

ההתפלה בישראל

ד"ר שרית בסון, יחידת התפלה ופרויקטים מיוחדים, חברת "מקורות"

רקע

כ-80% מאספקת המים למגזר הביתי בישראל היום מקורה במים מותפלים. המים המותפלים הם מקור מהימן למים שפירים שיכולים להבטיח אספקת מים רציפה ונאותה לתושבי המדינה גם בשנים שחונות של בצורת. באמצעות התפלת מים אפשר לתת מענה לגירעון המים המצטבר הנובע מעלייה בצריכת המים בעקבות התרבות האוכלוסייה והעלייה ברמת החיים.

התפלת מים היא תהליך הפרדה בין המים למלחים והמינרלים המומסים בהם, במטרה להפיק מים מופחתי מלחים הראויים לשתייה או לחקלאות. מי ההזנה בתהליך מכילים ריכוזים גבוהים יחסית של מלחים ומוגדרים כמים מליחים (קידוחים) או מלוחים (מי-ים). ריכוז כלל המלחים במים המליחים בדרך כלל אינו עולה על 5,000 מג"ל (מ"ג לליטר), לעומת מי-ים שבהם הריכוז מגיע לכ-40,000 מג"ל ואף יותר. דחיית המלחים בתהליך ההתפלה גבוהה מאוד, ולכן ריכוז כלל המלחים במים המותפלים יכול להיות קטן מ-300 מג"ל.

בתהליך ההתפלה ישנו זרם הזנה של מים מליחים/מלוחים ושני זרמי יציאה: של המוצר (המים המותפלים) ושל התמלחת (רכז התפלה). התמלחת היא התמיסה הנותרת בסוף התהליך, המרכזת את המלחים שנותרו בתהליך.

שיטות התפלה

רוב מתקני ההתפלה הקיימים כיום פועלים בשתי טכנולוגיות עיקריות: הפרדה באמצעות ממברנות (אוסמוזה הפוכה) וזיקוק באמצעות אדים.

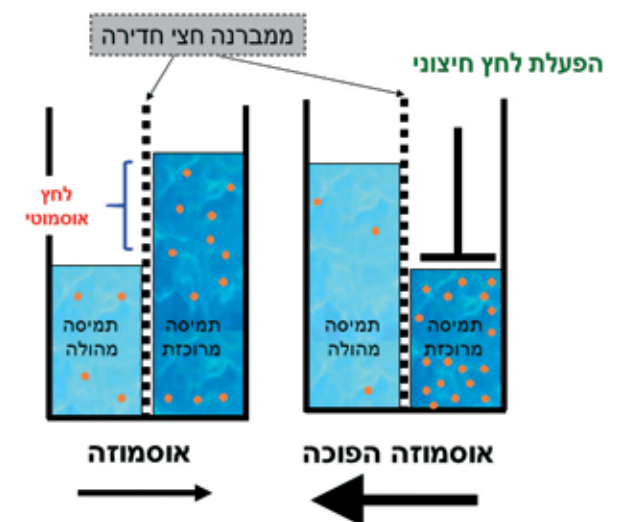
התפלה בשיטת זיקוק באמצעות אדים

מבחינה היסטורית טכנולוגיית הזיקוק פותחה מוקדם יותר, ומתקנים מסוג זה נפוצים במיוחד בארצות המפרץ הפרסי (בעיקר בערב הסעודית), מכיוון שצריכת האנרגיה בתהליך זה גבוהה. קיימות שלוש שיטות בתהליך התפלה של **זיקוק באמצעות אדים** (פריצה רב-דרגית, זיקוק רב-שלבי, זיקוק דחיסת אדים), והמשותף לכולן הוא חימום המים המלוחים ולאחר מכן עיבוי אדי המים שנוצרים. החום המשתחרר בעת העיבוי מושב ומנוצל לחלק הראשון של התהליך, כלומר, לחימום מים מלוחים נוספים (יעילות אנרגטית).

