר, על סקר שערכה רשות המים לבדיקת נוכחות של קבוצת מזהמים זאת במקורות המים ובקידוחי הפקה בישראל, במחצית הראשונה של שנת 2020. להלן עיקרי ממצאי הסקר -

1. ריכוזי מעכבי בערה בקידוחי הפקת מי שתייה שנדגמו במהלך הסקר, היו נמוכים מאוד ביחס לריכוזלא הגיעו אף ל- 60% מהערך המומלץ לתקן מי שתייה שאימץ משרד הבריאות.
2. נמצא קידוח מי שתייה בודד אליו הגיעו ריכוזים משמעותיים של מזהמי PFAS, שמקורם ככל הנראה במתקן אימון כיבוי אש סמוך. גם בקידוח זה ריכוז המזהמים מגיע לכמחצית מתקן מי השתייה המומלץ בלבד.
3. נמצאו ריכוזים גבוהים מאוד של מזהמי PFAS תחת אתרי תשתית דלק בהם כובו שריפות דלק גדולות באמצעות קצף כיבוי.
4. נמצאו ריכוזים נמוכים ומקומיים של מזהמי PFAS תחת אתרי סילוק פסולות במקומות שונים בארץ.
5. נמצאו ריכוזים בינוניים של מזהמי PFAS בקידוח ניטור בתוך שדה תעופה צבאי וכן בקידוחי הפקה סמוכים לשדות תעופה - צבאי ואזרחי.

בשל הרכבם המיוחד של חומרים אלו וריכוזי הגילוי והכימות הנמוכים הדרושים, ישנו קושי בביצוע אנליזות מעבדה אמינות לחומרים אלו ואין אף מעבדה בישראל בעלת יכולות ביצוע אנליזות מתאימות. בשל כך, נשלחו כל דוגמאות המים שניטלו במסגרת סקר זה למעבדה מוסמכת בארה"ב ובמקביל נשלחו הדוגמאות למעבדת רשות המים שפיתחה בתקופה זאת שיטה ברמת אמינות טובה גם לטווח הריכוזים הנמוכים בסדר גודל מההמלצה לתקן מי השתייה. עם זאת, המכשור הקיים במעבדה אינו מאפשר בדיקה אמינה ברמה הדרושה להסמכה לבדיקות מי שתייה.

הפעולות הננקטות כחלק ממאמץ משולב של משרדי הבריאות, הגנה"ס ורשות המים וכהמשך לתוצאות סקר זה –

- א. ניתוח הממצאים האפידמיולוגיים והרגולציה הרלוונטית הקיימת והמתהווה בעולם לצורך אימוץ תקן מי שתייה בישראל לחומרי PFAS (משרד הבריאות).
- ב. ביצוע סקר הכולל עשרות בודדות של דוגמאות מים מקידוחי הפקת מי שתייה הנמצאים באזורים להם פוטנציאל מסוים להגעת זיהום מרכיבי PFAS (משרד הבריאות ורשות המים).
- ג. ביצוע סקר שימושים וניתוח סיכונים להגעת חומרים אלו לסביבה, במטרה להוות בסיס לחקירות סביבתיות ממוקדות וכן קרקע ליצירת מתווה רגולטורי מקיף המתייחס לשימוש בחומרים אלו במגוון היישומים הקיים (המשרד להגנה"ס).
- ד. בחינה ממוקדת של אופני סילוק רכז קצף כיבוי שתוקפו פג, על מנת למנוע פגיעה במהלך הסילוק.
- ה. העלאת מודעות בקרב המשתמשים, לסיכונים הכרוכים בשימוש בקצף כיבוי – הן הבריאותיים לצוותי הכיבוי והן הסביבתיים.
 - ו. בחינת האפשרות להכללת מרכיבי PFAS, בפקודת החומרים המסוכנים.
 - ז. בחינת האפשרות להגבלת שימוש במרכיבי PFAS, במגוון היישומים בהם ישנם תחליפים זמינים, בדומה למדינות מערביות רבות.
 - ח. מאמץ ליצירת יכולות מעבדתיות לביצוע אנליזות אמינות לחומרים אלו בסביבה, במעבדות רשות המים ומשרד הבריאות (בעיקר רכש ציוד אנליטי מתאים ולצדו פיתוח שיטות עבודה).
 - ט. ביצוע חקירת מי תהום באתר היחיד שנמצא כרגע כמסכן באופן ממשי קידוח הפקת מי שתייה.
 - י. בחינת האפשרות לביצוע פיילוט לטיפול במרכיבי PFAS במים (רשות המים באמצעות חברת מקורות).

1. רקע

1.1. רקע כללי

מזהמי מים שמקורם בחומרים מעכבי בערה, נמצאים בשנים האחרונות במוקד התעניינות מחקרית ורגולטורית בעולם בשל רעילותם הרבה אף בריכוזים נמוכים מאוד במי שתייה. בשנים האחרונות נמצאו ריכוזים משמעותיים של חומרים אלו במי התהום ואף במי שתייה, במספר לא מבוטל של אתרים בארה"ב ובאירופה.

משפחת החומרים בהם עוסק דו"ח זה יכולה לצרכינו 'חומרים מעכבי בערה', על אף שמשפחת חומרים זאת משמשת ליישומים רבים ומגוונים, לצד היישום המרכזי – תוסף כימי המסייע בכיבוי שריפות. המשפחה הכימית אליה משתייכים חומרים אלו, היא פחממנים המותמרים על ידי קבוצות פלאור מרובות - Per- and PolyFluoroAlkyl Substances (PFAS).

