

# ניתוח נתוני איכות מים עבור עמותת אזרחים למען הסביבה בגליל

המסמך הוכן על ידי ד"ר ערן פרידלר ופרופ' מיכל גרין  
במסגרת תוכנית ממש"ק - מחקר מדעי בשיתוף הקהילה  
מרכז צפורי, יער ירושלים

## אסופה זו מכילה:

- השוואה בין תקני איכות מי שתייה של ישראל, ארגון הבריאות העולמי (WHO), הסוכנות לשמירת הסביבה בארה"ב (US-EPA) והאיחוד האירופי (EU).
- ביאור של פרמטרים עיקריים המגדירים את איכות מי השתייה.

"ניתוח נתוני איכות מים עבור עמותת  
אזרחים למען הסביבה בגליל"

ד"ר ערן פרידלר - חואניקו ופרידלר - ים התיכון בע"מ

פרופ' מיכל גרין - הפקולטה להנדסה חקלאית, טכניון

## השוואה בין תקני איכות מי שתייה בישראל ובעולם

טבלה 1 משווה בין פרמטרים חשובים בתקני איכות מי השתייה בישראל, במדינות האיכות האירופי, בארה"ב (תקנות פדרליות של ה-US-EPA), וההמלצות של ארגון הבריאות העולמי. ניתן לראות כי עבור מרבית המרכיבים הריכוזים בתקן לאיכות מי שתייה בארץ עומדים בקריטריונים הבינלאומיים, אולם לגבי מרכיבים ספורים התקן הישראלי פחות מחמיר מהתקנים האירופאים \ ארה"ב.

**טבלה 1: תקני איכות מי שתייה - ישראל, האיחוד האירופי, ארה"ב וארגון הבריאות העולמי**  
מתבסס על: הלפרין (1998), (1998), EU, WHO, US EPA

SUBSTANCES	Units	ISRAEL	WHO	US-EPA	EU
ALACHLOR	µg/l	20	20	2	
ALDICARB	µg/l	10	10	7	
ARSENIC	µg/l	50	10	50	10
ATRAZINE	µg/l	2	2	3	
BARIUM	µg/l	700	700	2000	100
BENZENE	µg/l	10	10	5	1
BENZO (a) PYRENE -PAH	µg/l	0.7	0.7	0.2	0.010
BORON	µg/l		300.0		1000
BROMODICHLOROMETHANE	µg/l	100	60	100	
BROMOFORM	µg/l	100	100	100	
CADMIUM	µg/l	5	3	5	5
CARBON TETRAFLORIDE	µg/l	5	2	5	
CHLORDANE	µg/l	2	0.2	2	
CHLORIDE	mg/l	600		250	250
CHLORITE	µg/l	600	200		
CHLOROFORM	µg/l	100	200	100	
CHROMIUM TOTAL	µg/l	50	50	100	50
COPPER	µg/l	1400	2000	1300	2000
CYANIDE	µg/l	50	70	200	50
D 2,4-	µg/l	30	30	70	
DDT	µg/l	2	2		
DIBROMOCHLOROPROPANE	µg/l	1	1	0.2	
DICHLOROBENZENE 1,2-	µg/l	1000	1000	600	
DICHLOROBENZENE 1,4-	µg/l	300	300	75	
DICHLOROETHANE 1,2-	µg/l	5	30	5	3
DICHLOROETHANE 1,1-	µg/l	7	20	7	
DICHLOROETHANE CIS-1,2	µg/l	100	50	70	
DICHLOROETHANE TRANS 1,2-	µg/l	100	50	100	
ENDRIN	µg/l	2		2	
ETHYLENE DIBROMIDE	µg/l	0.03		0.05	
FLUORIDE	µg/l	1500	1500	4000	700/1500
FORMALDEHYDE	µg/l	900	900		
HEPTACHLOR	µg/l	0.4	0.03	0.4	200

SUBSTANCES	Units	ISRAEL	WHO	US-EPA	EU
IRON	µg/l	1000		300	200
LEAD	µg/l	10	10	15	10
LINDEN	µg/l	2	2	2	50
MANGANSE	µg/l	150	500	50	50
MERCURY	µg/l	1	1	2	1
METHOXYCHLOR	µg/l	20	20	400	
MONOCHLORAMINE	µg/l	3000	3000		
MONOCHLOROBENZENE	µg/l	300	300	100	50
NICKEL	µg/l	50	20	100	20
NITRATE	mg/l	70	50	50	50
PERMETHRINE	µg/l	20	20		
PHENOL	µg/l	1			10
SELENIUM	µg/l	10	12	50	10/80
SILVER	µg/l	10/80		100	
SILVEX	µg/l	10	9	50	
SIMAZINE	µg/l	2	2	4	150
SODIUM	mg/l	200	200		200
SULPHATE	mg/l	437	250	400	
TETRACHLOROETHYLENE	µg/l	10	40	5	
TRICHLOROETHANE 1,1,1-	µg/l	200	2000	200	
TRICHLOROETHYLENE	µg/l	50	70	5	
TRIFLURALIN	µg/l	20	20	2	5000

WHO - ארגון הבריאות העולמי - אלה הן המלצות בלבד ולא תקן.  
 US EPA - הרשות לשמירת איכות הסביבה, ארה"ב.  
 EU - מדינות האיחוד האירופי, תקנות חדשות שהתקבלו בסוף 1998.

#### מקורות מידע:

- הלפרין ר. (1998) - תקנות איכות מי שתייה בישראל ובעולם. מים והשקיה, 386 : 7-14.
- California Department of Water Resources (1995) - *Compilation of federal and state drinking water standards and criteria*, 53 p.
- European Union (1998) - *New drinking water directive, Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption*, 23 p.
- Florida Department of Environmental Protection (2000) - *Drinking water standards, monitoring and reporting*, 60 p.
- World Health Organisation (1984) - *Guidelines for drinking water quality*, Vol. 1: *Recommendations*, 130 p.
- World Health Organisation (1984) - *Guidelines for drinking water quality*, Vol. 2: *Health criteria and other supporting information*, 335 p.

## פרמטרים נבחרים בתקני איכות מי שתייה - ביאור

בפרק זה מובאים תיאורים תמציתיים של פרמטרים שונים של איכות מים המגדירים את מהות הפרמטר וההשלכות הבריאותיות ואו האחרות שלו. הפרמטרים שיובאו להלן הנם פרמטרים עיקריים בקביעת איכות מי שתייה. הפרמטרים יובאו לפי סדר אלפא-ביתי ולאז דווקא לפי סדר הופעתם בתקן הישראלי לאיכות מי שתייה. זאת למעט מזהמים אורגניים המופעים בפרק נפרד (ראה עמ' 17 ואילך).

### אבץ (Zn)

אבץ הוא יסוד נפוץ בקרום כדור הארץ. ריכוז האבץ במי ברז עלול להיות גבוה מאוד בהשוואה למי מקור כתוצאה מהתמוססות אבץ בקווי צינורות העשויים מסגסוגות מתכת המכילות אותו. בד"כ ריכוז האבץ במי ברז נמצא בתחום של 0.01 עד 1.0 מ"ג/ליטר.

אבץ הנו יסוד חיוני לבע"ח ולבני אדם ונחוץ לפעילויות אנזימטיות שונות. הכמות המומלצת לצורכי תזונה, כתלות בגיל ובמין משתנה בין 4 ל-15 מ"ג ליום.

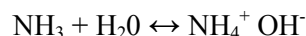
באופן כללי, אבץ אינו מוגדר כרעיל, אך מתוך מבחני טעימה עולה כי 5% מהאוכלוסייה מבדילים בין מים החופשיים מאבץ לבין מים שבהם ריכוז האבץ בסביבות 4 מ"ג/ליטר.

### אלקליניות (בסיסיות)

רוב המים במדינה, הנם בעלי יש בסיסיות וקשיות גבוהה. בדרך כלל לכל מקור מים יש בסיסיות אופיינית. שינוי בבסיסיות בדרך כלל מצביע על כניסת מים "אחרים" למקור. יש לעקוב אחרי הבסיסיות של כל מקור מים - ואם חל שינוי משמעותי יש לערוך סקר תברואי לגילוי הגורמים לשינוי בבסיסיות. הבסיסיות אינה פרמטר בפני עצמה, אלא שינוי בבסיסיות יכול להעיד על שינויים שעוברים במקור המים (לדוג' חדירת קולחים).

### אמוניה ( $\text{NH}_3, \text{NH}_4^+$ )

אמוניה הנה תרכובת גזית חסרת צבע ובעלת ריח חריף. ברוב סוגי מקורות המים היא נמצאת כתוצר פירוק ביולוגי של חומר חנקני. לעיתים מגיעה האמוניה למים ע"י פליטה משפכים תעשייתיים. כאשר ממיסים אמוניה במים, חלק מהאמוניה מגיב עם המים ליצירת יוני אמוניום כדלהלן:



היחס  $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$  תלוי בטמפרטורה, בהגבה ובמליחות המים. בתנאים רגילים רוב האמוניה במים מופיעה בצורה מיוננת  $\text{NH}_4^+$ .