התפלה בשיטת האוסמוזה הפוכה

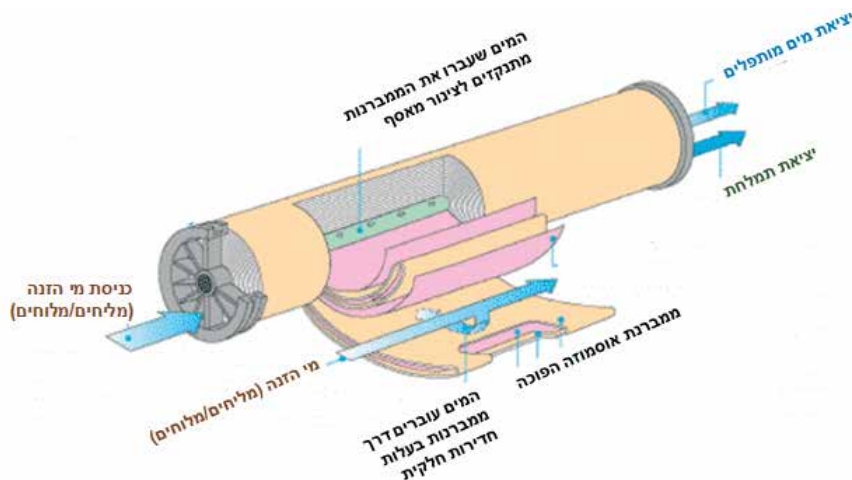
מאוחר יותר פותחה טכנולוגיית **האוסמוזה הפוכה**, שכיום היא שיטת ההתפלה הנפוצה ביותר בשל צריכת אנרגיה נמוכה יותר, ולכן מצויה בעיקר בארצות הברית ובמדינות הים התיכון. בשיטה זו משתמשים בממברנות לצורך הפרדת המלחים, בהתאם לסכמה שבאיור 1. למעשה, בטכנולוגיה זו משתמשים בתהליך הפוך לאוסמוזה הקיימת בטבע בתאי בעלי-חיים וצמחים. בתהליך האוסמוטי קיים מעבר של מים מכיוון התמיסה המהולה (ריכוז מלחים נמוך) לכיוון התמיסה המרוכזת (מלוחה), על מנת לבצע מיהול והשוואת ריכוזים. המים עוברים דרך ממברנה חצי חדירה, המאפשרת מעבר מים בלבד ומונעת מעבר מלחים. באוסמוזה הפוכה כיוון מעבר המים הפוך מהכיוון בתהליך הטבעי של האוסמוזה (ולכן נקרא אוסמוזה הפוכה). המים עוברים מהתמיסה המרוכזת לתמיסה המהולה (מים מותפלים), אולם כדי שמעבר המים אכן יתרחש, נדרשת הפעלת לחץ חיצוני גבוה (גבוה מהלחץ האוסמוטי של המלחים בתמיסה), כ-20 וכ-60 בר עבור התפלת מים מליחים ומי ים, בהתאמה. בשל הפעלת הלחץ הגבוה הנדרש בתהליך זה, נחשבים מתקני ההתפלה לצרכני אנרגיה גדולים. קצב מעבר המים דרך הממברנה תלוי בלחץ המופעל, בריכוז המלחים, בטמפרטורה ובחדירות הממברנה. חדירות הממברנה מושפעת מסוג הממברנה, מחומר המבנה ומהתכונות הכימיות והפיזיקליות שלה.

* כל האיורים, מלבד איור 2, באדיבות מקורות.



איור 1 - סכמת תהליך האוסמוזה והאוסמוזה הפוכה

בתהליך האוסמוזה ההפוכה הממברנה היא סינתטית ומאפשרת מעבר חומרים עפ"י קריטריונים שנקבעו מראש (גודל, צורה, אופי). הממברנה נדרשת לספק שטף מים מותפלים גבוה (נפח מים ליחידת שטח וזמן) והתנגדות גבוהה למעבר מלחים דרכה (כושר דחיית מלחים גבוה, מעל ל-99%).



COPYRIGHT: 2018 TORAY INDUSTRIES, INC
איור 2 - מבנה ממברנת אוסמוזה הפוכה ותיאור זרימת המים דרכה

רוב ממברנות האוסמוזה ההפוכה המיוצרות היום מורכבות משלוש שכבות: השכבה הפעילה היא פוליאימיד, ושתי השכבות התומכות עשויות מפוליסולפון ופוליאיסטר. באיור 2 ניתן לראות סכמה של ממברנת אוסמוזה הפוכה ואת אופן הזרימה דרכה: זרם כניסה של מי הזנה (מלוחים) ושני זרמי יציאה של מים מותפלים ותמלחת התפלה (רכז). התמלחת מכילה ריכוז גבוה של מלחים וכימיקלים שונים ששימשו בתהליך, כגון אַנְטִי־סְקַלֶנְטִים למניעת שיקוע מלחים ועוד. לכן יש לפנות את הרכז באופן מוסדר בהתאם לדרישות הרשויות, ובישראל - בתיאום עם המשרד לאיכות הסביבה (אגף ים וחופים). כיום ישנן מספר שיטות לטיפול ברכז. לרוב תיבחר שיטת הטיפול בהתאם לסוג מתקן ההתפלה ולמיקומו הגאוגרפי, כגון פינוי לים, בריכות איוד, מיהול במי השקיה ועוד.