במשפחה זאת, אלפי חומרים בעלי תכונות מגוונות המאפשרות דחיית שמן, מים וכתמים וכן עמידות כימית וטרמית גבוהה, השפעה על תכונות מתח פנים ועוד. תכונות אלו מאפשרות שימוש נרחב בתעשיית ציפויי כלי בישול כדוגמת ציפוי טפלון המוכר, דחיית שמן ומים על ידי אריגים הספוגים בחומרים אלו, כדוגמת Gore-Tex, תוסף מעכב בערה לאריגים ומזרונים, שימוש בתעשיות האלקטרוניקה ועוד. השימוש המרכזי בחומרים אלו שכלל הנראה גורם לזיהום הסביבתי המשמעותי ביותר הוא קצף כיבוי אש ולצדו התעשייה המייצרת חומרים אלו.

שריפות גדולות המערבות בערה בטמפ' גבוהות מאוד, לא יכולות להיות מכובות באמצעות מים בלבד. בכיבוי שריפה של נזלים דליקים, עושים שימוש בקצף כיבוי – מים המעורבים באחוזים בודדים של רכז חומר פעיל, היוצרים יחד בעת התזתם מזרנוקי הכיבוי קצף סמיך המקרר את הדלק הבוהר ובעיקר מבודד את חומר הבערה מהגעת חמצן מהאוויר ובכך 'חונק' את האש. החומרים הנפוצים ביותר ששימשו לתכלית זאת מאז שנות ה-50 של המאה ה-20, משתייכים לקבוצת חומרי ה-PFAS. בתחילת שנות ה-2000, החלו להתפתח שיטות אנליטיות המאפשרות לגלות ולכמת חומרים אלו במים ובשנים האחרונות השתכללו ונפוצו שיטות אנליטיות אלו, יחד עם ההבנה שחומרים אלו הם בעלי פוטנציאל פגיעה בריאותית בריכוזים נמוכים מאוד.

שני חומרים ממשפחה זאת - Per-FluoroOctanoic Acid - i Per-FluoroOctaneSulfonate (**PFOS**) והן מהווים את מוקד תשומת הלב המחקרית והרגולטורית בשל תפוצתם הרחבה, הן כחומרי מוצא ביישומים נרחבים והן בהיותם 'קצה שרשרת' פירוק טבעי (כימי ומיקרוביאלי) בסביבה, עבור מאות תרכובות שונות בהן עושים שימוש ועל כן הם מהווים אינדיקציה לנוכחות מספר רב של חומרי מוצא ותוצרי ביניים של פירוק בתנאי סביבה שונים.

במקורות מים ברחבי העולם – בעיקר בארה"ב, אוסטרליה ואירופה נמצאו זיהומי PFAS במערכות אספקת מי שתייה שדרכם נחשפו באופן מתמשך מיליוני צרכנים לריכוזים משמעותיים של מזהמים אלו.

במהלך העשור האחרון, מדינות רבות בעולם המערבי החילו כללים המגבילים ואף אוסרים על שימוש במרכיבי PFAS שונים, כאשר בראשם עומדות שתי התרכובות שצוינו לעיל.

1.2. רקע טוקסיקולוגי-אפידמיולוגי של מרכיבי PFAS במי שתייה והמלצה לתקן מי שתייה

התייחסות לנושא נוכחות מרכיבי PFAS במי השתייה, עלה בוועדה המייעצת לתקני מי השתייה, המרוכזת במשרד הבריאות. להלן מובא תמצית הרקע הטוקסיקולוגי והרגולטורי שניתן על ידי ד"ר תמר ברמן - הטוקסיקולוגית הראשית של המערך הארצי לבריאות הסביבה במשרד הבריאות.

מחקרים בחיות מעבדה הראו כי חשיפה ל PFAS גורמת להשפעות על משקל הכבד, דיכוי של מערכת החיסונית וכן השפעות על התפתחות העובר (כולל ירידה במשקל לידה). מחקרים בבני אדם, בקרב אנשים שצרכו מי שתייה מזוהמים ב PFOA במשך לפחות שנה, הראו כי קיימת עלייה בסיכון לכולסטרול גבוה, פגיעה בבלוטת התריס, סרטן האשכים והכליה, השמנה בילדים, ירידה בתקופת ההנקה וכן יתר לחץ דם בהריוןⁱⁱ. בנוסף מחקרים בבני אדם מעידים על השפעות על הכבד, מערכת אימונית (חסינות וייצור נוגדנים), והשפעות על התפתחות (משקל נמוך, השפעות על השלד)ⁱⁱⁱ.

נכון להיום, מספר גדול של רשויות רגולטוריות בעולם גבשו ערכי סף במי שתייה למזהמים מקבוצת ה-PFAS, אך מעטות קבעו תקינה מחייבת. למרות ריבוי המחקרים וממצאים על השפעות בריאותיות בבני אדם, ערכים אלו מחושבים על בסיס ממצאים בחיות מעבדה.

טבלה 1: מדיניות של גופים רגולטורים ומייעצים, לגבי ריכוז מירבי של PFAS במי שתייה

גוף רגולטורי/ מייעץ	ערך סף/ תקן מחייב	מזהמים מקבוצת PFAS	ערכים (ננוגרם/ליטר)	בסיס טוקסיקולוגי
Environmental Protection Agency	Health advisory + הצהרה על כוונה לקבוע תקן מחייב בשנים הקרובות	PFOA	70	פגיעה בכבד
		PFOS	70	ירידה במשקל גוף
European Union	הצהרה על כוונה לקבוע תקן מחייב בשנים הקרובות	PFAS	100 for individual PFAS 500 for PFASs total	-- גישה לקבוצות של כימיקלים, בדומה לחומרי הדברה
World Health Organization Europe	המלצה	PFOA	400	השפעות על הכבד
		PFOS	400	השפעות על הורמונים בלוטת התריס, שומנים / כולסטרול
Health Canada	תקינה מחייבת	PFOA	200	השפעות על הכבד
		PFOS	600 (+ ערך סכומי)	השפעות על הכבד

משרד הבריאות המליץ לאמץ את התקינה הקנדית כערכי סף להערכה של ממצאי הסקר הנוכחי, בהתייחס למקורות מי שתייה. זאת מכיוון שמדובר בערכים מחייבים (לעומת ערכים שאומצו באופן וולונטרי או הצהרתי על ידי גופים אחרים). כמו כן, הוועדה המייעצת לתקני מי שתייה, אימצה את המלצת וועדה המשנה הכימית, לבחינה של כשנתיים את אימוץ ערכים אלו, כתקן מחייב במי שתייה בישראל.