במי תהום עמוקים באזור ההר ובמי תהום בחולות לא צריכה להיות אמוניה. במי תהום כלואים בדרך כלל יש ריכוזים שונים של אמוניה, מלווים בדו תחמוצת הפחמן ולפעמים חומצה גופרתית או סולפידים. במי תהום בעומק בינוני מתחת לאזור חקלאי המעובד בצורה אינטנסיבית, או בעומק רדוד באזור המרווח בבורות סופגים, לפעמים נדירות נשאר אמוניה, אבל בדרך כלל נמצאות חנקות.

עיקר החשיבות במעקב אחרי ריכוז האמוניה היא לשינויים משמעותיים מהמצב הנורמלי, ולא הריכוז עצמו.

האמוניה במים :

- מגיבה עם כלור ליצירת תרכובות חיטוי פחות יעילות.
- מהווה אינדיקציה לפירוק ביולוגי ולעיתים מהווה סימן לחדירת שפכים וכו'.
- רעילה לבע"ח מימיים ( $\text{NH}_3$ ).

### אצות

לאצות תפקיד חשוב במקווי מים עיליים. הן קובעות במידה רבה את מאזן הגזים במים ומשנות ע"י כך את ההגבה שלהם. הן יכולות לגרום לעכירות ובמותן יכולות להתפרק לחומרים הגורמים טעם, ריח, צבע ואף לחומרים רעילים במים. כמו כן, בתהליך פירוקן משתחררת אמוניה ולעיתים תרכובות גפריתיות. על כן חשוב להכיר, לדעת ולנתח מדד זה. יש סוגים ומינים הנותנים מידע על תכונות האצות ועל טיב המים. מדד זה נבדק בכמה דרכים :

- ספירת אצות והגדרת המינים שלהן.
- חישוב לפי השטח הסטנדרטי שלהן (A.S.U).
- לפי הנפח הסטנדרטי שלהן (V.S.U).

### ארסן (As)

הארסן רעיל במיוחד לאנשים לא מורגלים (בריכוזים מעל  $100 \mu\text{g/l}$ ). מקורות הארסן במים :

- מכרות
- קוטלי חרקים
- עשן שרפת דלק מינרלי

### אשלגן (K)

אשלגן הוא מינרל המצוי בריכוז גבוה בקרום כדור הארץ. עם זאת, ריכוזו במים לא גבוה במיוחד מכיוון שהסלעים בהם הוא מצוי לא מתרוחחים בקלות. ריכוזו במים בד"כ נמוך מ-10 מ"ג/ליטר. אשלגן דרוש לאדם, לבע"ח ולצמחים בריכוזים נמוכים אך הופך רעיל בריכוזים גבוהים. אין סטנדרט לאשלגן היות והריכוזים בהם הוא מצוי אינם מזיקים.

ריכוז האשלגן במקורות המים הטבעיים בישראל הוא קטן וקבוע פחות או יותר לכל מקור מים. ריכוז האשלגן בשפכים הוא גבוה יחסית. לכן, שינוי בריכוז האשלגן יכול להצביע על שפכים או קולחים שעברו סינון בקרקע (ולכן אין בהם חיידקים אינדיקטורים).

### בליעת UV (בליעת אור בתחום האולטרה סגול)

לחומר אורגני יש שיא בליעה בתחום ה-UV, לכן בליעה בתחום זה יכולה לשמש מדד להמצאות חומר אורגני. החומרים האורגניים מורידים את ריכוז החמצן במים עם כל התופעות הנלוות לכך, מאפשרים פעילות מיקרוביאלית העשויה להיות בעייתית. בנוסף לכך, חומרים אורגניים מתעשייה עלולים להיות מסרטנים וכן חיטוי של מים המכילים חומר אורגני יכול להוביל ליצירת חומרי לוואי מסרטנים.

יש לציין שגם לחומרים לא אורגניים שונים יש שיא בליעה באורך גל זה. בדיקת בליעת UV היא פשוטה וזולה, ולכן יכולה לשמש כאינדיקציה לחדירת חומר אורגני למקור המים.

הבדיקה מבוצעת באורך גל של 254 nm (נומטר) בשכבת מים של 1 ס"מ. כאשר פירוש התוצאות הוא כדלהלן:

- בליעה בתחום 0-5 אלפיות - אין צורך בבדיקות נוספות.
- בליעה גדולה מ-10 - יש לערוך סקר תברואתי על מנת לגלות את מקור החומר האורגני במים.

במידה והמים הנבדקים עכורים, הבדיקה צריכה לכלול בדיקת בליעה באורך גל של 545nm, שהוא אורך הגל המתאים לבדיקת עכירות. בכדי לקבל את החלק של הבליעה ב-254 nm הקשור לנוכחות החומר האורגני, יש להחסיר את הקריאה ב-545 nm מזו ב-254 nm.

### ברזל (Fe)

ברזל הוא היסוד הרביעי הנפוץ (משקלית) בקרום כדור הארץ, הוא נמצא בסלעים רבים ובמיוחד בקרקעות חרסיתיות. מקור נוסף לברזל במים הם אביזרים שונים לאספקת מים העשויים מברזל או מסגסוגת ברזל. במים קיימות שתי צורות עיקריות לקטיון הברזל: ברזל דו ערכי (בעל מסיסות גבוהה) וברזל תלת-ערכי (השוקע בקלות וגם גורם לצבע חזק יחסית).

מבחינה בריאותית גם לריכוזים גבוהים יותר, לא נצפו השלכות שליליות. נוכחותו של ברזל במי השתייה מעוררת התנגדות לשימוש בשל הצבע האדום והטעם המר שהוא מקנה למים כבר בריכוזים של 0.1 מ"ג/ליטר (השפעה אסתטית).

### בריום (Ba)

מלחי בריום משמשים ב: תעשיית הצבעים, ייצור לינולאום ותעשיית הנייר. ריכוזי בריום גבוהים גורמים לאי סדירות בפעילות שרירים בכלל ובפעולת בלב בפרט, ולנזקים לכליות.

### גופרה (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>)

ראה סולפט להלן.

### דטרגנטים

הופעת קצף במים מעידה על נוכחות דטרגנטים. דטרגנטים מהווים מטרד אסתטי העלול לפגום בטעם המים ומפריעים למעבר גזים בין המים והאטמוספירה. בריכוז דטרגנטים מעל ל-1 מ"ג/ליטר נוצר קצף במים בעת ערבובם. נוכחות דטרגנטים במים מעידה על זיהום בשפכים.

### דרישת כלור

דרישת הכלור של דגימת מים מסוימת משתנה כפונקציה של כמות הכלור שהוספה, זמן המגע, pH, וטמפרטורה. לכן חשוב למלא בדייקנות את פרוטוקול הבדיקה. דרישת כלור במים נגרמת על ידי מספר מרכיבים המצויים במים:

- יונים אנאורגניים מחזרים כגון: ברזל, מנגן, ניטריט, סולפיד וסולפיט.
- אמוניה וציאניד בתהליך הכלורינציה.

• חומר אורגני מומס מציג גם הוא דרישת כלור עקב שחלוף יונים עם יוני כלור חופשי בתהליך הכלורניציה.

מהמרכיבים לעיל, אמוניה וחומר אורגני מומס הם המשמעותיים ביותר. מכיוון שכך, עליה בדרישת הכלור יכולה להוות אינדיקציה לזיהום מים על ידי שפכים. כפרמטר לבקרה על איכות מים יש להסתכל באם יש מגמה של שינוי בדרישת הכלור. יש לציין כי דרישת הכלור אינה מופיעה כפרמטר בתקן למי שתייה.

במי המוביל הארצי (מים עיליים) דרישת הכלור היא 0.5-0.6 מ"ג/ל. במי קידוחים דרישת הכלור צפויה להיות נמוכה יותר.

## הגבה (pH)

ערך ההגבה מתאר למעשה את ריכוז יוני המימן במים. מדד זה שייך לתכונות הפיזיקליות והכימיות גם יחד ומתייחס למידת החומציות או הבסיסיות של המים. רמת ההגבה נקבעת בד"כ עפ"י היחסים שבין יוני הקרבונט, ביקרבונט ודו-תחמוצת הפחמן במים ומושפעת מהפעילות הסינתטית.

ה-pH משפיע על טעם המים (השפעה אסתטית) ועל מידת הקורוסיביות שלהם (השפעה כלכלית).

## חיידקי סטרפטוקוקוס צואתי

נוכחות חיידקי סטרפטוקוקוס צואתי מעידה על קשר לזיהום ע"י הפרשות בני אדם ובעלי חיים. היחס בין ריכוזי קוליפורם צואתי לסטרפטוקוקוס צואתי יכול לשמש לזיהוי מקור הזיהום - הפרשות אדם או בע"ח: בהפרשות בע"ח - מספר חיידקי סטרפטוקוקוס צואתי גבוה ממספר חיידקי קוליפורם צואתי, ובהפרשות אדם היחס הפוך. חיידקים אלו מגלים עמידות גבוהה יותר בהשוואה לחיידקי קוליפורם צואתיים בסביבה ולכן, היחס בין שתי הקבוצות יכול להעיד גם על "גיל" הזיהום. סטרפטוקוקוס צואתיים, כמו כן עמידים יותר מקוליפורמים לחיטוי.