ההתקדמות הטכנולוגית הגדולה שחלה בשנים האחרונות הביאה לירידה משמעותית בעלויות ההתפלה בשיטת האוסמוזה ההפוכה, ועיקר החידושים נוגעים לשיפור ביצועי הממברנות (דחיית מלחים גבוהה וחדירות גבוהה) ולשיטות השבת האנרגיה מהרכז שמטרתן ניצול האנרגיה האגורה ברכז (לחץ וספיקה) והעברתה לזרם המזין את הממברנות (מים מליחים/מלוחים) לצורך חיסכון אנרגטי.

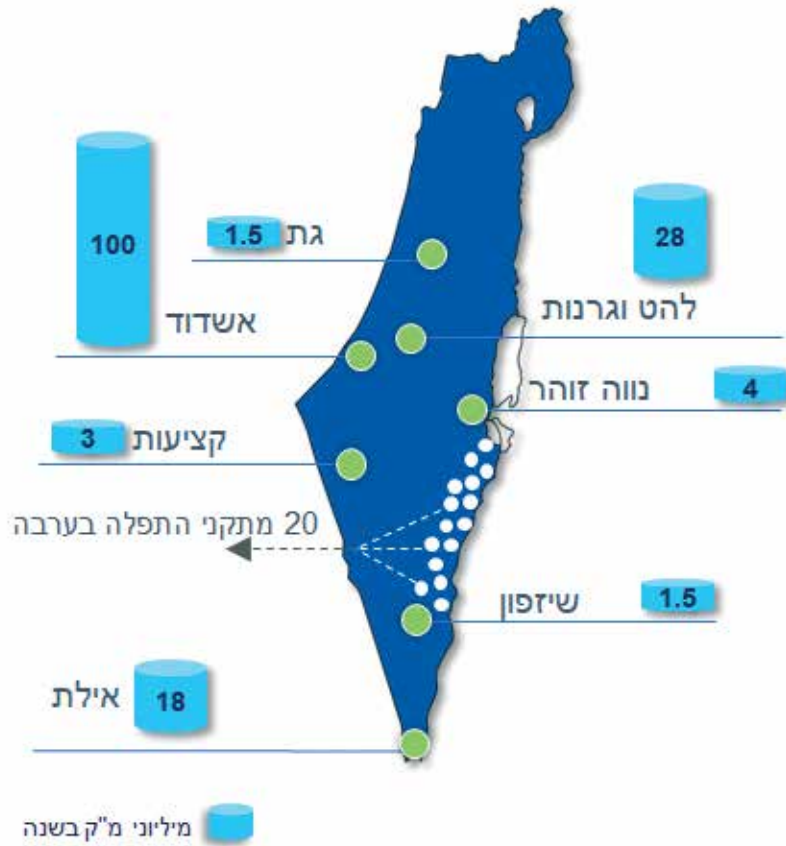
ישראל היא בין המדינות החלוצות שהתפילו מים לשתיה, וגדולי המתקנים בעולם להתפלת מים לאוסמוזה הפוכה ממוקמים היום לאורך מישור החוף הישראלי. מאז שנת 2005 מספקים מתקנים אלה מים מותפלים בכמויות גדולות הנמדדות במאות מלמ"ש (מיליון מטרים מעוקבים בשנה). נכון לשנת 2018 קיימים בישראל חמישה מתקנים להתפלת מי הים התיכון בתפוקה כוללת של כ-590 מלמ"ש: באשקלון, באשדוד, בפלמחים, בשורק ובחדרה. בנוסף קיים תכנון למתקן התפלה שישי בצפון הארץ (בסמוך לקיבוץ שמרת). המים המותפלים משולבים במערכת האספקה הארצית. בשנת 2011 החלה חברת מקורות בבניית המוביל הארצי החדש כדי לקלוט את המים המותפלים ממתקני התפלה גדולים אלו שהוקמו לאורך חוף הים התיכון.

בנוסף להתפלת מי ים, ישנם כ-80 מלמ"ש ממתקנים נוספים להתפלת מים מליחים, וכ-60 מלמ"ש מתוכם הם מ-36 מתקני התפלה בשיטת האוסמוזה ההפוכה המפעילה כיום חברת המים הלאומית "מקורות", בספיקה כוללת של 180,000 מ"ק ליממה. איור 3 מתאר את פריסת מתקני מקורות בישראל.