בהתייחס לכל הנתונים לעיל, משרד הבריאות החליט כי בקידוחים בהם יימצא ריכוז גבוה מ- 60% מערך הסף, ספק המים יידרש לבדיקה חוזרת ולבדיקת קידוחים נוספים באזור, העלולים להיות מושפעים מאותו מקור זיהום. במידה ותמצא חריגה מהתקן המומלץ, המשך הפעלת הקידוח יהיה בתנאי לבחינה של טיפול להרחקת המזהם.

1.3. מקורות הזיהום ומבנה הסקר

מקורות זיהום מי תהום המרכזיים במעכבי בערה המוכרים ברחבי העולם הם: תעשייה יצרנית של מוצרים מבוססי מרכיבי PFAS, כיבוי שריפות דלק גדולות, שדות תעופה צבאיים ואזרחיים, אתרי אימון כיבוי אש מרכזיים ומטמנות.

קצף כיבוי, גורם זיהום מי התהום העיקרי במעכבי בערה, מגיע למי התהום במס' תרחישים מרכזיים -

- א. כיבוי שריפות דלק גדולות (בתי זיקוק, חוות מכלי דלק וכו').
- ב. אימון כיבוי אש בקצף (אימוני כיבוי אש בשדות תעופה בעיקר צבאיים ואתרי אימון כיבוי אש מרכזיים).
- ג. 'הצפת' מסלולי נחיתת מטוסים בקצף כיבוי, כפעולה מונעת שריפה טרם ביצוע נחיתות אונס.
- ד. מערכי כיבוי אש, בתעשייה העושה שימוש בנפחים גדולים של נוזלים דליקים (בדרך כלל ממסים).

מהלך הלימוד וחקירת הנושא, שנמשך ביתר שאת לאחר תום ביצוע סקר מי התהום הנוכחי, העלה מספר תובנות נוספות: בעייתיות בסילוק רכז קצף כיבוי שתוקפו פג לאחר כ- 6 שנים וייתכן והוא מהווה מקור מרכזי לזיהום סביבתי (שפכים תעשייתיים, קרקע ומי התהום) וכן השימוש במערכות כיבוי בקצף במפעלי תעשייה (סעיף ד' לעיל). בנוסף למדנו כי ישנה בארץ תעשייה יצרנית של קצפי כיבוי. הטיפול בזיהום מי התהום במעכבי בערה, בדומה לטיפול בזיהומים סביבתיים באופן כללי, דורש התייחסות מערכתית למעגל החיים המלא של חומרים אלו – ייצור, הפצה, אחזקה, שימוש ופתרון קצה למוצרים פגי תוקף.

רשות המים, בעקבות המידע הרב שהצטבר במהלך העבודה על נושא זה בחודשים האחרונים, חברה משמעותית בצוות בין-משרדי בו שותפים משרדי הבריאות והגנה"ס, העוסק בכלל היבטי הנושא. סקר זה התמקד בדיגום קידוחים קיימים, באתרים בהם נותח שישנו הפוטנציאל הגבוה ביותר להגעת מעכבי בערה אל מי התהום.

בהתאם למיקוד זה, נדגמו קידוחי ניטור והפקה בתוך ובסמוך לאתרי שריפות דלק גדולות שהתרחשו בשנים האחרונות (בתי הזיקוק בחיפה ובאשדוד), שדה תעופה אזרחי (נתב"ג) וצבאי (חצור), אתרי אימון כיבוי אש (המרכז לבטיחות אש והערכות למצבי חירום בקיסריה ובית הספר הארצי לכיבוי והצלה בראשל"צ) ומספר מטמנות ברחבי הארץ. בנוסף נדגמו קידוחים בסביבת 2 מפעלי תעשייה ביטחונית (ת.א.ת באזה"ת בני ראם וסייקלון בסמוך לכרמיאל).

תוצאות סקר זה, נוסף על איתור פלומות זיהום והגנה על מערכת מי השתייה הארצית, משקפות באופן ראשוני את התוצאות הסביבתיות של ייצור ושימוש בלתי מודע ומבוקר בחומרים מעכבי בערה בישראל.

2. מטרת העבודה

עבודה זאת מהווה סקירה ראשונה של הימצאות חומרים ממשפחת מעכבי בערה – PFAS, במקורות המים בישראל.

להלן מטרת הסקר –

2.1. ניטור חד פעמי (snap-shot) של מזהמי PFAS במי התהום, במוקדים בהם נותח פוטנציאל גבוה להימצאותם – מתקני דלק גדולים, שדות תעופה, מתקני אימון כיבוי אש, מטמנות ותעשייה.

2.2. ניטור חד פעמי של קידוחי הפקה סביב מוקדי זיהום.

2.3. אימות ומתן מסגרת ליכולות גילוי וכימות תרכובות PFOS ו-PFOA על ידי מעבדת רשות המים, במגבלות הציוד הקיים.

2.4. מתן בסיס לתכנית ניטור מורחבת של מזהמי PFAS במקורות מים ובקידוחי הפקה.