נוהגים לבדוק חיידקים אלו ממי מקור בתוספת לבדיקת נוכחות חיידקים ממשפחת הקוליפורם. זאת לאור העובדה שלעיתים מוצאים במים חיידקי קוליפורם למרות שלא היה כל קשר לשפכים מחד ומאידך יתכן שיש קשר לזיהום שפכים אך חיידקי הקוליפורמים הצואתיים נעלמו עקב רגישותם לתנאי הסביבה.

## חיידקי קוליפורם כאינדיקטור לזיהום מים

כאשר מדובר על זיהום במים, נבחרה קבוצה של חיידקים בעלי תכונות רבות משותפות המשמשות יחד כאינדיקטור לזיהום המים בשפכים. קבוצת החיידקים "הקוליפורמים" (דמוי קולי) כוללת למעשה מספר סוגי חיידקים שהידועים ביותר ביניהם הם: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Entrobacter*, ו-*Citrobacter*.

כל אחד מסוגי החיידקים הנ"ל כולל מספר מינים שלכולם תכונות משותפות. הקוליפורמים, כקבוצה, מתאימים ביותר לשמש כאינדיקטורים לזיהום המים בשפכים היות והם חיים דרך קבע במעי בע"ח ומופרשים בכמויות גדולות בצואה. ריכוז הקוליפורמים בשפכים ביתיים גולמיים נע בין  $10^7$  ל-  $10^9$  ב- 100 מ"ל (פי 1,000 עד פי 100,000 מריכוז גורמי מחלות הנמצאים בשפכים). אולם, כמה מסוגי הקוליפורמים נפוצים גם במקורות טבעיים אחרים, בעיקר בקרקע ולכן הימצאותם במים יכולה להצביע על זיהום ממקור אחר ולא דווקא משפכים. למרות מגבלה זו, מקובל לראות בהם אינדיקטור טוב לזיהום.

### חיידקי קוליפורם צואתיים כאינדיקטור לזיהום מים

חיידקים המתפתחים בטמפרטורות גבוהות ( $44.2 \pm 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) אופייניים יותר לבע"ח ולבעלי דם חם. זאת לעומת חיידקי קוליפורם שחלקם גדלים בקרקע ומעוכבים בטמפרטורות אלה. בשל כך קיבלו חיידקים אלה את השם "קוליפורמים צואתיים" והם משמשים כאינדיקטורים יותר ספציפיים לזיהום המים בשפכים.

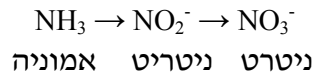
יש לציין כי הימצאות קוליפורמים או קוליפורמים צואתיים במים אינה הוכחה חד משמעית לזיהום המים בביוב עירוני, אך היא מצביעה בסבירות גבוהה שהמים אכן זוהמו.

### חיידקים - ספירה כללית

מבחן נוסף לאיכות המיקרוביאלית של המים הנו מבחן הספירה הכללית. מבחן זה נותן הערכה כמותית של החיידקים המתרבים ב-35 מעלות צלזיוס בתנאים אירוביים. המבחן מספק מידע מועיל לגבי איכות המים ומוסיף פרטים על המשמעות של מבחן הקוליפורמים. במיוחד חשוב מבחן זה לצורך שיפוט יעילותם של טיפולי השבחה וחיטוי המבוצעים במים.

### חנקה ( $\text{NO}_3^-$ ) וחנקית ( $\text{NO}_2^-$ )

חנקיות (ניטריטים) וחנקות (ניטריטים) במים הם תוצרי פירוק של חומרים אורגניים חנקניים ע"י בקטריות הנמצאות בקרקע ובמים. מקורות עיקריים להימצאותם הם דשנים, תוצרי לוואי מחומרי ריקבון מהצומח או מהחי, שפכים ביתיים וסילוק בוצה מעל פני האדמה, אתרי פסולת מוצקת וכו'. מתייחסים לחנקה וחנקית במשותף היות שבטבע הן הופכות מצורה אחת לשניה כמפורט להלן:



ריכוזים גבוהים של חנקה גורמים למחלת הכחלת (מתהמולובינמיה) אצל תינוקות. מחלה נגרמת עקב תחרות בין החנקה וחמצן על אתרי קישור בהמולובין שהתוצאה שלה הוא דם מחוזר (כחול). סימפטומים מתחילים להופיע בריכוזי חנקה הגבוהים מ-100 מ"ג/ל. בנוסף לכך, בגוף, חנקה יוצרת עם חומצות אמיניות תרכובות N-nitroso הידועות כמסרטנות בבע"ח. 50% מכמות החנקה היומית הנצרכת על ידי בני אדם מקורה במים והיתר ממזון.

חנקה היא דשן לצמחיה ודרושה בעצם לכל סוגי החיים.

ריכוזי החנקה במים עיליים נמוך עקב תהליכי דה-ניטריפיקציה ואסימילציה ע"י אצות וחיידקים. ריכוזי חנקה במי תהום עשוי להיות גבוה כתוצאה מדישון יתר וזיהום בביוב.

חנקית אינה יציבה במים, ולכן נוכחותה מצביעה על חדירת זיהום למים בעבר הקרוב. נוכחותה מעידה על קיום תהליך חמצון ביוכימי (אמוניה דרך חנקית לחנקה). תהליכים אלה מופעלים כמעט תמיד על ידי מיקרואורגניזמים, ולכן נוכחות חנקית מראה על כניסה של חיידקים מחמצנים או מחזרים למקור המים. הסכנה העיקרית היא שהחיידקים שחדרו מקורם בשפכים או קולחים, והם עלולים לכלול גם חיידקים גורמי מחלות.

## טמפרטורה

טמפרטורת המים מושפעת מחום הסביבה. טמפרטורת מי התהום שווה בד"כ לטמפרטורת האוויר השנתית הממוצעת וטמפרטורת המים העיליים, שווה בד"כ לטמפרטורת האוויר החודשית הממוצעת. לטמפרטורה השפעה רבה על ריכוז הגזים במים ועל מטרדי טעם וריח, פעילויות ביולוגיות, כימיות, וכו'.

טמפרטורות מים חריגות מצביעות על זיהום משפכים ביתיים או תעשייתיים (תחנות כוח וכו'), או מקור מים המגיע ממעמקי האדמה.

חשיבות טמפרטורת המים :

טמפרטורת המים חשובה ביותר בתהליכי הטיפול במים, לדוגמה :

- חומרים כימיים אשר משתמשים בהם בתהליך טיפול במים מתמוססים ביתר קלות במים חמים מאשר מים קרים.
- מים חמים מעודדים התפתחות אורגניזמים.
- ריכוז הרוויה של חמצן יורד עם עליית הטמפרטורה של המים.
- מבחינת הצרכן, מים קרים עדיפים כיוון שהם טעימים יותר.

במאגרים ואגמים, הטמפרטורה נשלטת ע"י היפוכים עונתיים. הטמפרטורה משתנה בגופי מים עם העומק. בד"כ מים קרים כבדים יותר בתחתית, חמים וקלים יותר בשכבות העליונות. בארץ בסתיו, המים שעל פני השטח נעשים קרים יותר וכבדים יותר ובעזרת הרוח מתבצע באגם או המאגר תופעת היפוך שכבות. המים שעולים מהשכבות התחתונות מסייעים אתם על פני השטח משקעים הגורמים לריחות לא נעימים במשך מספר ימים ועלולים לגרום לחוסר חמצן שמוביל לתמותת דגים.

## טעם

קיימים למעשה רק ארבעה טעמים : חמוץ, מתוק מלוח, ומר. כל טעם אחר הנו למעשה שילוב של טעם וריח. מכשיר הטעימה האופטימלי הנו לשון האדם הרגישה למספר רב של חומרים, אך אינה יודעת להבחין ביניהם. הטעם נמדד ע"י מודדים שהוכשרו לכך. גורמים שכיחים לטעם במים :

- חומרים אורגנים כגון פנולים.
- מלחים מומסים אנאורגניים כגון נחושת, ברזל, זרחן, נתרן, אבץ, כלורידים, סולפאטים וכו'.
- לדוג': בריכוז ברזל העולה על 0.2-0.4 מ"ג/ל מתחילים להרגיש טעם מר של המים.
- חומרי לוואי מחיטוי כגון כלורופנולים.
- חומר אורגני שהתפרק.
- חיידקים בשם Actinomycetes מצויים בריכוזים גבוהים במים טבעיים, מפרישים ריח ונותנים למים טעם מריר, אך זו לא בעיה בריאותית.
- אצות.

## טריהלומתאנים (Three Halo Methanes - Total)

ראה דיון בעמוד 24).

## כלורידים (Cl<sup>-</sup>)

המקור העיקרי של כלורידים הוא סלעי המשקע שנוצרו ע"י אידוי. נוכחות כלורידים במים גם כתוצאה מחדירת שפכים ביתיים ותעשייתיים ומחדירת מי ים למקורות מי תהום. רמת הכלורידים של 200-300 מ"ג/ליטר הנה סף רגישות, מעבר לו מתחיל להיות מורגש טעם מלוח למים. מליחות מים מעבר לריכוזים מסוימים מהווה מגבלה לאפשרות ניצול המים בחקלאות.

עליה בריכוז כלורידים של מקור מים יכולה להוות מדד לזיהום בשפכים ובעיקר מדד להמלחת מקור מים כתוצאה של שאיבת יתר ואו חדירה של מי תהום.