אספקת המים לעיר אילת

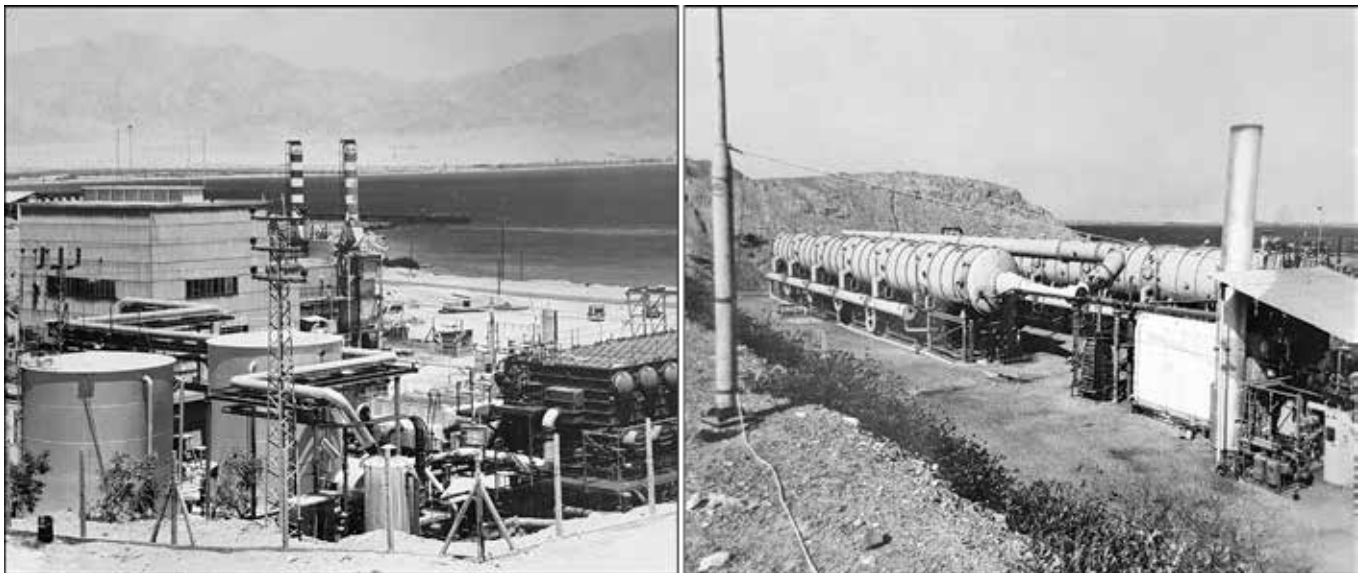
כידוע, כל מי השתייה המסופקים בעיר אילת הם מים מותפלים. תהליך זה החל בתחילת שנות ה-60, כאשר מקורות התגייסה לפתרון מצוקת המים של העיר. זוהי ראשית ההתפלה בישראל. המתקנים הראשונים בעיר היו בשיטת זיקוק אדים (איור 4). בשנת 1965 הוקם בעיר המתקן הראשון להתפלת מי ים, ולאחר הרחבתו בשנת 1969 גדלה התפוקה לכ-7,000 מ"ק/יממה. מתקן זה הוקם על-ידי חברת "מקורות" וחברת החשמל בצמוד לתחנת הכוח המקומית שממנה סופק הקיטור. בשנת 1973 הוקם מתקן ההתפלה השני בעיר אילת עם כושר ייצור של כ-4,000 מ"ק/יממה.

בשנות ה-70 החל יישום תהליך האוסמוזה ההפוכה באילת, כאשר בשנת 1977 הופעל על-ידי "מקורות" מתקן להתפלת מים מליחים - סבחה א' שהחליף בהדרגה את מתקני ההתפלה בשיטת זיקוק האדים שעלות הפעלתם הייתה יקרה יותר. עם גידול הביקוש למים בעיר אילת נבנה בשנת



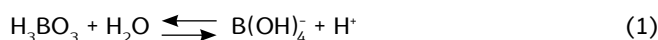
איור 3 - תפרוסת מתקני התפלת מים בשיטת האוסמוזה ההפוכה של חברת "מקורות"

1992 מתקן התפלת מים מליחים נוסף בשיטת האוסמוזה ההפוכה - סבחה ב'. כושר הייצור כיום של שני מתקני התפלת מים מליחים אלו בעיר אילת שבבעלות מקורות גדל למעל ל-50,000 מ"ק ביום.