בנוסף, ממצאי דו"ח זה ישמשו כחלק מהרקע המקצועי לדיון בתקני מי שתייה עבור חומרים אלו בישראל וכן להחלטות בנוגע להרחבת חקירות סביבתיות (על ידי או בהנחיית רשות המים והמשרד להגנת הסביבה), הממוקדות באתרים בהם יתגלה זיהום.

3. שיטה

הסקר בוצע בשני שלבים עקרוניים –

3.1. ניטור תרכובות PFAS במי תהום שנדגמו בקידוחי ניטור קיימים, במוקדים פוטנציאליים לזיהום - בתי זיקוק, חוות מכלים, שדות תעופה, מטמנות ותעשייה ביטחונית.

3.2. ניטור מזהמי PFAS במתקני הפקת מי שתייה בקרבת מוקדי זיהום שאותרו בשלב הראשון ובמספר מוקדים אפשריים נוספים.

הדוגמאות ניטלו עבור רשות המים על ידי חברת LDD, על פי פרוטוקול שיפורט להלן ושוגרו במקביל לביצוע אנליזות במעבדת con-test® במסצ'וסטס, ארה"ב המוסמכת לביצוע אנליזות PFAS במי שתייה ולמעבדת רשות המים.

3.3. פרוטוקול הדיגום

פרוטוקול דיגום מי התהום לצורך אנליזת PFAS, מבוסס על שיטות דיגום סטנדרטיות של קידוחי ניטור והפקת מים לצורך אנליזת מזהמים במי שתייה. הדגש הנוסף המרכזי בדיגום PFAS הוא מניעת חשיפת דוגמת המים לחומרים המכילים תרכובות פלואור, העלולות ליצור הפרעה לביצוע אנליזת התרכובות המופלרות, אותן אנו מחפשים. דיגום קידוחי הניטור בוצע באמצעות משאבת LowFlow וצנרת HDPE או פוליפרופילן (לא טפלון) שנשטפו מס' פעמים במים מזוקקים נקיים מ-PFAS. ציוד המגן של הדוגמים (כפפות ניטריל מיוחדות) גם הוא צריך להיות נקי מ-PFAS והדוגמאות אוחסנו בבקבוקי פוליפרופילן 250 מ"ל. פרוטוקול הדיגום המלא נכתב על ידי חברת LDD בהתייעצות עם מעבדת con-test ובאישור רשות המים..

3.4. אנליזות מעבדה

דוגמא מכל מקור מים פוצלה בשטח לכלי דיגום כפולים - עבור מעבדת con-test® בארה"ב ועבור מעבדת רשות המים. מעבדת רשות המים ביצעה אנליזות לחומרים PFOS ו-PFOA בלבד. האנליזות בוצעו שלא תחת הסמכה ובמגבלת ציוד אנליטי שאיננו מותאם למדידת ריכוזי תרכובות מופלרות

בריכוזים נמוכים. הדוגמאות עברו תהליך מיצוי וריכוז בשיטת מיצוי בפאזה מוצקה (SPE) ונבדקו במכשיר LC-MSMS בהתבסס על שיטת EPA 537.1.

מעבדת con-test® ביצעה אנליזות ל- 18 תרכובות PFAS שהיא אנליזה סטנדרטית במי שתייה בארה"ב. האנליזות בוצעו בהתאם לשיטת EPA 537.1 לאנליזת מזהמי PFAS במי שתייה (DETERMINATION OF SELECTED PER- AND POLYFLUORINATED ALKYL SUBSTANCES IN DRINKING WATER BY SOLID PHASE EXTRACTION AND LIQUID CHROMATOGRAPHY/TANDEM MASS SPECTROMETRY (LC/MS/MS) בדוגמאות המים שניטלו מקידוחי הפקה ובשיטת SOP 434-PFAAS המבוססת על EPA 537.1 במים שאינם מי שתייה (Determination of Selected Perfluorinated Alkyl Acids (PFAS) by Solid Phase Extraction & Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (LC/MS/MS) in Non-Potable Water), בדוגמאות שניטלו מקידוחי ניטור.

4. ממצאים

בדו"ח זה מוצגות תוצאות סקר ראשוני להמצאות חומרים מעכבי בערה בערה במקורות מים ובקידוחי הפקה בישראל.

הדו"ח מתייחס בעיקר לממצאי שתי תרכובות ממשפחה זאת – PFOS ו-PFOA. כפי שפורט בהקדמה לעיל, ערכי ההתייחסות בהם נעשה שימוש בדו"ח זה הם הערכים שאומצו על ידי משרד הבריאות כערכי סף זמניים במי שתייה - 200 ו-600 ננוגרם/ליטר עבור PFOA ו-PFOS, בהתאמה.

ממצאי הדו"ח המרכזיים, נוגעים למעשה לשני חלקיו – הראשון, איכות מי התהום כפי שנמדדו בקידוחי ניטור והפקה תעשייתית במספר אתרים, בהם הוערך כי ישנו פוטנציאל גבוהה להגעת מזהמים אלו למי התהום (Hot Spots) והשני, איכות מים בקידוחי הפקת מי שתייה שנדגמו בקרבת האתרים המהווים פוטנציאל גבוה לזיהום מי תהום.

כאמור לעיל, נדגמו קידוחי ניטור קיימים בארבעה טיפוסים אתרים המהווים פוטנציאל משמעותי לזיהום מי תהום בתרכובות PFAS – מתקני דלק גדולים, מטמנות, שדה תעופה ואתרי תעשייה צבאית. בשלב השני נערך סבב ניטור קידוחי הפקה בקרבת אותם מוקדי זיהום שאותרו וכן בקרבת מספר אתרים נוספים בעלי מאפייני פעילות דומים.