## כלל מוצקים מומסים

ריכוז סך כל המוצקים המומסים במים מהווים מדד הנקרא "כלל מוצקים מומסים". נוכחות של מלחים בריכוז גבוה במים מקנה להם טעם מלוח (בעיקר עקב המצאות כלורידים). יוני המלחים המומסים במים יכולים להיות בעלי מטען חשמלי חיובי או שלילי, ויכולים להיות היונים יכולים להיות אורגניים או אנאורגניים.

על הקשר בין ריכוז כלל המוצקים המומסים במים ומוליכות חשמלית, ראה עמ' 11.

## כספית (Hg)

כספית הנה מתכת מאוד רעילה לאדם ולבעלי חיים ובמיוחד מתיל כספית (כספית אורגנית). לא זו בלבד שהכספית רעילה אלה שהיא גם עוברת ביואקומוולציה במארג המזון. המקרה הידוע ביותר של הרעלת כספית התרחש ביפן, במפרץ מינמטה, שם הורעלו תושבי כפר דייגים בהרעלה משנית שנוצרה כתוצאה מצריכת דגים. באירוע זה דווחו 111 מקרי הרעלה מתוכם 45 בני אדם, ובנוסף לכך דווח על מומים מולדים בתינוקות של האוכלוסייה שנפגעה. הרעלה זו היוותה ציון דרך בהתייחסות לרעילותן של המתכות הכבדות.

כספית מגיעה למים דרך זיהום שמקורותיו העיקריים הם: מכשירים מדעיים, בטריות, מיצוי זהב וכסף, ייצור אלקטרוליטי של כלור (גאז), חומרים השמשים לבקרה על מחלות צמחים, קוטלי חרקים וצבעי אוניות.

## כרום (Cr)

הכרום הנו מתכת רעילה ביותר, הרעלת כרום גורמת ל: בעיות בעור, פגיעה בתפקוד הכבד ולסרטן.

הכרום משמש בתעשיות רבות, ביניהן: שימוש נרחב בייצור סגסוגת, קטליזטורים בתעשייה הכימית, תחמוצות כרומיות, מלחי כרוםט ב צבעים, תמיסות ניקוי במעבדה, ושימוש נרחב בציפוי למניעת קורוזיה במערכות קירור (כיום מתחיל להיות מוחלף במוליבדן, עקב רעילותו).

### מוליכות חשמלית (EC)

מוליכות חשמלית הנה היכולת להעברת זרם חשמלי ע"י המים. חלק מהמרכיבים המומסים במים (המלחים) עוברים יוניזציה, הווה אומר הם בעלי מטען חשמלי. יונים מוליכים חשמל במים, ככל שריכוז המלחים, המוצקים המומסים, גבוה יותר כך המוליכות החשמלית גבוהה יותר. לכן, המוליכות מהווה מדד לשה"כ כמות המוצקים המומסים במים ע"י הקשר האמפירי:

$\text{סה"כ ריכוז המוצקים המומסים} = 0.65 * \text{המוליכות החשמלית}$
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>[מ"ג/ליטר]</span> <span>[מיקרומה/ס"מ]</span> </div>

המוליכות החשמלית מושפעת מהטמפרטורה ומיחסים תמיד את המדידה ל - 25 °C תוך תיקון תוצאות הבדיקה בטמפרטורה שנמדדה בעזרת טבלאות.

### מגנזיום (Mg)

ראה דיון בסולפט (עמ' 12)

### מנגן (Mn)

בדומה לברזל, המנגן אינו מהווה סיכון בריאותי, אלא מהווה מטרד אסתטי. מנגן מקנה טעם מר למים, גורם לכתמים בכביסה ובכלים סניטריים. כשתרכובות מנגן עוברות חמצון, המנגן שוקע וגורם לבעיות אבנית.

### נגיפים (וירוסים)

עם התקדמות המדע, מתגלות יותר ויותר מחלות אדם הנגרמות ע"י נגיפים ומועברות ע"י מים. ריכוז הנגיפים במים קטן יותר מריכוז החיידקים הפתוגניים. הנגיפים עמידים מאוד בתנאים קשים, גודלם הפיזי הנו קטן בסדר גודל מאשר החיידקים וצורת גידולם שונה. כל אלה גורמים לקשיים טכניים בבדיקת הנגיף ולכן למרות שברורה חשיבותם, טרם פותחה עד כה שיטה שגרתית אמינה לגילויים.

### נחושת (Cu)

נחושת ותרכובותיה נמצאות בכל מקום בטבע. ריכוז הנחושת במים נמצא בדרך כלל בד"כ בתחום של 0.01-5 מ"ג/ליטר. נחושת הנה יסוד חיוני למטבוליזם האדם, אולם בריכוזים גבוהים, היא גורמת לפגיעה בריריות הגוף, במיוחד בדרכי העיכול ולנוק כללי לנימים, כבד, כליות ולמערכת העצבים המרכזית. אופי תצורת ההופעה של הנחושת במים תלוי בהגבה (pH), ריכוז הקרבונט וכן ריכוז אניונים אחרים. לעיתים, מגיעה נחושת למים מהתמוססות אביזרי צנרת העשויים סגסוגת מתכת המכילה נחושת (תופעה שהייתה מאוד שכיחה בעבר).

הנחושת במי השתייה גורמת לטעם לוואי שסף גילוי הוא בסביבות 5 מ"ג/ליטר. במים מזוקקים סף הגילוי הוא 2.5 מ"ג/ליטר. נחושת מגדילה את הקורוזיה של אביזרי אלומיניום ואבץ. הכתמת כביסה ומתקנים סניטריים מתרחשת כאשר ריכוז הנחושת עולה על 1.0 מ"ג/ליטר.

### ניטרט ( $\text{NO}_3^-$ )

ראה דיון בחנקה וחנקית (עמ' 8).

### ניטריט ( $\text{NO}_2^-$ )

ראה דיון בחנקה וחנקית (עמ' 8).

### נתרן ( $\text{Na}^+$ )

תרכובות נתרן מהוות 3% מהרכב קרום כדור הארץ. הנתרן מצוי בסלעים וחשוף להתרוחחות. באזורי חוף, אירוסולים ממליחים מקורות מים בנתרן. בנוסף לכך, שאיבת יתר באקוויפר החוף גורמת לעליה בריכוז הנתרן עקב נסיגת הפאן הביני וחדירת מי ים. הנתרן מצוי בשפכים תעשייתיים בריכוז גבוה מכיוון שמשמשים בו לתהליכים רבים. מוסף כחלק מתהליך הטיפול במים: סודיום היפוכלורית, סודיום הידרוכסיד וכד'.

הנתרן מסיס מאוד במים ונוטה להישאר במצב מומס. ריכוזו במים בד"כ בסדר גודל של 100 מ"ג/ליטר. ריכוז גבוה של נתרן משפיע לרעה על אוכלוסייה פגיעה (בעיות לב). נתרן דרוש לצמחים בריכוזים נמוכים אך מפריע בריכוזים גבוהים בהתאם לסוג הצמח, בקרקעות חרסיתיות הוא גורם לבעיות של תפיחה. נתרן עשוי להיות רעיל לדגים מסוימים (במים מתוקים) בריכוזים גבוהים.

לכל מקור מים יש יחס נתרן-כלוריד האופייני לו, ריכוז הנתרן ויחס הנתרן לכלוריד משתנה עם סוגי המים: (אקוויפר החר, אקוויפר החוף, מים עיליים, שפכים ביתיים, שפכי תעשייה, מי ים). שינוי ביחס זה מצביע על כניסה של מים מסוג אחר, למקור המים הנבדק.

### סולפט וגופרה ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ומגנזיום ( $\text{Mg}^{2+}$ )

מקורות הסולפטים והמגנזיום במים הם בעיקר מטבעיים, סולפטים בריכוז משמעותי יכול לנבוע מהוספת אלומיניום סולפט (חומר המשמש לטיהור מים) או כתוצאה מזיהום בשפכים.

מגנזיום סולפט הוא "מלח אנגלי" הידוע בתכונותיו כמשלשל. מים המכילים מגנזיום סולפט בריכוז של 1000 מ"ג/ליטר גורמים לקיבה רכה אצל מבוגרים. אנשים רגישים מגיבים כבר לרמה של 400 מ"ג/ליטר. גוף האדם מתרגל פיזיולוגית עם הזמן לריכוזי מגנזיום סולפט גבוהים במי שתייה, לכן הסכנה גדולה במיוחד למשתמש חדש במים אלה. מכיוון שכך, הרמות המותרות של מגנזיום וסולפט בתקן מי השתייה קשורות זו בזו.

#### מגנזיום

מקור המגנזיום במים הוא מסלעים. מלחי המגנזיום מאוד מסיסים (יותר מסידן). אולם ריכוזו במים נמוך יותר מריכוז הסידן. תחום הריכוזים 10-40 מ"ג/ליטר. בד"כ הוא מופיע במים כ  $\text{Mg}^{2+}$ .