לקוח מארכיון מקורות
 איור 4 - שני מתקני איוד באילת: מתקן התפלה בשיטת פריצה רב דרגית שהופעל בין השנים 1965-1969 עם תפוקה יומית של 7,000 מ"ק/יום (שמאל) ואב טיפוס ראשון של מתקן זיקוק רב שלבי בשנת 1973 עם תפוקה יומית של 4,000 מ"ק/יום (ימין).

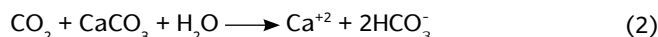
בשנת 1997 הוקם באילת על-ידי מקורות מתקן ההתפלה הראשון בישראל להתפלת מי ים (ים סוף) - מתקן סבחה ג'. מתקן זה הוא ייחודי מסוגו בעולם המתפיל תמהיל של מי ים ורכז התפלה של מים מליחים (ממתקני סבחה א' וסבחה ב'). כושר הייצור של סבחה ג' כיום הוא כ-10,000 מ"ק/יממה. תמלחת ההתפלה של המתקן מועברת לחברת המלח לייצור מלח. חברת מקורות הייתה חלוצה כשתכננה ויישמה בשנת 2005 טכנולוגיה להפחתת הבורון ממי המוצר המותפלים במתקן התפלה סבחה ג'. גידולים מסוימים רגישים לריכוזי בורון גבוהים (פירות הדר, אבוקדו). ריכוז הבורון במי ים הוא גבוה (כ-5 מג"ל), וכדי להורידו לריכוז הנמוך הנדרש להשקיה חקלאית (0.4 < מג"ל) ישנו שלב התפלה נוסף של המוצר ב-10 > pH. ב-pH זה מתרחשת התגובה בניסוח 1, שבה נוצר יון הבוראט מהחומצה הבורית:



של ממברנת האוסמוזה ההפוכה גבוה יותר ליון הבוראט מאשר לחומצה הבורית (גודל, מטען). הפחתת ריכוז הבורון במים המותפלים מאפשרת לחקלאי הערבה הדרומית השקיה בלתי מוגבלת בקולחי העיר אילת.

נושא פינוי תמלחת ההתפלה לים הוא אחד הנושאים המטרידים את שומרי הסביבה. חשוב לציין שהפעלת מתקני התפלה בהיקף נרחב שכזה נחשבת לתופעה חדשה יחסית שטרם נחקרה לעומקה כדי לאמוד את השפעתה על הסביבה הימית. עם זאת, ישנם מחקרים בנושא, וביניהם המחקרים של חברת "מקורות", שמטרתם למזער את ההשפעה הסביבתית של הרכז על האזור הימי, כדוגמת בחינת השימוש בכימיקלים ידידותיים יותר לסביבה בד בבד עם הורדת צריכת הכימיקלים לשימוש מינימלי. כמו כן ישנם מחקרים לצמצום תמלחת ההתפלה באמצעות טכנולוגיות חדשות להגדלת יעילות התהליך ולצמצום זרם הרכז.

בתהליך ההתפלה מורחקים רוב המליחים, בין היתר מלחי סידן ומגנזיום. כיום מבוצעת השבת סידן למים המותפלים על-ידי מיהול עם קידוחים נוספים או בתהליכי ייצוב לערכים בהתאם לתוספת השישית לתקנות בריאות העם למי שתייה מ-2013. תוספת הסידן מבוצעת באמצעות אבני גיר, בהתאם לניסוח 2:



יש לציין שהשבת המגנזיום למים המותפלים עדיין נבחנת, ולכן טרם התגבשה החלטה רגולטורית בנושא.

לסיום, חשוב לציין שמלבד העובדה שהמים המותפלים מהווים מקור מים מהימן המאופייני באיכות גבוהה, הרי בנוסף אפשר באמצעותם גם לשקם את מאגרי המים הטבעיים (כנרת, אקוויפרים) שמצבם הוחמר לאחרונה בשל שנות בצורת הרצופות. תוספת המים בהתפלה תאפשר שיקום מאגרי המים הטבעיים הן מבחינה כמותית והן מבחינה איכותית.



איור 5 - מתקן ההתפלה אשדוד שבבעלות חברת "מקורות" פועל בשיטת האוסמוזה ההפוכה. המתקן החל לפעול בשנת 2015 וכיום מספק מים מותפלים בתפוקה של 100 מלמ"ש. | צילום: חברת אלכטרוס.