טבלה 2: ריכוזי מזהמי PFAS (בריכוז של ננוגרם/ליטר) בקידוחי ניטור באתרים תעשייתיים

אפיון אתר	אתר	PFOS	PFOA	PFBS	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFNA
בתי זיקוק	בד"ן חיפה NT30	21,000	590	310	1,400	19,000	170	-
	בד"ן חיפה נש12	230,000	1,700	13,000	16,000	64,000	640	-
	פי גלילות חיפה	3,300	600	800	770	28,000	110	-
	פז בתי זיקוק אשדוד A103	600,000	25,000	13,000	41,000	100,000	4,900	-
	פז בתי זיקוק אשדוד N23	75,000	1,300	1,100	3,300	23,000	300	-
	פ נח ב זקוק אשדוד ת/2	540	120	62	290	460	20	-
מטמנות	מטמנת עברון קנ1	6	-	-	-	2	-	-
	מטמנת עברון ער10	17	6	-	15	6	-	-
	נפ בני ברק 1	-	17	14	14	57	6	-
	בני ציון (W1 מטמנת רעננה)	81	130	44	48	98	20	-
	בני ציון (W2 מטמנת רעננה)	-	5	20	22	2	2	-
	הוד השרון	-	38	7	15	4	-	-
	מטמנת רתמים 8	450	100	28	36	150	8	-
	מטמנת רתמים 7	300	45	36	19	60	5	-
תעשייה	נת מבצע 2	-	-	-	13	-	-	-
	נת סייקלון מערב	9	47	5	14	15	10	3
שדה תעופה	בסיס חצור	140	4	2	-	150	-	-

טבלה 3: ריכוזי מזהמי PFAS (בריכוז של ננוגרם\ליטר) בקידוחי הפקה ומקורות מים

אתר	PFOS	PFOA	PFBS	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFNA
המלצה לערך ייחוס	600	200	-	-	-	-	-
מק נח קיסריה 6	330	17	19	69	160	5.6	-
מק חולון 14	-	-	-	-	-	-	-
שאיבת מי כנרת לעיר טבריה	3	-	-	-	2	-	-
מק שפלת לוד 16	58	6	4	13	46	5	4
פ יסעור הקיבוץ	-	-	-	-	-	-	-
פ בני ברק ט לפני טיפול	-	3	-	4	7	-	-
פ בני ברק ט אחרי טיפול	-	-	-	-	-	-	-
פ בת ים ח לפני טיפול	-	-	-	-	-	-	-
פ פארק רשל"צ 2	4	-	3	7	11	-	-
מק נקז מזרחי 16	3	-	2	7	12	2	-
פ חצור קיבוץ ב	-	2	5	8	15	-	-
מק יבנה 413	94	75	30	89	150	10	-
פ שפיים ו	-	-	-	-	-	-	-
פ נטע חב	-	-	-	-	-	-	-
מק שקמה 5	-	-	-	-	-	-	-

4.1. מתקני דלק

נדגמו קידוחי ניטור במתחמי בז"ן ופי גלילות באזור מפרץ חיפה ופז בתי זיקוק אשדוד (פז"א), באזור התעשייה הצפוני של אשדוד. אתרים אלו נבחרו לניטור מעכבי בערה מכיוון שבחוות מכלי דלק מאוחסנים דרך קבע כמויות גדולות של תרכיזי קצף כיבוי המיועדים לכיבוי שריפות במכלי הדלק הגדולים וכן במתקנים התעשייתיים לזיקוק. בבז"ן חיפה (דצמבר 2016) ופז"א (אוגוסט 2017) אף נעשה שימוש מסיבי בקצף לכיבוי אירועי שריפה גדולים. לא ידוע כעת מהו הרכב קצפי הכיבוי בהם נעשה שימוש לשם כיבוי שריפות אלו.

בטבלה 2 מרוכזות תוצאות ניטור מי התהום שבוצעו בקידוחי ניטור באתרים שונים. ניתן לראות ריכוזים גבוהים מאוד של מזהמי PFAS, בחוות מכלי הדלק הגדולות ומתקני זיקוק דלק – בתי זיקוק נפט בחיפה ובאשדוד ובפי גלילות חיפה. ריכוזי PFOS של עד 230,000 ו- 600,000 ננוגרם\ליטר וריכוזי PFOA של 1,700 ו- 13,000 ננוגרם\ליטר בבז"ן חיפה ובפז בתי זיקוק אשדוד (פז"א), בהתאמה. בקידוחי הניטור באתר פי גלילות חיפה נמצאו ריכוזים נמוכים יותר של 3,300 ו- 600 PFOS ו- PFOA ננוגרם\ליטר, בהתאמה. מזהמים נוספים מקבוצת PFAS נמצאו גם הם בריכוזים משמעותיים בקידוחי הניטור בחוות המכלים.

בקרבת מתקנים אלו לא קיימת הפקת מי שתייה.

מזרחית למתקני הדלק הגדולים באזור התעשייה הצפוני באשדוד, מצוי שדה החדרת מי הקולחין של מפעל השפד"ן (שלב ליטוש הקולחין של מפעל ההשבה – Soil Aquifer Treatment – SAT). קידוח 'מק יבנה 413' המשמש כקידוח הפקה בטבעת החיצונית של אגן ההחדרה של מפעל השפד"ן, מפיך מים מושבים באיכות מעולה להשקיה מעומק של כ- 80 מ'. הקידוח ממוקם כ- 300 מ' צפון מזרחית לחוות

מכלי הדלק 'פי גלילות אשדוד' וכ- 1,000 מ' ממתחם פז"א. בקידוח נמצאו ריכוזים של 94 ו- 75 ננוגרם/ליטר של PFOS ו- PFOA, בהתאמה. נראה כי הקידוח 'מושך' אליו פלומת זיהום מי תהום שהמוקד שלה הוא תחת חוות המכלים, אך לא ניתן לקבוע זאת באופן חד משמעי. קידוח 'מק שקמה 5' הממוקם סמוך מאוד לחוות מכלי הדלק הגדולה של קצא"א באזור התעשייה הדרומי של אשקלון (לא נדגמו קידוחי ניטור באתר זה כחלק מהסקר), הוא קידוח הפקת מי שתייה היחיד שנדגם בקרבת מתקן דלק גדול. בקידוח לא נמצאו שרידי מזהמי PFAS במים.