מגנזיום כשלעצמו הוא יון חיובי לאדם (דרישת האדם היא 3.6-42 מ"ג/ק"ג/יום). הריכוזים במים לא מספיקים דרישה זו. המגנזיום הוא גורם רצוי גם לצמחים וגם לטיוב הקרקע. המגנזיום מהווה גורם קשיות, והוא שוקע כ-MgOH או כ-MgCO<sub>3</sub> וגורם להצטברות אבנית.

### גופרית (S)

מופיעה במים כסולפאט  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaSO}_4$ , וכסולפידים  $\text{NaS}_2\text{O}_3$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . מקורה בגבס  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  מסלעים. ריכוז הסולפאט במים יכול להגיע עד ל-30 מ"ג/ליטר. ריכוז הסולפידים במים טבעיים הוא בד"כ נמוך מאוד.  $\text{H}_2\text{S}$  משתחרר כתוצאה מחמצון אנאירובי של חומר אורגני,  $\text{H}_2\text{S}$  הוא גז רעיל בעל ריח חזק של ביצים סרוחות. החידק תיובצילוס מסוגל לחמצן  $\text{H}_2\text{S}$  ולהפוך אותו לחומצה גופרתית שהיא חומצה חזקה הגורמת לבעיות קורוזיה רבות במערכות הולכת שפכים.

סולפטים כאמור הם חומרים משלשלים בריכוזים גבוהים מ-100 מ"ג/ליטר. ריכוז סולפאטים מעל 500 מ"ג/ליטר בעייתי להשקיה חקלאית.

### סידן (Ca)

סידן מצוי במים בריכוזים גבוהים יחסית של כמה עשרות מ"ג/ליטר כמעט בכל מקום בעולם (היון הנפוץ ביותר במים אחרי ביקרבונט). מקור הסידן בהתרווחות סלעים והוא מצוי כיון  $\text{Ca}^{2+}$  או כתרכובת.

סידן דרוש לגוף האדם ובריכוזים נמוכים לצמחים עיליים ולאצות. הסידן עוזר לטיוב קרקעות, במיוחד בקרקעות הסובלות מניתרון. ריכוזו במים אינו מספיק לדרישות הפיזיולוגיות של האדם.

סידן הוא גורם הקשיות המרכזי במים. שוקע כ- $\text{CaCO}_3$  ו- $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ועוד. הקשיות מהווה בעיה כלכלית - בעייתית במיוחד למחליפי חום, דודים, מכונות כביסה וכד'.  
ראה גם דיון בקשיות להלן.

### סלניום (Se)

סלניום מופיע באופן טבעי בטבע. הוא אינו משמש בשימוש נרחב בתעשייה - משמש מעט בייצור רכיבים חשמליים (תאים פוטואלקטריים וכו').

בריכוזים נמוכים מאוד הוא דרוש לדיאטה של האדם וחיות רבות, בריכוזים גבוהים יותר הוא עלול להיות רעיל. בריכוזים גבוהים בחיות סלניום גורם למניעת בניית עצם. סלניום עלול להצטבר בדגניים לכמויות שעשויות להזיק לאדם ולבע"ח.

### עופרת (Pb)

עופרת הנה רעילה מאוד, היא גורמת לנזק מוחי, נזק לכליות, פיגור שכלי בילדים, ולסרטן.

בעבר הרעלת עופרת הייתה שכיחה מכיוון שחלק ניכר מצנרת הולכת המים היה עשוי מעופרת, צבעים היו מכילים עופרת ועוד. כיום זיהום בעופרת יהיה משפכים תעשייתיים וזיהום ישיר או עקיף על ידי דלקים המכילים עופרת.

## עכירות כמדד למוצקים מרחפים

העכירות מבטאת את מידת הפיזור ובליעת האור ולא כמות האור המסוגלת לעבור דרכם, היא נמדדת באורך גל של 545 nm.

גורמים לעכירות המים הם מוצקים מרחפים וחלקיקים קולואידים (כגון חלקיקי חרסית, חומרים אורגנים, אצות ומיקרואורגניזמים).

עכירות גורמת לפגיעה אסתטית, פגיעה ביעילות החיטוי, ולפגיעה באמינות יעילות הבדיקות האנליטיות. בשנים האחרונות העכירות הפכה גם לפרמטר בריאותי בשל "המחסה" שהחלקיקים הקולואידים \ מרחפים נותנים למתכות כבדות ואו לחיידקים הנספחים אליהם(הספיחה אליהם טובה בגלל שטח פנים גבוה). כמו כן החלקיקים הקולואידים עלולים ליצור תוצרי לוואי רעילים בתהליך חיטוי המים.

במי תהום, הנהנים מסינון טבעי, העכירות בד"כ נמוכה, במים עיליים היא נעה בין 1 ל-200 NTU.

## פלואור (F)

פלואור נמצא במים באופן טבעי. מים עיליים לא כוללים בד"כ ריכוזים מעל 0.3 מ"ל/ליטר.

ריכוזו במים רצוי כי מעבר לריכוז סף מינימלי הוא מגן על השיניים מפני עששת (תורם לחיזוק אימאיל השן), אולם מעבר לריכוז סף מכסימלי הוא יכול לגרום להתפוררות שיניים (Fluorosis) בעיקר אצל מבוגרים ולצבע חום בשיניים. ככל שאנשים שותים יותר מים יש להוריד את רמת הפלואוריד בהתאם. במקרים בהם ריכוז הפלואוריד נמוך מהגבול המינימלי - נוהגים לעיתים להוסיפו למים.

מחקרים מראים כי השקעה של \$1 בפלואורידציה של מים חוסכת \$50 בטיפול שיניים עתידיים.

## פנולים ושמנים מינרלים

המקור הבלעדי של פנולים ושמנים מינרליים במים הוא זיהום תעשייתי או זיהום מדלקים. פנול הנו חומר מסרטן ושמנים מינרליים הנם רעילים. בנוסף לכך הם גורמים לבעיות אסתטיות, לטעם וריח דוחים ולפגיעה ביכולת מעבר גזים בפאן הביני - מים אטמוספירה.

## צבע

צבע מוגדר כצבע האמיתי של המים ללא גורמי עכירות. הביטוי "צבע נראה" כולל לא רק צבע בתמיסה, אלא גם צבע המוצקים המרחפים. כאשר הצבע של המים מתחת ל-15 יחידות, הצבע אינו נראה כלל, ואילו צבעם של מים בעלי 100 יחידות צבע הוא כתה בהיר. צבע גורם לבעיה אסתטית במים עצמם ולהכתמת כביסה וכלים סניטריים.

צבע במים נובע מהמצאות "טבעית" של יוני מתכות טבעיים (בעיקר ברזל, ומנגן), מחומרים הומיים או כבול, חומרים המורשים מאצות שונות או עשבי מים, ומתרכובות אורגניות שמקורן בשפכים תעשייתיים.

## ציאניד (CN)

ציאניד הנו רעיל מאוד לאדם ולבעלי חיים. למרבית המזל ציאניד הנו פריק ביולוגית ולכן זמן מחצית החיים שלו במים קצר. מקור הציאניד במים הוא משפכים תעשייתיים. הציאניד משמש בציפוי מתכות, בתעשיות היי-טק (חומרה), בבתי זיקוק, ובמיצוי זהב.

## קדמיום (Cd)

קדמיום הנו מתכת רעילה. בריכוזים גבוהים, קדמיום גורם לבריחת סידן מהעצמות שתוצאתה עצמות פריכות ושבירות (מחלת ה-Itai Itai, התגלתה בחקלאים ששתו ממי נהר Jintsu ביפן). בחשיפה מתמשכת לריכוזים נמוכים הוא גורם ללחץ דם גבוה, לעקרות בגברים, ולנזקים לכליות.

מקור הקדמיום במים הוא משפכים תעשייתיים. קדמיום נמצא בשימוש רב בתעשייה ובמיוחד בייצור בטריות, צבעים, ביצור חומרים פלסטיים וביצפוי ברזל למניעת קורוזיה (משימוש זה מגיע רוב הקדמיום לסביבה המימית).

## קרינה רדיולוגית

מקור הקרינה הרדיולוגית במים יכול להיות מקור טבעי או אנושי (בארץ, ליד הכינרת קיים מעיין עם תכונות רדיולוגיות). באופן טבעי, ניתן למצוא במים רדיום 226 ורדיום 228. במים עיליים נדיר יותר למצוא רדיום מאשר במי תהום. רדיום במי תהום נמצא עקב מגע עם קרקע או סלע המכילים רדיום.

הבעיה העיקרית מקרינה רדיולוגית נובעת משימוש בחומרים רדיואקטיביים בצורות שונות: ניסויים של נשק רדיואקטיבי, פסולת רפואית, מדעית או תעשייתית, מי קירור של תחנות כוח גרעיניות או של מכרות של חומרים רדיואקטיביים.

לשני סוגי קרינה: אלפא ( $\alpha$ ) וביתא ( $\beta$ ) נקבע תקן מחייב.

קרינת אלפא ( $\alpha$ ): שטף של קרינה המורכבת מחלקיקי אלפא. חלקיקי אלפא מורכבים מעד ל-2 פרוטונים ו-2 נויטרונים. חלקיקי אלפא נפלטים מהחלק מהיסודות הכבדים הכוללים אורניום, פלוטוניום ורדון. ניתן לעצור חלקיקי אלפא על ידי פיסת נייר, והם מהווים בעיה בריאותית רק כאשר איזוטופים משחררי קרינת אלפא מוכנסים לגוף (בעיקר בנשימה). חשיפה גבוהה לקרינת אלפא תגרום לסרטן.

קרינת ביתא ( $\beta$ ): שטף קרינה המורכבת מחלקיקי ביתא. חלקיקי ביתא הם אלקטרונים (חיוביים או שליליים) המשתחררים תוך כדי דעיכה של מספר איזוטופים רדיואקטיביים. לחלקיקי ביתא טווח קצר באוויר וטווח קצר יותר במדיות יתר צפופות. איזוטופים הפולטים קרינת ביתא (לדוג' סטרונציום 90) הבאים מגע עם העור עלולים לגרום לכוויות בעור ולהשפעות יותר חמורות אחרות. כוויות נרחבות כתוצאה מקרינת ביתא עלולות להיות קטלניות.

## קשיות

קשיות המים הייתה מדד מסורתי ליכולת המים להגיב עם סבון. כשהים "קשים" נדרשת כמות ניכרת של סבון ליצירת קצף. כמו כן, קשיות גבוהה גורמת לשקיעת אבנית המפריעה במערכות ההובלה, אספקה ואחסון מים, מפריעה בתהליכים תעשייתיים של כביסה, בישול, מעבר חום וכו'.

קשיות המים נגרמת ע"י יוני מתכת דו ערכיים. במים מתוקים עיקר היונים הם סידן ומגנזיום, אך גם יוני סטרונציום, ברזל, בריום ומנגן תורמים לקשיות.

קשיות קרבונטית וקשיות לא קרבונטית - מלחים הקשורים עם ביקרבונט ( $\text{HCO}_3^-$ ) וקרבונט ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) מוגדרים כקשיות קרבונטית וכאלה שאינם קשורים בהם - כקשיות לא קרבונטית ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Mg(NO}_3)_2$  וכד').

הקשיות היא לכן בעיקרה בעיה כלכלית. תהליך הריכוך מרחיק את המלחים יוצרי הקשיות.

למי שתייה ארבע רמות קשיות המוגדרות בריכוז אקווילנטי של  $\text{CaCO}_3$  כמפורט :

1. מים רכים 0-60 מ"ג/ליטר
  2. מים בעלי קשיות בינונית 60-120 מ"ג/ליטר
  3. מים קשים 120-180 מ"ג/ליטר
  4. מים קשים מאוד מעל 180 מ"ג/ליטר
- בארץ רוב המים מוגדרים כמים קשים עד קשים מאוד.

## ריח

ריח נמדד ע"י בני אדם אשר מריחים דוגמאות החל ממים מזוקקים וכלה במים הנבדקים. הדוגמא בה מורגש הריח לראשונה נקרא "סף הריח" ומדרגת המיהול של אותה דוגמא נגזר "מספר סף הריח". היות וטעם וריח קשורים זה לזה אך יותר קל להבחין בריח, עושים בד"כ בדיקות ריח בלבד.

הגורמים העיקריים לריח במים : תהליכים אנאירוביים היוצרים  $\text{H}_2\text{S}$  ותרכובות אורגניות המכילות  $\text{S}^{2-}$ , המצאות אצות המפרישות חומרי ריח, שפכים תעשייתיים, תוצרי לוואי של חיטוי (ריאקציות של תרכובות אורגניות עם חומרי חיטוי).

## שמנים מינרליים

ראה פנולים ושמנים לעיל.

## מיקרו-מזהמים אורגניים נבחרים - ביאור

המיקרו-מזהמים האורגניים המוצגים להלן מחולקים ל-4 קבוצות, כאשר בכל קבוצה הם מופיעים לפי סדר אלפא-ביתי:

- I. מיקרו-מזהמים נדיפים (VOC - Volatile Organic Carbon)
- II. חומרי הדברה.
- III. חומרים המופיעים בתוספת ה-7 לתקנות מי השתייה בישראל.
- IV. טריהלומתאנים.

כל מזהם מסווג לקבוצה לפי IARC (International Agency for Research on Cancer), בדרגת סיכון יורדת (דהיינו מזהם הנכלל בקבוצה 1 מהווה סיכון רב יותר ממזהם הנכלל בקבוצה 4):

- קבוצת סיכון 1 - המזהם מסרטן ודאי בבני אדם.
- קבוצת סיכון 2A - כפי הנראה (probably) המזהם גורם לסרטן בבני אדם.
- קבוצת סיכון 2B - ייתכן (possibly) והמזהם גורם לסרטן בבני אדם.
- קבוצת סיכון 3 - אין סיווג סופי לגבי קרצינוגניות (גרירת סרטן) בבני אדם.
- קבוצת סיכון 4 - כפי הנראה המזהם אינו גורם לסרטן בבני אדם.

### קבוצה I - מיקרו-מזהמים נדיפים (VOC)

#### בנוז

בנוז מהווה מרכיב חשוב בדלק למכוניות ובתעשייה כימית. מקורות זיהום פוטנציאליים הם תחנות דלק, בתי זיקוק ומכליות להובלת דלק.

בנוז הוא חומר מסרטן כשחשיפה ממושכת יכולה לגרום ללוקמיה. בנוסף לכך חשיפה למנות גבוהות פוגעת במערכת העצבים המרכזית. בנוז שייך לקבוצת IARC 1.

#### אתיל בנוז

משמש בייצור של בנוז וסטירן. נמצא בסביבה בעיקר באוויר. מתפרק במים ובקרקע בתנאים אירוביים. במים ובמוצרי מזון נתגלה בריכוזים מזעריים.

עלול להשפיע על תפקוד הכבד והכליות. לא מסווג בסיווג IARC.

#### בנוז(a)פירן

בנוז(a)פירן הוא תוצר עיקרי של שריפה לא שלמה של חומרים אורגניים ותוצר לוואי מתעשיות מתכת. מקורות זיהום פוטנציאליים: שריפת יערות, דלקים, מפלטי מכוניות וכן התכת אלומיניום.

במגע עורי בנוז(a)פירן עלול לגרום לפצעים. דווח גם על הרעלות אקוטיות בריכוזים גבוהים שגרמו לנזק בריאותי ועד מוות.

## **1,2-דיכלורובנזן**

1,2-דיכלורובנזן משמש בתעשיית חומרי סתירת ריח, חומרי צבע וקוטלי חרקים.

ל-1,2-דיכלורובנזן רעילות אקוטית נמוכה בחשיפה דרך הפה. חשיפה לריכוזים גבוהים גורמת לבעיות בכליות ובכבד. סף הריח והטעם במים 2-10 ו-1 מק"ג/ליטר בהתאמה. 1,2-דיכלורובנזן שייך לקבוצת IARC 3.

## **1,4- דיכלורובנזן**

1,4- דיכלורובנזן משמש בתעשיית חומרי סתירת ריח, חומרי צבע וקוטלי חרקים.

1,4- דיכלורובנזן מציג רעילות אקוטית נמוכה. מחקרים מורים כי חשיפה לריכוזים גבוהים של 1,4- דיכלורובנזן גרמה לעליית שכיחות סרטן הכליות והכבד אצל עכברים. סף הריח והטעם במים 3-30 ו-6 מק"ג/ליטר בהתאמה. 1,4- דיכלורובנזן שייך לקבוצת IARC 2B.

## **1,2-דיכלורואתן**

1,2-דיכלורואתן משמש בתעשייה כימית.

1,2-דיכלורואתן גורם לבעיות במערכת העצבים והעיכול, וכן עלול להשפיע על דרכי נשימה ותפקוד כבד ולב. 1,2-דיכלורואתן שייך לקבוצת IARC 2B.

## **1,1-דיכלורואתילן**

1,1-דיכלורואתילן משמש בתעשייה כימית כמונומר. במי תהום, בתנאים אנאירוביים החומר מתפרק לויניל כלוריד.

חשיפה ל-1,1-דיכלורואתילן גורמת לנזקים במערכת העצבים המרכזית, בכליות ובכבד. 1,1- דיכלורואתילן שייך לקבוצת IARC 3.

## **1,2-דיכלורואתילן**

1,2-דיכלורואתילן משמש לסינתזה ולמיצוי תרכובות וממיסים כלורואורגנים. במים עיליים ובקרקע הוא נדיף. 1,2-דיכלורואתילן מתפרק בתנאים אנאירוביים.

חשיפה ל-1,2 דיכלורואתילן באוויר גורמת לדיכוי מערכת העצבים מרכזית, ובריכוזים נמוכים לאפקטים נוירולוגיים וצריבה בעיניים.

## **1,1,1-טריכלורואתן**

1,1,1-טריכלורואתן שכיח כחומר ממס, בייצור קפה ללא קפאין וכמסיר צבע. 1,1,1-טריכלורואתן נמצא במים עיליים ובמי תהום.

1,1,1-טריכלורואתן נקלט דרך הריאות או מערכת העיכול, מתפשט מהר מאוד בגוף ורק 3-6% מופרש החוצה. חשיפה ממושכת עלולה לגרום לאי תפקוד תאי הכבד "כבד שומני" אצל בני אדם ובע"ח; שייך לקבוצת IARC 3.