4.2. מטמנות

קידוחי ניטור מי תהום במס' מטמנות ברחבי הארץ, נבחרו לייצג את מצב מי התהום תחת מטמנות בארץ. ניתן לראות כי בכלל המטמנות שנבחנו, נמצאו עקבות מזהמי PFAS, אם כי בדרך כלל בריכוזים נמוכים מאוד.

מטמנת רתמים הממוקמת באזור התעשייה הצפוני של אשדוד (מצפון לאתר פז"א), פעלה החל בשנות ה- 60 של המאה ה- 20 ועד שנת 2003. באתר הוטמנו פסולות מעורבות של העיר אשדוד וכן פסולות תעשייתיות וכימיות וכעשור לאחר סגירתה פרצו בה ספונטנית שריפות שדרשו התערבות של המשד להגנת הסביבה. בשני קידוחי ניטור שנדגמו במהלך הסקר, נמדדו ריכוזים של עד 450 ו- 100 ננוגרם/ליטר של PFOS ו- PFOA, בהתאמה. אזור רתמים איננו מהווה עתודת הפקת מי תהום לשתייה, אך באזור ישנה הפקת מי קולחין להשקיה (טבעת קידוחי ההפקה החיצונית של אתר ההחדרה – שפד"ן).

תחת מטמנת בני ציון ברעננה נמצאו ריכוזים לא מבוטלים של – 81 ו- 130 ננוגרם/ליטר של PFOS ו- PFOA, בהתאמה. בקידוח הפקת מי שתייה 'פ שפיים ו', הממוקם כ- 800 מ' צפון מערבית למטמנה, לא נמצאו שרידי מזהמי PFAS.

תחת מטמנת הוד השרון נמצא ריכוז של 38 ננוגרם/ליטר של PFOA ותחת המטמנה הישנה בבני ברק נמצא ריכוז PFOA של 17 ננוגרם/ליטר. תחת מטמנת עברון הממוקמת דרום מז' לנהריה, נמצאו ריכוזים נמוכים של עד 17 ו- 6 ננוגרם/ליטר של PFOS ו- PFOA, בהתאמה.

קידוח 'פ בני ברק ט' המפיק מי שתיה (לאחר טיוב) מאקוויפר החוף מעומק של כ- 45 מ', ממוקם כ- 290 מ' מערבית לקידוח 'נפ בני ברק 2' המנטר את אתר ההטמנה הסמוך. במי הגלם המופקים בקידוח נמצאו ריכוז PFOS מזערי של 3 ננוגרם/ליטר ובמים שנדגמו לאחר תהליך הטיוב, לא נמצאו שאריות מזהמי PFAS.

4.3. מתקני אימון כיבוי אש

במתקנים ייעודיים לאימון כיבוי אש בישראל, אין קידוחי ניטור למי התהום. במהלך הסקר נדגמו קידוחי הפקת מי שתייה בקרבת שני מתקני אימון כיבוי אש מרכזיים – בית הספר הארצי לכיבוי והצלה של הרשות הארצית לכיבוי והצלה בראשל"צ והמרכז הארצי לבטיחות אש והערכות למצבי חירום הסמוך לקיסריה.

קידוח 'פ פארק ראשל"צ 2' ממוקם בצמידות לבית הספר לכיבוי והצלה, מפיק מי שתייה מאקוויפר החוף, מעומק של כ- 90 מ'. בקידוח אותרו ריכוזים נמוכים מאוד של מזהמי PFAS במים (4 ננוגרם/ליטר של PFOS). הדבר יכול לנבוע מהעומק היחסית גדול ממנו מופקים המים בקידוח או מאופי ולאו עצימות האימונים באתר.

קידוח 'מק קיסריה 6' המפיק מי שתייה מאקוויפר החוף בעומק של כ- 30 מ', ממוקם כ- 300 מ' ממערב למרכז הארצי לבטיחות אש והערכות למצבי חירום חירום. בקידוח נמדדו ריכוזי PFOS ו- PFOA של 330 ו- 17 ננוגרם לליטר. זוהי למעשה רמת הזיהום הגבוהה ביותר שנמדדה בקידוח הפקת מי שתייה במהלך הסקר כולו. ריכוז ה- PFOS שנמדד בקידוח, מהווה כ- 55% מערך הסף הזמני למי שתייה, שאומץ על ידי משרד הבריאות.

4.4. שדות תעופה

שדות תעופה ובעיקר אלו הצבאיים, מוכרים במקומות רבים בעולם כגורם זיהום מאוד משמעותי של תרכובות PFAS במי התהום, ככל הנראה בשל החזקת נפחים גדולים של תרכיזי קצף כיבוי ובשימוש אינטנסיבי בהם במהלך אימונים וכפרקטיקה של מניעת שרפות כהכנה ל'נחיתות אונס'. במהלך הסקר, נדגם קידוח ניטור בודד בבסיס חיל האוויר חצור, בו פועל שדה תעופה צבאי משנת 1942, תחילה כבסיס בריטי ואח"כ כשדה תעופה מרכזי של חיל האוויר הישראלי. בנוסף, נדגמו 2 קידוחי הפקה בקרבת בסיס חצור וכן קידוח הפקה נוסף בסמוך לנתב"ג.