### **טרי-כלורואתילן**

טרי-כלורואתילן משמש בעיקר כממס בתהליך ניקוי יבש וניקוי מתכות משומנים. נמצא בסביבה, באוויר ובמים בעיקר באזורים תעשייתיים. בתנאים אנאירוביים מתפרק ויוצר חומרים רעילים יותר, כגון ויניל כלוריד.

טרי-כלורואתילן חודר לגוף דרך דרכי נשימה ומערכת העיכול ומתפשט מהר בכל הגוף. 40%-75 מהחומר הנכנס יוצא בחילוף חומרים דרך הכליות. טרי-כלורואתילן שייך לקבוצת IARC 3.

### **טרה-כלורואתילן**

טרה-כלורואתילן משמש כממס חזק בתעשייה, בעיקר להסרת שומנים, ובמכבסות לניקוי יבש. טרה-כלורואתילן נפוץ בכמויות מזעריות באוויר, במים, בפירות, בירקות ובגוף האדם. הוא עלול להימצא בריכוזים גבוהים באזור תעשייתי. בתנאים אנאירוביים הוא מתפרק לחומרים רעילים כמו ויניל כלוריד.

ריכוזי טרה-כלורואתילן גבוהים גורמים לבעיות במערכת העצבים המרכזית, חשיפה ממושכת לריכוזים נמוכים גורמת לפגיעה בכבד ובכליות. טרה-כלורואתילן שייך לקבוצת IARC 2B.

### **כלורופורם**

כלורופורם משמש כחומר מייצב בייצור גז קירור, בתהליך מיצוי שרף וגומי, ותעשיות כימיות שונות. כלורופורם משמש כמו כן כחומר הרדמה.

כלורופורם גורם נזק למערכת העצבים והוא עלול להשפיע על תפקוד כבד וכליות. כלורופורם שייך לקבוצת IARC 2B.

### **פחמן טרה-כלורי**

פחמן טרה-כלורי משמש בייצור גזים פריאונים לקירור, וכממס בייצור חומרים פלסטיים וצבעים. בתנאים אנאירוביים פחמן טרה-כלורי עמיד במשך חודשים ושנים. בקרקע הוא מתחבר עם חומר אורגני ומחלחל למי תהום.

פחמן טרה-כלורי עלול להשפיע על תפקוד כבד. הוא מגדיל סיכון לסרטן. פחמן טרה-כלורי שייך לקבוצת IARC 2B.

### **מונוכלורובנזן**

מונוכלורובנזן משמש בעיקר כממס בתרכובות חומרי הדברה, וכן כחומר ביניים בסינתזה של תרכובות אורגניות הלוגניות. במים מונוכלורובנזן עובר פרוק ביולוגי (פירוק מהיר יותר במים מתוקים).

מונוכלורובנזן רעיל לבני אדם. הוא עלול לפגוע במערכת עצבים מרכזית. חשיפה גורמת לכאבי ראש, סחרחורת ועייפות.

### **פורמאלדהיד**

פורמאלדהיד הוא חומר עיקרי בייצור וסינתזה של חומרים אורגניים, דבקים, קוסמטיקה, חומרי הדברה וטקסטיל.

פורמאלדהיד גורם לתופעות אלרגיה במגע עורי. בריכוזים גבוהים במים עלול לגרום נזק למטופלי דיאליזה. פורמאלדהיד שייך לקבוצת 2A IARC.

### טלואן

טלואן משמש כממס בתעשיית צבעים, ציפויים, דבקים, שמנים, שרפים, כחומר גלם לייצור ממסים אורגניים ולתערובות דלק. טלואן נעלם מהאטמוספירה על ידי תגובה עם רדיקלים מחמצנים. במים עיליים הוא מאוד נדיף.

בחשיפה נשימתית אקוטית טלואן עלול להשפיע על מערכת העצבים המרכזית, לגרום להפרשה רירית. חשיפה ממושכת גורמת לעייפות ולאות. לטלואן אין סיווג קרצינוגני.

### כסילן

כסילן משמש בתעשיית קוטלי חרקים ותרופות כמרכיב דטרגנטי, וכממס בתעשיית צבעים, דיו ודבקים, משמש בתערובות דלק וכחומר ראשוני ביצירת מגוון כימיקלים. כסילן נדיף מאוד באוויר ומתפרק טוב במים עיליים ובאדמה. יכול להתפרק רק בתנאים אירוביים.

בחשיפה נשימתית אקוטית ל כסילן נגרם גירוי בעיניים. אחרי חשיפה לתקופת זמן קצרה נגרמת פגיעה בזמן התגובה, בקואורדינציה ובאיזון שיווי המשקל. לכסילן אין סיווג קרצינוגני.

### סטירן

סטירן משמש בעיקר לייצור פלסטיק וגומי. בסביבה (מים עיליים, תהום, מוצרי מזון) סטירן נמצא בד"כ בכמויות מזעריות.

בגוף האדם סטירן מגיע לתאי שומן מהר מאוד, ללא תלות בדרכי הקליטה. בגוף הוא מתפרק ל- 7,8 - אוקסיד סטירן - תוצרי פרוק המופרשים בשתן. סטירן שייך לקבוצת 2B IARC.

## קבוצה II - חומרי הדברה

### אתילן דיברומיד (1,2-דיברומואתן)

אתילן דיברומיד משמש בתעשייה כתוספת פעילה לאתילן בנזן, בחיטוי עשן וכקוטל חרקים. אתילן דיברומיד אינו עמיד באוויר, אולם הוא עמיד יותר בסביבה מימית, ולפיכך מהווה סיכון לזיהום מי תהום.

מחקרים הוכיחו שאתילן דיברומיד הנו חומר מסרטן לבעלי חיים. הוא שייך לקבוצת 2 IARC.

### לינדן

לינדן משמש כחומר הדברה בחקלאות, בבריאות הציבור (כינים) ובהדברת מאגרי מים (יתושים). לינדן הוא מזהם עמיד ונפוץ בסביבה. לינדן אינו מסיס במים, לא נייד בקרקע ולא נדיף באוויר.

לינדן עלול לגרום לבעיות בכבד, ובכליות. מגדיל סיכון לסרטן. הוא שייך לקבוצת 2B IARC.

### **אלאכלור**

אלאכלור הוא קוטל עשבים המשמש להגנת צמחים וגידולים חד שנתיים כנגד עשבים. אלאכלור אינו יציב בקרקע, מתנדף לאוויר ומתפרק בתהליכים ביולוגיים. בקרקע ניתן לגלות את רוב תוצרי הפרוק של החומר.

אלאכלור עלול לגרום לאנמיה, לבעיות עיניים, כבד, כליות וטחול. מגדיל סיכון לסרטן. לאלאכלור אין סיווג כקרצינוגני.

### **הפטאכלור**

הפטאכלור משמש להדברת קרקע וזרעים. בקרקע הוא מתפרק לתוצרים עמידים מאוד.

הפטאכלור גורם נזק לכבד ומגדיל סיכון לסרטן. הוא שייך לקבוצת 2B IARC.

### **כלורדן**

כלורדן הוא חומר הדברה רב שימושי, עמיד בקרקע. בסביבה מצוי בשתי צורותיו - ציס וטרנס.

כלורדן עלול לגרום לבעיות בדם ובמערכת העצבים. שתיית מים המכילים כלורדן משפיעה על מערכת העיכול והעצבים. סיכון לסרטן. כלורדן שייך לקבוצת 2B IARC.

### **מתוקסיכלור**

מתוקסיכלור משמש להדברה בפירות, ירקות, עצים, מספוא ובעלי חיים. הוא כמעט אינו נמס במים, ואינו מצוי במרבית הקרקעות החקלאיות. מתוקסיכלור עובר פירוק בתנאים אנאירוביים, כשתוצרי הפרוק הנם יציבים יחסית.

אדם סופג ביממה 1 מק"ג/ליטר מתוקסיכלור דרך מוצרי מזון ואוויר. למתוקסיכלור רמת רעילות גנטית נמוכה מאוד. הוא שייך לקבוצת 3 IARC.

### **אנדרין**

אנדרין עמיד מאוד בסביבה, כמעט ולא מתפרק בקרקע, אולם הוא נמצא במים עיליים ובמי שתייה בכמויות מזעריות בלבד.

אנדרין עלול לגרום לבעיות במערכת העצבים.

### **אטרזין**

אטרזין הוא חומר הדברה רב שימושי בארץ ובעולם להדברת עשבים; עמיד יחסית בקרקע ובמים. אטרזין חדיר מאוד בקרקע, לכן קיימת אפשרות לזיהום מי תהום.

אטרזין אינו גורם למחלות תורשתיות, הוא שייך לקבוצת 2B IARC.

### **די-ברומו טרי-כלורו פרופאן (DBCP)**

די-ברומו טרי-כלורו פרופאן הוא חומר הדברה המשמש בחיטוי אדמה חקלאית. די-ברומו טרי-כלורו פרופאן נמס היטב במים וניתן לגלותו באוויר ובירקות שגדלו באזור השימוש בחומר.

די-ברומו טרי-כלורו פרופאן ידוע כמסרטן לבע"ח ולאדם. סף הריח והטעם של החומר במים 10 מק"ג/ליטר. די-ברומו טרי-כלורו פרופאן שייך לקבוצת IARC 2.

### **קבוצה III - "תוספת שביעית"**

#### **אלדיקרב**

אלדיקרב הוא חומר הדברה קוטל חרקים בגידולים חקלאיים רבים. אלדיקרב מתחמצן בקרקע ע"י מיקרואורגניזמים לתרכובות גופרית. תוצרי הפרוק של אלדיקרב ניידים בקרקע ככל שתכולתה יותר אורגנית. אלדיקרב יציב מאוד במי תהום.

הרעלה אקוטית באלדיקרב גורמת לסחרחורת, חולשה, שלשול, בחילה, הקאה, כאב בטן, הזעה מוגברת, ראייה מטושטשת, כאב ראש, וקשיי נשימה. בליעה של אלדיקרב יכולה לגרום לדיכוי פעילות הכולין אסטרואז. חשיפה כרונית עלולה לפגוע במערכת החיסונית. אלדיקרב שייך לקבוצת IARC 3.

#### **טריפלורלין**

טריפלורלין הוא חומר הדברה נגד הופעת עשבים רעים בגידולים חקלאיים רבים. טריפלורלין אינו מסיס במים ויחסית ניח באדמה.

טריפלורלין מעלה את הסיכון ללימפומה NH. אין הוכחות לקשר ללוקמיה. טריפלורלין אינו מסווג ע"י IARC.

#### **סילבקס (TP-2,4,5)**

סילבקס משמש כקוטל עשבים בחקלאות. פרוק עיקרי שלו מתבצע ע"י ביודגרגציה, בנוסף לפרוק פוטוליטי והידרוליטי. לסילבקס פוטנציאל קטן לחלחול למי תהום. פרוק פוטוליטי של סילבקס אורך מספר שבועות.

#### **סימזין**

סימזין משמש כחומר הדברה נגד עשבים רעים בגידולים חקלאיים רבים. בתנאים רגילים פירוקו בקרקע איטי. מסיסותו במים נמוכה - אך הוא יכול לחלחל למי תהום.

סימזין עלול לגרום לדלקת עור קשה, הוא שייך לקבוצת IARC 3.

## פרמטרין

פרמטרין משמש כחומר הדברה אפקטיבי נגד מגוון רחב של מזיקים בחקלאות, ביערות ובבריאות הציבור, וחסרי חוליות ימיים. פרמטרין מתפרק במים ובקרקע ע"י אור וע"י הידרוליזה מיקרוביאלית (בתנאים אנאירוביים בקצב איטי יותר).

פרמטרין גורם לגרוד וצריבה בעור ובעיניים ועלול לפתח אדמומיות בעור; שייך לקבוצת IARC 3.

## DDT

DDT הוא חומר הדברה נגד חרקים בעל ספקטרום פעילות רחב. במספר ארצות מפותחות השימוש ב-DDT הוגבל (בגלל בעיות אקולוגיות) רק להגנה הכרחית על בריאות האדם (קדחת צהובה, מחלת השינה, מלריה, טיפוס, ומחלות נוספות המועברות ע"י חרקים). DDT יציב מאוד בסביבה ואינו ניתן לפירוק מיקרוביאלית. הוא נספג במשקעים ובקרקע, המשמשים מאגר פוטנציאלי לחשיפה ארוכת טווח. במים DDT לפני השטח של חלקיקי עכירות. DDT שאריתי מאוד ברקמות שומניות. אורגניזמים ברמות טרופיות גבוהות נוטים להכילו יותר (ביואקומולטיבי).

בהרעלה אקוטית של DDT מופיעים אפקטים של כאב ראש, הקאות, בחילה, סחרחורת, בלבול, אי שליטה בשרירים, רעד, עוויתות. אין הוכחות לקרצינוגניות של DDT באדם. הוא שייך לקבוצת IARC 2B.

## 2,4-D (די כלורופנוקסי חומצה אצטית)

2,4-D הוא קוטל עשבים בשימוש רחב בעולם לרחבי עלים ולצמחי מים. D-2,4 מגיע לסביבה משפכי מפעלים וכקוטל עשבים. D-2,4 מתפרק במהירות במים ע"י פירוק ביולוגי וע"י פירוק פוטוקטליטי בפני השטח. בתנאים אירוביים, D-2,4 מתפרק מהר יותר. הוא אינו מצטבר במשקעים ובסדימנטים, ואינו מצטבר ברקמות אורגניזמים ימיים ויבשתיים בגלל פירוקו המהיר.

בחשיפה אקוטית לרמות גבוהות של 2,4-D מופיעים בחילה, הקאה, שלשול, חולשת שרירים, התקשות השרירים ושיתוק חלקי, השפעה על פעולת הכליות, הריאות, מערכת עצבים מרכזית והיקפית, כולל האטה בנשימה, איבוד הכרה ועד מוות. בחשיפה כרונית ל-2,4-D נמצא קשר חזק לסרטן ברקמות הרכות, למחלת הודג'קין וללימפומה NH. הוא שייך לקבוצת IARC 2B.

## ויניל כלוריד

ויניל כלוריד נמצא בשימוש בעיקר לייצור PVC. הוא מהווה חומר גלם בייצור תרכובות פלסטיק. תוצר פרוק של טרי וטראכלורואתן. ויניל כלוריד יציב במצב של חוסר באור וחמצן, אך יוצר פולימרים כשנחשף לחמצן, אור או חום. ויניל כלוריד במים מתנדף לאטמוספירה תוך מספר שעות עד ימים. בקרקע ויניל כלוריד יכול לחלחל עד למי תהום ולהתחבר ל- $CO_2$  ויוני כלוריד ו/או להישאר לא קשור.

ויניל כלוריד הוא חומר נרקוטי שעלול לגרום גם לאיבוד ההכרה. בחשיפה נשימתית כרונית הוא גורם לעוויתות כאב, חוסר שליטה בידיים וטרשת ברקמות החיבור. לויניל כלוריד קרצינוגניות בחשיפה כרונית נשימתית (סרטן בכבד, במוח, ובבלוטות לימפה). מחקרים הראו עליה בתדירות הפרעות כרומוזומליות כתוצאה מחשיפה לויניל כלוריד. הוא שייך לקבוצת IARC 1.

## מונוכלוראמינים

מונוכלוראמינים מהווים חומר ביניים ביצירת הידרזין. כמו כן הם נוצרים בתגובה בין אמוניה לכלור (בהכלרת מים) ומשמים גם לחיטוי מי שתייה. מונוכלוראמינים יציבים בסביבה, הופעתם ויציבותם תלויים בערכי הגבה ומליחות. מתפרק מהר יותר כשמוזן למים עשירים בברומיד.

כאשר סופקו לחולי דיאליזה מים עם המכילים כלוראמינים דווח על אנמיה המוליטית, מאופיינת בדנטורציה של המוגלובין והתפוצצות תאי דם אדומים.

## די-אתיל-הקסיל-פתלאט (די אוקטיל פתלאט)

די-אתיל-הקסיל-פתלאט משמש חומר גלם פלסטי לתרכובות ושרפים של PVC. הוא משמש גם כתחליף בנוזלים מבודדים במתח נמוך. די-אתיל-הקסיל-פתלאט אינו מסיס במים. בגלל המיידיות בה הוא יוצר תמיסות קולואידליות המסיסות האמיתית שלו גבוהה יותר. קצב הנידוף שלו איטי. די-אתיל-הקסיל-פתלאט עובר פירוק ביולוגי מהיר במים ובבוצה בתנאים אירוביים, ואילו בתנאים אנאירוביים קצב פירוקו איטי.

בחשיפה אקוטית לריכוזים גבוהים של די-אתיל-הקסיל-פתלאט דווח על הפרעות מתונות בפעולת המעיים ותחושת קתריזיס. בחשיפה כרונית דווח על בעיות עצבים. מעט מחקרים הראו שחשיפה ל די-אתיל-הקסיל-פתלאט עשויה לתרום לתמותה אפשרית מסרטן הפנקריאס והדם. הוא שייך לקבוצת 2B IARC.

## קבוצה IV - טריהלומתאנים

טריהלומתאנים, הנם קבוצת חומרים הלואורגניים (כלורו-אורגניים \ ברומו אורגניים) העלולים להיווצר במים כתוצרי לוואי של תהליך חיטוי. הם ייווצרו כתוצרי לוואי של חיטוי מים (כלורינציה \ ברומינציה) המכילים חומר אורגני מומס. לכן הם ימצאו בד"כ בריכוזים גבוהים יותר במים עיליים שעברו תהליך חיטוי מאשר במי תהום שעברו חיטוי (מים עיליים בד"כ מכילים יותר חומר אורגני מאשר מי תהום).

בריכוזים גבוהים, כל החומרים בקבוצת הטריהלומתאנים גורמים נזק לכבד ולכליות.

## ברומופורם

בריכוזים גבוהים גורם נזק לכבד ולכליות. הוא שייך לקבוצת 3 IARC.

## כלורו דיברומומתאן

בריכוזים גבוהים גורם נזק לכבד ולכליות. הוא שייך לקבוצת 3 IARC.

## כלורופורם

גורם נזק למערכת העצבים. עלול להשפיע על תפקוד כבד וכליות הוא שייך לקבוצת 2B IARC (דיון מפורט בעמ' 19).