בקידוח ניטור בבסיס חצור נמדדו ריכוזי PFOS של 140 ננוגרם לליטר. בקידוח 'מק נקז מזרחי 16', המפיק מים מליחים מעומק של כ- 70 מ' באזור שוליו המזרחיים של אקוויפר החוף, ממוקם כ- 500 מ' מדרום למתחם בסיס חיל האוויר חצור ובקידוח הפקת מי השקיה 'פ חצור קבוץ ב' המפיק מים מעומק של עשרות מ', ממוקם מס' מאות מ' ממערב לבסיס (כ- 1,000 מ' ממערב לקידוח הניטור שנדגם בסקר קידוחי הניטור), נמצאו ריכוזים נמוכים של מזהמי PFAS – 3 ננוגרם לליטר של PFOS בקידוח הנקז ו- 2 ננוגרם לליטר של PFOA בקידוח החקלאי בקיבוץ חצור.

מכיוון שבסיס חיל האוויר בחצור משתרע על שטח גדול מאוד, קידוח הניטור שנדגם במהלך הסבב הראשון של הסקר נבחר באופן אקראי ועשוי לאפיין את שולי פלומת הזיהום או את המוקד שלו. מאידך, ישנה פעילות תעשייתית מחוץ לתחומי הבסיס, העלולה להוות גם היא מקור לזיהום המים שנמצא בקידוחי ההפקה.

קידוח 'מק שפלת לוד' המפיק מי שתייה מאקוויפר ירקת"ן מעומק של כ- 30 מ' מפני הקרקע, ממוקם כ- 500 – 1000 מ' מגדרות מתחמי התעשייה האווירית ונמל התעופה בן גוריון. בקידוח נמדדו ריכוזי PFOS ו- PFOA של 58 ו- 6 ננוגרם לליטר. בדומה להערה לעיל בנוגע לקידוחי ההפקה הסמוכים לבסיס חצור, גם ריכוזי המזהמים שנמדדו בקידוח 'מק שפלת לוד' עשויים לאפיין פלומת זיהום מי תהום שמקורו בפעילות התעשייתית הענפה באזור ולא דווקא בנתב"ג.

ממצאי דו"ח זה, נותנים תמונה מאוד חלקית וראשונית בנוגע לזיהום מי תהום שמקורו בשדות תעופה. נדרשת עבודת חקר היסטורי, הן בנוגע לחומרים המוחזקים בבסיסי חיל האוויר ובשדות תעופה אזרחיים והן בנוגע לאופי אימוני כיבוי אש במגזר זה בישראל בישראל.

4.5. תעשייה

המגזר התעשייתי הוא מגוון ביותר ועושה שימוש בטווח רחב ביותר של חומרי מוצא. כמו כן, כפי שפורט ברקע לדו"ח, ישנם מגזרים תעשייתיים המחויבים להחזיק מערכי כיבוי בקצף, בשל שימוש מסיבי בנוזלים דליקים (ככל הנראה, בעיקר ממסים). נושא זה לא היה ידוע לנו בעת תכנון וביצוע הסקר.

סקר זה עסק באופן ראשוני, אך ורק במפעלי תעשייה ביטחונית הקשורים בבניית חלקים לעולם התעופה. במהלך סקר זה נדגמו קידוחי ניטור בסמוך למפעל ת.א.ת (קידוח נת מבצע 2) באזור תעשייה בני ראם ובסמוך למפעל סייקלון באזור התעשייה בר-לב, הסמוך לכרמיאל.

בקידוח 'נת מבצע 2' הסמוך למפעל ת.א.ת, נמדדו 14 נוגרם־ליטר של תרכובת של PFHxA ובקידוח 'נת סייקלון מערב' הסמוך למפעל סייקלון, אותר ריכוז PFOA של 47 נוגרם־ליטר. בקידוחי ההפקה 'פ נטע חב' (המפיק מים מעומק של כ- 75 מ' מאקוויפר החוף וממוקם כ- 600 מ' מערבית לקידוח הניטור 'נת מבצע 2') ו'פ יסעור הקיבוץ' (המפיק מים מאקוויפר הגליל המערבי וממוקם כ- 1,500 מ' מערבית למפעל סייקלון) לא אותרו שרידי מזהמי PFAS.

נוסף לשני אתרים תעשייתיים אלו, נדגמו 2 קידוחי הפקה הממוקמים בלב אזורי תעשייה בהם זיהומי מי תהום מורכבים – 'מק חולון 14' באזה"ת חולון (מפיק מי שתייה מעומק של כ- 50 מ' מאקוויפר החוף) ו- 'פ בת ים ח' (מפיק מי שתייה לטיוב, מעומק של כ- 80 מ' מאקוויפר החוף) באזה"ת בת-ים. בקידוחי הפקה אלו, לא אותרו שרידי מזהמי PFAS במי התהום.

ההיקף המוגבל של סקר זה, אל מול המגוון העצום של מפעלים ותהליכים הקיימים במפעלי תעשייה, לא מאפשר להגיע לתובנות משמעותיות אל מול פוטנציאל הזיהום בתרכובות PFAS שמקורן בפעילות תעשייתית.

4.6. כנרת

במי כנרת שנדגמו במתקן שאיבת מי שתייה לעיר טבריה, נמצאו ריכוז נמוך של 3 נוגרם־ליטר PFOS. לא ידוע מקור אפשרי להגעת מרכיבי PFAS למי הכנרת.

5. סיכום, מסקנות והמלצות

דו"ח זה מציג את ממצאיו של סקר ראשון שנערך בישראל לנוכחות מזהמים ממשפחת מעכבי הבערה – PFAS במי התהום בארץ. הסקר בוצע בשני שלבים – דיגום קידוחי ניטור והפקה תעשייתית של מי תהום בלב אתרים להם פוטנציאל גבוה להוות מקור לזיהום: מתקני דלק גדולים, שדות תעופה, מתקני אימון כיבוי אש, מטמנות ואתרים תעשייתיים ולאחריו דיגום קידוחי הפקה בקרבת אותם מוקדים שזוהו בשלב הראשון וכן בקרבת מס' אתרים נוספים. במהלך הסקר, לא נמצא קדוח מי שתייה ובו ריכוזי PFAS הגבוהים מערכי הסף הזמניים למי שתייה שאומץ על ידי משרד הבריאות ואף לא לריכוזים הדורשים באופן רשמי המשך מעקב (60% מערכי הסף).

5.1. סיכום עיקרי הממצאים -

5.1.1. לא נמצא אף קידוח הפקת מי שתייה בישראל שריכוז מזהמי PFAS בו, חורג או קרוב לערך

המומלץ לתקן מי שתייה שאימץ משרד הבריאות.

5.1.2. נמצאו ריכוזים גבוהים מאוד של מזהמי PFAS במי התהום תחת בתי הזיקוק בחיפה ובאשדוד

- אתרי תשתית דלק בהם כובו שריפות דלק גדולות באמצעות קצף כיבוי.

5.1.3. נמצאו ריכוזים בינוניים של מזהמי PFAS בקידוח ניטור בסיס חיל האוויר בחצור וריכוזים נמוכים

בלבד של המזהמים בקידוחי הפקה בסביבת הבסיס.

5.1.4. נמצאו ריכוזים נמוכים של מזהמים בקידוחי הפקה סמוכים לנתב"ג. ייתכן ומקור זיהום זה איננו

בפעילות נתב"ג אלא בפעילות תעשייתית בסביבה.

5.1.5. נמצאו לכל הפחות שרידי מזהמי PFAS במי התהום תחת כל אתרי סילוק הפסולת שנדגמו

ובחלקם נמצאו ריכוזים משמעותיים יותר (רעננה ורתמים), נראה כי פלומות זיהום אלו אינן

מתפשטת למרחק משמעותי מהאתרים ובמרביתם מדובר בריכוזים נמוכים ביותר.

5.1.6. מתקני אימון כיבוי אש עשויים להוות גורם לזיהום מי תהום משמעותי – קידוח הפקת מי

השתייה היחיד בו נמצאו ריכוזי מזהמים משמעותיים (מק קיסריה 6), נמצא במרחק של כ-

300 מ' ממתקן אימון אזרחי לכיבוי אש.

5.1.7. נמצאו שרידי מזהמים בקידוחי ניטור הסמוכים לאתרי תעשייה צבאית בתחום התעופה.

שדות תעופה צבאיים ואזרחיים וכן פעילות תעשייתית עשויים להוות פוטנציאל לזיהום מי תהום

במרכיבי PFAS אך במסגרת עבודה זאת לא ניתן להסיק מסקנות כלליות בעניין.

5.2. המשך הפעולות בנושא -

משרדי הבריאות והגנה"ס, יחד עם רשות המים, עורכים מאמץ מתואם על מנת לחקור ולהסדיר נושא

זה בישראל. להלן עיקרי הפעולות המבוצעות בימים אלו על כלל הגופים המעורבים -

א. ניתוח הממצאים האפידמיולוגיים והרגולציה הרלוונטית הקיימת והמתהווה בעולם לצורך

אימוץ תקן מי שתייה בישראל לחומרי PFAS (משרד הבריאות).

ב. ביצוע סקר הכולל עשרות בודדות של דוגמאות מים מקידוחי הפקת מי שתייה הנמצאים

באזורים להם פוטנציאל מסוים להגעת זיהום מרכיבי PFAS (משרד הבריאות ורשות המים).

- ג. ביצוע סקר שימושים וניתוח סיכונים להגעת חומרים אלו לסביבה, במטרה להוות בסיס לחקירות סביבתיות ממוקדות וכן קרקע ליצירת מתווה רגולטורי מקיף המתייחס לשימוש בחומרים אלו במגוון היישומים הקיים (המשרד להגנה"ס).
- ד. בחינה ממוקדת של אופני סילוק רכז קצף כיבוי שתוקפו פג (לאחר כ- 6 שנים), על מנת למנוע פגיעה במהלך הסילוק.
- ה. העלאת מודעות בקרב המשתמשים, לסיכונים הכרוכים בשימוש בקצף כיבוי – הן הבריאותיים לצוותי הכיבוי והן הסביבתיים.
- ו. בחינת האפשרות להכללת מרכיבי PFAS, בפקודת החומרים המסוכנים.
- ז. בחינת האפשרות להגבלת שימוש במרכיבי PFAS, במגוון היישומים בהם ישנם תחליפים זמינים, בדומה למדינות מערביות רבות.
- ח. מאמץ ליצירת יכולות מעבדתיות לביצוע אנליזות אמינות לחומרים אלו בסביבה, במעבדות רשות המים ומשרד הבריאות (בעיקר רכש ציוד אנליטי מתאים ולצדו פיתוח שיטות עבודה).
- ט. ביצוע חקירת מי תהום באתר היחיד שנמצא כרגע כמסכן באופן ממשי קידוח הפקת מי שתייה.
- י. בחינת האפשרות לביצוע פיילוט לטיפול במרכיבי PFAS במים (רשות המים באמצעות חברת מקורות).

ⁱ Xindi et al. Detection of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in U.S. Drinking Water Linked to Industrial Sites, Military Fire Training Areas, and Wastewater Treatment Plants. *Environmental Science & Technology Letters* 2016

ⁱⁱ Guelfo et al. Evaluation and Management Strategies for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Drinking Water Aquifers: Perspectives from Impacted U.S. Northeast Communities. *Environmental Health Perspectives* 2018

ⁱⁱⁱ Environment Protection Agency. Drinking Water Health Advisories for PFOA and PFOS. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos>