

האשלג: טיבו, מקורותיו והפקתו במפעלי ים המלח – עבר והווה

שלמה אדלר*

מבוא

המונח אשלג (potash) הוא שם כימית-עשייתי כולל לקבוצת מלחים המכילים את היסוד הכימי אשלגן (K) כמרכיב עיקרי, מאוזן רובו ככולו על ידי כלוריד. החומר מופק ממרבצי מינרלים בטבע, או באורח מלאכותי, לצרכים שונים שהעיקרי בהם הוא ייצור דשן לחקלאות. מקור השם האנגלי של האשלגן, Potassium, קשור לשיטת הפקתו בעבר הרחוק על ידי מיצוי אפר צמחי שנשרף בסיר עשוי לדבר ('pot-ash'). סמלו הכימי (K) נובע מן השם הלטיני של המתכת (Kalium), וזה האחרון נגזר מן השפה הערבית. המקור העברי של המונח אשלג מצוי בספרות התלמודית ומציינן צמח שהאפר שלו שימש לכביסה והכיל כנראה מלחי אשלגן ונתרן. מספרו האטומי של האשלגן 19 ומשקלו האטומי – 39.09. האשלגן הוא יסוד הכרחי בתזונה היומיומית של האדם.

ערכו של האשלג כדשן בחקלאות התגלה ב-1840 על ידי יוסטוס פון ליביג (Liebig, 1803-1873), ואת מרבץ האשלג הראשון שהביא להולדת תעשיית האשלג מצאו גאולוגים גרמנים בסטאספורט (Stassfurt) בשנת 1860. נוסף על השימוש העיקרי כדשן משתמשים באשלג גם בתעשיית התרופות, עיבוד מזון, תחליפי מלח בישול, מטלורגיה (תורת המתכות), טקסטיל ודפוס.

כבר במאות התשע עשרה והעשרים חישבו כלכלנים, כמו תומס מלתוס (Malthus, 1766-1834) ותלמידיו, שגידול אוכלוסיית העולם מתרחש בקצב של

* שלמה אדלר היה סמנכ"ל ומנהל חטיבה במפעלי ים המלח 1983-1998.

טור גאומטרי, בעוד קצב ייצור המזון בעולם נוהג לפי טור חשבוני. כלומר, בגלל מחסור בקרקעות פוריות יהיו קשיים באספקת המזון לאוכלוסיית העולם. למרות ההתפתחויות המדעיות בתחומי המלחמה נגד המדבור, פיתוח מקורות המים והתפלה של מים מלוחים, פיתוח זנים עתירי יבול או השבחה גנטית, עדיין קיים כורח עולמי בסיסי להאיץ את פיתוח תעשיית הדשנים, שבעזרתם ניתן להגדיל בשיעור ניכר את תנובתן של הקרקעות הזמינות לחקלאות. נוסף על הגידול המואץ באוכלוסיית העולם מביאה העלייה ברמת החיים בארצות המתפתחות, ובעיקר בסין, הודו וברזיל, לביקושים לדשנים בכלל ולדשני אשלג בפרט, ואלה מגיעים לשיאים שלא נודעו כמותם בעבר. מן הראוי לציין שבשנים האחרונות, נוסף על היבולים הנחוצים בעולם לאספקת מזון, קיימת מגמה לצרוך גידולי תירס (בארצות הברית וקנדה) וקני סוכר (בברזיל) לצורך ייצור דלק ידידותי לסביבה (biofuels).

בארץ מופק אשלג מתוך מי ים המלח על ידי חברת מפעלי ים המלח, שלה זיכיון להפקה עד שנת 2030. במאמר זה אתרכו בתיאור ההפקה של האשלג מגוף מי ים המלח מאז הקמת המפעלים ועד היום. תכולת האשלגן בדשנים העיקריים לדישון וחקלאות בעולם מוערכת כדלקמן:

- Potassium Chloride (KCl) מהווה כ-94.5% מצריכת ה-K העולמית.
- Potassium Sulphate (K_2SO_4) מהווה כ-5% מצריכת ה-K העולמית.
- Potassium Nitrate (KNO_3) מהווה כ-0.5% מצריכת ה-K העולמית.

מספרים אלה מדגישים את חשיבותו של האשלג לייצור דשנים לחקלאות ואת מיקומה המרכזי של תרכובת האשלגן כלוריד (KCl) בחומר דשן זה. מכאן נובע גם הפוטנציאל המיוחד של מי ים המלח כחומר גלם לייצור אשלג. האשלג משמש הן לדישון ישיר והן כבסיס לייצור דשנים מורכבים, בעיקר על בסיס זרחן (P) וחנקן (N), ובכמויות קטנות יותר בתרכובת עם סידן (Ca) ומגנזיום (Mg). את חומר הגלם לייצור אשלג בעולם כורים ממכרות בארצות שבהן קיימים מרבצים של סילוניט (תערובת המינרלים $KCl + NaCl$) או ממרבצי המינרל קרנליט ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) וכן מאגמים מלוחים עשירי אשלגן. בארץ מופק האשלג מחומר הגלם קרנליט, המתגבש בכרכות האידוד של מפעלי ים המלח.

חומרי הגלם הטבעיים המשמשים להפקת אשלג ואופן היווצרותם

מקובל לחלק את חומרי המוצא המשמשים לייצור אשלג לשתי קבוצות עיקריות על פי צורת הופעתם: (א) חומרי גלם מוצקים המופיעים כמרבצי מינרלים בחתך הגאולוגי במקומות שונים בעולם; (ב) חומרי גלם המומסים באגמים עתירי אשלגן ובתמלחות בתת־הקרקע.

מחד, התהליכים הגאוכימיים המורכבים המביאים ליצירת חומרים ותמיסות אלו בטבע לעולם אינם מספיקים כדי לבודד במהלכם מוצר 'נקי' מבחינה כימית. מאידך, כמעט תמיד הם אחראים לחלק חשוב של ההפרדה והניקוי בדרך הארוכה לקבלתו של המוצר הסופי הנדרש בשוק. עקרונות אלו חלים על שתי הקבוצות שצוינו לעיל. במרבצי מינרלים שבהם נפוץ המינרל סילוויט (*sylvite*), שהרכבו KCl , מופיעים בדרך כלל מינרלים נוספים של נתרן (Na), מגנזיום (Mg) וסידן (Ca), ככלורידים ו/או סולפטים (קשורים ל- SO_4). מינרלים כאלה¹ עשויים להופיע כשכבות עצמאיות, בחילופין עם שכבות בצר האשלגן או מעורבים בתוכן. בדומה לכך, גם אגמים עשירי אשלגן ותמלחות שנמצאו בתת־הקרקע במקומות רבים בעולם (ובאגן ים המלח בכלל זה) מכילים בתמיסתם חומרים נוספים הדומים לאלו המלווים את האשלג במרבצים המוצקים. יתרה מזו, בטבע קיים מגוון רחב של מינרלים אשלגניים,² למשל כאלה המהווים מרכיבים ראשיים של סלעי גרניט, הבונים חלק גדול של המסלע הנחשף על פני היבשות. למרות נגישותם ותפוצתם של האחרונים הם אינם מתאימים לשמש כחומר מוצא לתעשיית האשלג בגלל שתי סיבות לפחות: (א) האשלגן בסלעים הגרניטיים ודומיהם קשור במינרלים סיליקטיים, שמסיסותם במים (תכונה הכרחית של דשנים) קטנה מאוד יחסית לזו של המינרלים הכלורידיים המומסים באגמים ובתמלחות, המופיעים גם כמוצקים

1 בלשון המדעית נהוג להגדיר את המינרלים בעלי הערך הכלכלי כימינרלי בצר' (*ore minerals*), ואת הנלווים אליהם וחסרי ערך כלכלי כימינרלי טפל' (*gangue minerals*). מכך מובן שהגאולוגים מנסים לאתר מרבצים שבהם היחס בצר/טפל הוא מרבי. הגדרתו של מינרל מסוים כיבצר' או 'טפל' אינה מוחלטת, והיא תלויה בחומר המבוקש. במכרה של מלח בישול, למשל, המינרל *halite* ($NaCl$) הוא הבצר, ומינרלים של אשלגן ומגנזיום (למשל *sylvite* [KCl] או *carnallite*) הם המינרלים הטפלים. במכרה אשלג ההגדרה תהיה הפוכה (סילוויט וקרנליט הם הבצרים, והליט הוא מינרל התפל).

2 דהיינו, אשלגן הוא מרכיב כימי הכרחי בהגדרתם. דוגמה לכך היא המינרל קרנליט שהוזכר לעיל. במקרה זה גם האשלגן וגם המגנזיום הם מרכיבים הכרחיים להגדרת המינרל, שהוא לפיכך מינרל מגנזי ואשלגני כאחד. מינרל זה מכיל תמיד ריכוזים נמוכים של Na , Br ועוד יסודות אחרים, אולם אלו אינם נכללים בהגדרתו הכימית.

במרבצים השכבתיים; (ב) הפרדת המינרלים הסיליקטיים נושאי האשלגן מתוך סלעים סיליקטיים (למשל גרניט) לצורך ריכוז הבצר ומיצוי האשלגן מתוכם לאחר הפרדתם הם תהליכים יקרים מאוד ואינם כדאיים מבחינה כלכלית. שאלה בעלת עניין מדעי מיוחד היא אם האסוסיאציה המינרלוגית³ במרבצים המוצקים וההרכב הכימי של אגמים עשירי אשלגן הם מקריים, ואם יש קשר גנטי בין המרבצים המוצקים לבין תמלחות אלה. הדמיון באסוסיאציה המינרלוגית-כימית במרבצי אשלג מוצקים ומומסים אינה מקרית, והיא נובעת מכך שהתמיסה המקורית ('תמיסת האם' או 'mother liquor') שממנה נגזרו, בתהליכים מורכבים וממושכים מאוד, הייתה מי אוקיינוס קדום. היות והרכב האוקיינוסים לא השתנה מאוד במשך התקופות הגאולוגיות האחרונות, הביאו תהליכים גאולוגיים וכימיים דומים שפעלו עליהם במקומות ובזמנים שונים לתוצאות דומות. לטיעון זה יש השלכות כלליות חשובות על ההיסטוריה הגאוכימית של האוקיינוסים, ויש בו כדי להסביר את הרכבו המיוחד של ים המלח, של גופי המלח שבסביבתו ושל אוצר האשלג המומס בו.

תולדות ייצור האשלג בארץ ישראל

ייצור האשלג בים המלח משתרע לאורך שתי תקופות, שביניהן חוצצות הקמתה של מדינת ישראל ומלחמת השחרור.

תקופה ראשונה: 1925–1948

ראשיתה של הפעילות המחקרית והתעשייתית להפקת אשלג היא בירידתם של משה נובומייסקי ומוסיה (משה) לנגוצקי לים המלח בשנת 1925, במטרה לגלות את אוצרותיו המינרליים. הם ביקשו לברר, בעזרת בדיקות טכניות שביצעו (בסיוע ד"ר סטפן לוונגרט), אפשרויות להקים שם מפעל תעשייתי שישען על ניצול המינרלים האצורים במי ים המלח. בדיקותיהם כללו מדידות טמפרטורה, לחות

3 אסוסיאציה מינרלוגית מוגדרת כצירוף של שני מינרלים או יותר המופיעים יחד באותו גוף גאולוגי (סלע, סדימנט וכדומה). לדוגמה: אסוסיאציה מינרלוגית נפוצה ברכסי הכורכר בשפלת החוף היא calcite-quartz. באבני החול במכתשים נפוצה האסוסיאציה quartz-feldspar-mica. האסוסיאציה המינרלוגית עשויה לספר רבות על תנאי יצירתו של סלע ועל שינויים שחלו בו מאז הולדתו.

אוויר יחסית ומוחלטת, לחץ אדים, קצב התאדות של מי ים המלח, קצב חלחול לתוך הקרקע ונתונים הנדסיים אחרים. מסגרת הבדיקות כללה בנייה של מספר ברכות ניסיוניות לבדיקת תהליך האיזוד.

אי אפשר לתאר את הניסויים שערכו מוסיה לנגוצקי וחבריו מבלי להדגיש את התנאים, הבלתי אפשריים לכאורה, ששררו אז בים המלח, ובכללם האקלים הקשה בקיץ, הריחוק מכל יישוב ומיעוט התושבים הבדווים ששהו במקום. המלאכה לא הייתה צולחת ללא הרוח החלוצית של אנשים מופלאים אלה, הרגשת השליחות הציונית שקיננה בהם ולהט יצירתם הבלתי רגיל.⁴

את בדיקת התוצאות וניתוחן תיאם ד"ר מרדכי מקס בובטלסקי מהמכון לכימיה של האוניברסיטה העברית בירושלים. הוא גם פיתח, לאחר קבלת דוגמאות הקרנליט הראשונות, את השיטה של הפקת האשלג ממלח זה. בשנת 1929 נסתיימו המחקרים והוחל בתכנון מפעל הייצור.

תכנון המפעל התבסס על השיטה שהביא ממפעלי האשלג בגרמניה המהנדס הגרמני הנריק פורמן, והוא הוקם בצפון ים המלח לצדו של קיבוץ בית הערבה. הגישה למפעל הייתה מירושלים ויריחו.

ייצור האשלג בצפון ים המלח החל בשנת 1931, לאחר שביוני 1930 השיג נובומייסקי מממשלת פלשתינה-א"י את הזיכיון הנדרש ל'מיצוי המלחים והמינרלים של ים המלח'. בשנים 1930-1947 ייצרו בחברת האשלג הארץ ישראלית בצפון ים המלח 1,040,000 טונות אשלג. קצב הייצור הוגבר בשנים 1937-1947, ובמיוחד בתקופת מלחמת העולם השנייה, שבה שימש האשלג כמוצר אסטרטגי עבור האימפריה הבריטית במלחמתה נגד הנאצים. כמות האשלג שהופקה בעולם לפני מלחמת העולם השנייה נתונה בנספח 1.

תקופה שנייה: 1951 עד ימינו

הפקת האשלג מים המלח, הפעם על ידי חברת האשלג הישראלית, התחדשה ביוני 1952, לאחר השבתת פעילות זו במהלך מלחמת העצמאות ובמשך מספר שנים אחריה. הבעלות על חברת האשלג הארץ ישראלית הועברה מידי מייסדה, משה נובומייסקי, וגורמים פרטיים נוספים לידי ממשלת ישראל. ניקוי ברכות

4 הסיפור המדעים של חברת האשלג הארץ ישראלית וקיבוץ בית הערבה תואר היטב על ידי יוסי לנגוצקי במאמרו בחוברת 1 של 'מלח הארץ' ועל ידי יוסי אפשטיין במאמרו 'תהליכים ומוצרים בחברת האשלג (1925-1948)' (אפשטיין, 1995).

האיוד ושיפוץ מתקני הייצור החל בראשית שנות החמישים בדרום ים המלח, כאשר רוב עובדי המפעלים עדיין התגוררו במחנה בסדום והיו מנותקים רוב הזמן ממשפחותיהם.

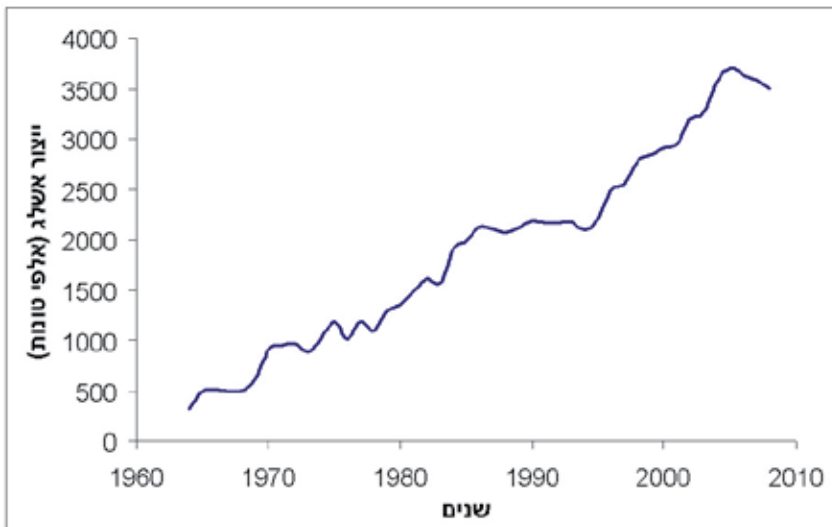
בתקופה זאת שיטות הייצור עדיין היו מיושנות ותפוקת המפעל הייתה קטנה: החל מ־15,000 טון לשנה ב־1955 עד לכ־170,000 טון לשנה בשנת 1966. התוצרת הייתה בטיב ירוד. ב־1955 הגיעו הנהלת המפעל וצוות המהנדסים שלו למסקנה כי קטנים הסיכויים של מפעלי ים המלח לחדור לשוק הבינ־לאומי ללא הגדלת פוטנציאל הייצור. הצעד ההיסטורי שנקט לצורך זה היה סכירת החלק המערבי של האגן הדרומי של ים המלח, שהיה רדוד באופן יחסי, ופיתוחו על ידי חלוקה לברכות אידי ענקיות שהתווספו לשטחי האיוד הקיימים. המערכת הישנה של ברכות המלח הוסבה לברכות האיוד לייצור קרנליט (איור 1).



איור 1: ים המלח וברכות האיוד: האגן הצפוני העמוק, הכולל את חצי אי הלשון, ניכר בצבעו הכהה. צבען של ברכות האיוד, המופרדות על ידי סכרי רוחב, כחול. תעלה ברוחב כ־500 מ', המנקזת את התמיסות השיוריות של המפעלים ואת מי השיטפונות מכיוון הערבה לים המלח, מפרידה בין הברכות של ישראל (ממערב) ושל ירדן (ממזרח). תמלחת ים המלח מסופקת מן האגן הצפוני על ידי שאיבה לברכות האיוד.

בד בבד עם הקמת ברכות האיוד תוכננו והוקמו מפעלי ייצור משוכללים ותחנת כוח משולבת, תוך הוזלת מחיר האנרגיה שהופקה בה. העובדים הועברו עם משפחותיהם למבני קבע בדימונה, באר שבע ומאוחר יותר ערד, וצעירים יוצאי צה"ל הוכשרו במקום כמפעילים ועובדי ייצור ותחזוקה ונקלטו במפעלים החדשים.

ביצוע השלמות והרחבות למפעלי הייצור, הפסקת פעילות מפעל האשלג הישן (אשלג א – בהצפה) והוספת שלבי ייצור, כל אלה העלו את תפוקת המפעלים ליותר ממיליון טון אשלג לסוגיו השונים בראשית שנות השבעים. בשנת 1968 הוקם אשכול החברות 'כימיקלים לישראל' ובמרכזו מפעלי ים המלח. לאחר הפסדים כבדים בשנות השישים החלה חברת מפעלי ים המלח להראות רווחיות משנת 1971, ונד בבד עם כך גדל באופן דרמטי גם ייצור הברום. (כמויות האשלג שהופקו ממי ים המלח החל משנות השישים של המאה הקודמת מסוכמות באיור 2).



איור 2: ייצור אשלג במפעלי ים המלח מאז שנות השישים של המאה העשרים עד 2008

מקורות: עד שנת 2000 מפעלי ים המלח, בשנים 2000-2008 FertEcon

בתחילת שנות השמונים נחנך, בצל משבר האנרגיה דאז, מפעל נוסף המפיק אשלג בשיטת הגיבוש הקר החסכונית באנרגיה, שפותחה באגף המחקר של מפעלי ים המלח. הפעלתו הביאה את המפעלים באותה תקופה לתפוקה של למעלה משני מיליון טון אשלג בשנה. שכלול ומחשוב של תהליכי הייצור הביאו להעלאת ניצולת התהליך במפעלים, להורדת התשומות ולהגדלת היתרון היחסי מול המתחרים בעולם.

מראשית שנות התשעים החלו לנצל חומרים נוספים האצורים בים המלח. בכלל זה הוקמו המפעלים לייצור מגנזיום מתכתי בשיטת האלקטרוליזה, המופק מן המינרל קרנליט, המתקן לייצור פתיתי מגנזיום כלורי, המתקן לייצור מלח שולחן מעולה ואחרים.

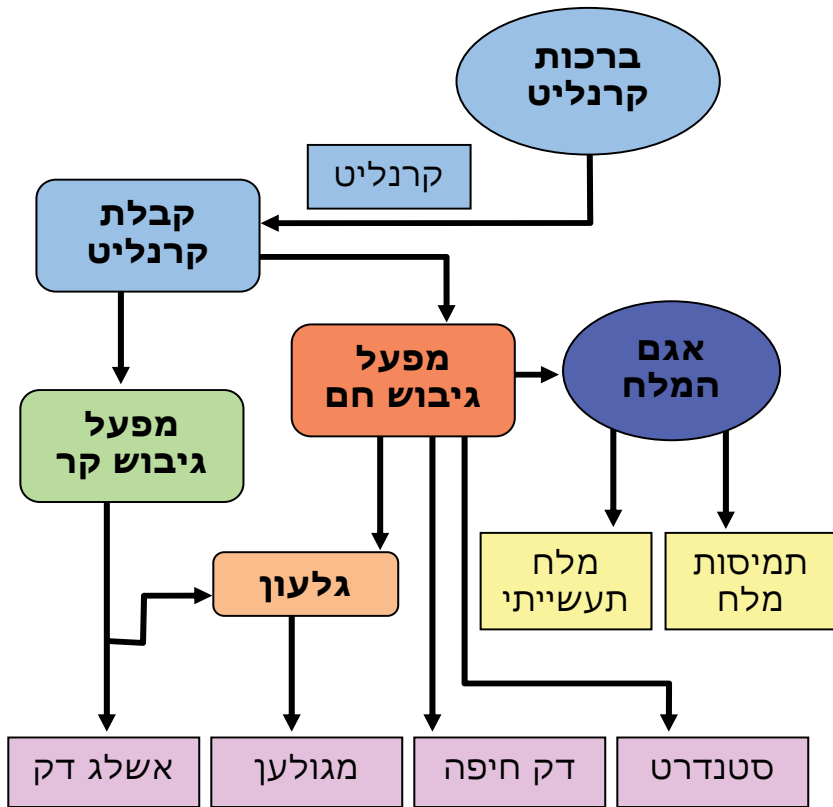
כיום מפעלי ים המלח הם חלק ממגזר הדשנים בקבוצת כימיקלים לישראל (כ"ל). במגזר זה שלושה מפעלים לייצור אשלג: מפעלי ים המלח, ישראל; איבר פוטש, ספרד (נרכש על ידי כ"ל בשנת 1998); קליבלנד פוטש, אנגליה (נרכש על ידי כ"ל בשנת 2002). במפעלים בספרד ובאנגליה כורים את חומר הגלם במכרה מבצר של סילווייט (בצר מעורב של המינרלים הליט וסילוויט ביחסים שונים).

התפוקה הכוללת של מגזר כ"ל דשנים' הגיעה בשנת 2008 לחמישה מיליון טונות אשלג בקירוב, כמות המייצגת כ-9% מן הייצור העולמי של אשלג בשנה זאת (מקור: Aprofessional FertEcon: Publication in the field of fertilizer).

ריכוז חומר הגלם לאשלג

המערך הכללי של ייצור האשלג במפעלי ים המלח מוצג באיור 3. ירידת המפלס צמצמה את שטחו של האגן הצפוני של ים המלח מ-700 קמ"ר ל-650 קמ"ר לערך. ריכוז האשלג הנוכחי בו (כ"ל) הוא כ-12.7 גרם לק"ג תמלחת. המפלס ממשיך בירידתו בקצב של 1 מטר/שנה לפי האומדן הנוכחי, וקצב זה צפוי לקטון עם עליית הריכוז וירידת לחץ האדים של מי הים, המביאה להקטנת קצב האידוד של התמלחת.

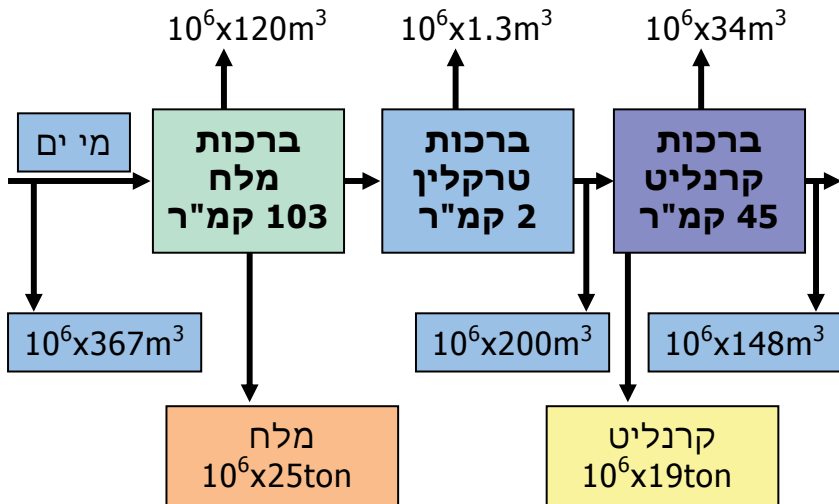
מערכת ייצור חומר הגלם מוצגת באיור 4. תהליך הייצור מתחיל בשאיבת מי ים המלח בתחנת שאיבה P88, הממוקמת סמוך לחופו המערבי של ים המלח



איור 3: מערך כללי של ייצור האש לג במפעלי ים המלח

מול מצדה ומזרימה את התמלחת דרך תעלה באורך של כ-12 ק"מ לברכת האיוד הצפונית (איור 1). מי ים המלח רוויים ביחס להליט המתגבש במהלך איוד התמיסה בברכות הצפוניות, ושוקע בהן בקצב של כ-20 ס"מ/שנה. הצטברות זו מקטינה את נפח הברכות ומחייבת את הרמת הסוללות אחת למספר שנים, כדי למנוע הצפה של הסביבה ובייחוד היסודות של בתי המלון. בעיית הצטברות המלח בתהליך ההפקה מוכרת גם ממפעלים אחרים לייצור אש לג בעולם הכורים את חומר הגלם המוצק ממכרות. במפעלים הללו יש צורך לסלק את המלח לאחר הפרדתו מהסילוניט ולאגור אותו או לנצלו לייצור מלח בר שיווק (בכמות קטנה יחסית). בחלק מהמפעלים בחו"ל מחזירים את המלח שנוצר בעת התהליך אל תוך

החללים שנוצרו במכרה במהלך כריית חומר הגלם, או עורמים אותו בערמות. נפח השאיבה השנתי מן האגן הצפוני הוא כ־220 מיליון מ"ק נטו.⁵ שטח בְּרִכות המלח הוא כ־103 קמ"ר. מְבִרְכות ההליט בצפון המערכת, שבהן מסולקת מן התמיסה כמות מרבית של NaCl, מוזרמת התמיסה לְבִרְכות הקרנליט, המתחיל בהתגבשותו כאשר מושגת צפיפות נומינלית של 1.3 ג"ר/סמ"ק. נקודה זו מוגדרת כ־נקודת הקרנליט. שטח בְּרִכות הקרנליט הוא כ־47 קמ"ר. בכך מתחיל השלב השני של הייצור. התמלחת הרוויה ביחס לקרנליט מוזרמת על ידי משאבות במעלה הטופוגרפי לקצה הדרומי של מערכת בְּרִכות הקרנליט, ומשם היא מוחזרת צפונה בגרוויטציה דרך שורת בְּרִכות שבהן מושקע חומר גלם זה. התמלחת הסופית מקו הייצור, זו שנשארה לאחר סילוק הקרנליט ממנה, מוזרמת בצורה מבוקרת מְבִרְכות הקרנליט הצפונית ביותר בחזרה לאגן הצפוני של הים, בקצב של כ־150 מיליון מ"ק/שנה. ריכוז האשלג בתמיסה זו נמוך מאוד (כארבעה גרם לליטר), והיא כמעט רוויה ביחס למינרל bischofite ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$).⁶ (הנתונים בסעיף זה נכונים ל־2001).



איור 4: מערכת ייצור חומר הגלם, 2001

5 דהיינו, לאחר ניכוי נפח התמיסות השיוריות המוחזרות לאגן הצפוני לאחר הפקת האשלג.
6 סדר שקיעת המינרלים הכלורידיים ממי ים המלח כתוצאה מאיבוד הוא: הליט – קרנליט – בישופיט.

מחפרים צפים (דוברות) קוצרים את הקרנליט באמצעות יונק חלזוני ומשאבה, הסונקת את התרחיף דרך קו גמיש הצף על פני הברכה ומזרימה את התרחיף באמצעות קווי חוף (צינורות פלדה) למפעלי הייצור המרוחקים מהברכות עד כדי תשעה ק"מ. הקרנליט שנוצר בברכות השונות אינו אחיד בטיבו ובגודל הגרגר שלו, והטיפול בכך נעשה בשלבים הבאים. בתחילת התזרים נוצר קרנליט באיכות טובה יותר, דבר הבא לידי ביטוי במיון הקרנליט להמשך הטיפול.

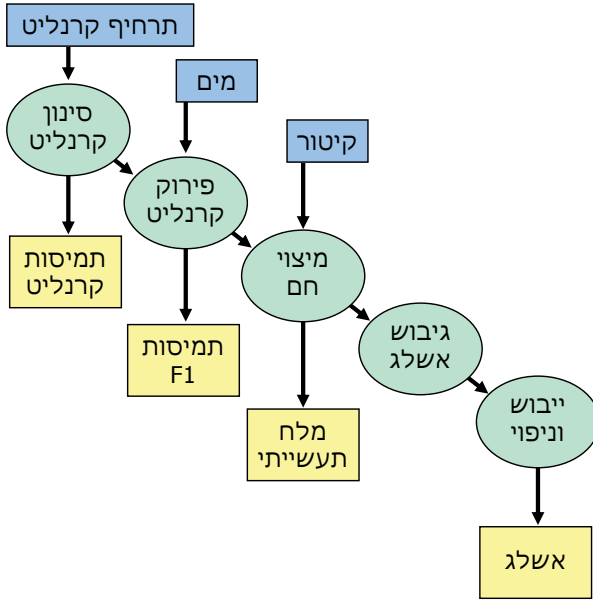
ייצור האשלג

האשלג מיוצר בסדום בשני מפעלים: המפעל לגיבוש חם והמפעל לגיבוש קר. תזרימי הייצור בשני המפעלים מוצגים באיורים 5 ו-6.

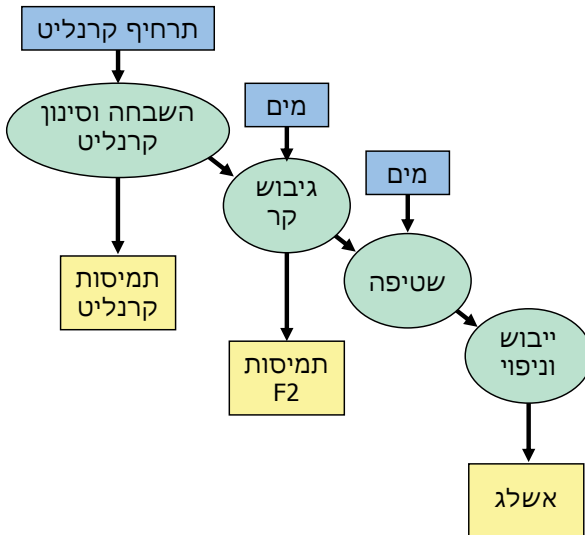
שלבי הייצור כוללים את קליטת תרחיף הקרנליט, סינונו ופירוקו. הפירוק נעשה על ידי המסה של ה- $MgCl_2$ (מתוך הקרנליט), המסיס הרבה יותר מ- KCl ו- $NaCl$. תמיסת ה- $MgCl_2$ (תמיסת F1) מוחזרת לברכות לאיוד נוסף, כדי להפיק את שארית האשלג. לתמיסה שנשארת לאחר האיוד הנוסף תכונות מיוחדות המתאימות לשמש חומר גלם להפקת תרכובות מגנזיום במפעל 'פריקלס' במישור רותם.

המוצק שנשאר עשוי עיקרו תערובת של KCl ו- $NaCl$ (סילונויט). בשלב זה נשאר להפריד ביניהם. ההפרדה יכולה להיעשות בשתי שיטות: השיטה החמה (איור 5) או השיטה הקרה (איור 6).

בשיטת החמה מחממים את התערובת ומנצלים את הבדלי המסיסות בין ההליט לסילוויט בטמפרטורה גבוהה, להפרדת ההליט מן המוצר. האשלג נשאר בתמיסה, המתעשרת בו, בעוד המלח המתגבש מסולק לאתר נפרד. התמיסה האשלגנית החמה מוזרמת למגבשים שבהם שוקעים גבישי האשלג, על ידי סרכוז. בשיטה הקרה ממסים את הנתרן כלוריד על ידי תמיסה רוויה ל- KCl ותת-רוויה ל- $NaCl$. המוצק מועבר לייבוש וניקוי.



איור 5: תזרים הייצור על פי השיטה החמה



איור 6: תזרים הייצור על פי השיטה הקרה

הטיפול באשלג לאחר הפקתו

כדי לעמוד בדרישת השוק העולמי לאשלג בעל גרגרים גדולים (1-3 מ"מ) הוקם מפעל לגלעון אשלג, שבו כובשים את האשלג ללוחות צפופים הנגרסים ומתמיינים אחר כך לגודל גרגר מתאים לדרישות. גודל גרגר האשלג המתאים לשוק העולמי נתון בלוח 1.

לוח 1. גודל גרגר אשלג לפי סטנדרטים המקובלים בשוק העולמי

מקור: Potash Fertilizers

שם המוצר	גודל נומינלי (mesh)	גודל גרגר (מ"מ)
Granular	20-6	3.36-0.841
Coarse	28-8	2.38-0.595
Standard	65-14	1.19-0.210
Fine	150-35	0.420-0.105
Soluble/Suspension	150-35	0.420-0.105

שינוע האשלג ושיווקו מתבצעים דרך נמלי אשדוד ואילת, שבהם מחסני תפוזרת ושינוע משוכללים. השינוע לאילת הוא במשאיות ולאשדוד במסוע סרט עד מישור רותם, ומשם ברכבת לנמל. מסוע הסרט נבנה באמצע שנות השמונים. אורכו כ-18 ק"מ, והוא מעלה את האשלג לגובה של כ-800 מ' מן המפעל.

למפעלי ים המלח מחסני תפוזרת במפעלים בסדום ובמפעלי האשלג בחו"ל. בגלל תנאי האקלים היבש באזור ים המלח אוגרים המפעלים אשלג בתפוזרת בכמויות גדולות על פני שטחים נרחבים בסביבות המפעלים. שיטת אחסון זו מאפשרת לספק ביקושים בשוקי העולם בכמויות גדולות בזמן התראה קצר. מן הראוי לציין שהאשלג המיוצר בארץ צבעו לבן, לעומת רוב האשלג המיוצר בחו"ל שצבעו אדום בגלל תכולה מזערית של תחמוצת ברזל.

כאשר מנסים לחזות את התפתחות הייצור של דשני האשלג בעולם צריך לזכור שהעופרות העשירות באשלג מנוצלות כיום במידה רבה רק במכרות שבהם ריכוז האשלג גבוה. חלק מהמכרות נסגרו מטעמים כלכליים (לדוגמה, חברת K+S בעלת מפעלי ייצור האשלג בגרמניה). כמות האשלג שהופקה בגרמניה המזרחית הייתה כ־3.5 מיליון טונות מהמפעלים השונים במדינה. עד האיחוד שיוקו המזרח גרמנים את דשני האשלג שייצרו לגוש אירופה המזרחי, שהיה בהשפעת ברית המועצות, במחירים לא כלכליים. ריכוז האשלג בעופרות ברוב המכרות היה נמוך באופן יחסי, והוא הופק בתהליכי ייצור ישנים. עם האיחוד הופסקה ההפקה מן המזרח, ורק בימים אלה, עם עליית מחירי הדשנים בעולם, שוקלים בגרמניה את האפשרות והכדאיות לשקם חלק מהמפעלים הנטושים.

לסיכום, כאשר רב־אלוף (מיל) מרדכי מקלף וצוות המנהלים שלו תכננו את הקמת ברכות האידוד בסוף שנות החמישים של המאה הקודמת, הם תכננו להגיע לייצור של 1.5 מיליון אשלג לשנה ואולי מעט יותר. את הכמויות הגדולות של האשלג שמפיקים כיום מפעלי ים המלח אפשר להסביר בעלייה בריכוזי האשלג בים, קצב האידוד בברכות ההולך וגדל מדי שנה (אידוי יגית מים מצטבר – כ־400 ס"מ לשנה), ומעל הכול יש לזקוף את ההצלחה לזכות הצוות המתפעל, אשר למד את רזי מערכת התפעול של ברכות האידוד ושילובה במפעלי הייצור בעילות המשתפרת משנה לשנה. כמות האשלג המופק בארץ, יחסית לשאר המדינות מפיקות האשלג בעולם, נתונה בנספח 2 (הנתונים מתייחסים לשנת 2008).

רשימת מקורות וקריאה נוספת

אפשטיין, י"א. 1980. 'כימיה בפעולה' (יחידה 9) האוניברסיטה הפתוחה 20301.

אפשטיין, י"א. 1995. 'תהליכים ומוצרים בחברת האשלג (1925-1948)', כימיה – הנדסה כימית (1995), שנתון אגודת מהנדסי הכימיה של אגודת המהנדסים בישראל.

פרסומים תקופתיים וסיכומים של ועידות שנתיות של (International) I.P.I (Potash Institute

פרסומים של חברת האשלג הגרמנית K + S. KALI GmbH

- סקירה על יצרנים ושווקים של אשלג בעולם (1992) Phosphorus & Potassium
.No-179
- פייסט, א'. 1967. 'שיטות חדשות לייצור אשלג', דו"ח 588, מפעלי ים המלח.
- Bransnett, R. 2000. *The World Potash Industry: Past, Present and Future*.
published by P.C.S Canda – 50th Anniversary Meeting.
- Butts, D. & McClear, C. Y. 1988. 'Lecture and Training Series on Solar
Ponding', Prepared for El Nasar Salines Co. Alexandria, Egypt, GSL
Solar Consultant & Advisors Inc. Salt lake City, prepared and published
by the author.
- Butts, D. S. (G.S.L. consultant) 1988. 'Maximizing Solar Evaporation
through Sequential Brine Flow and Pond Area to Area', GSL Solar
Consultant & Advisors Inc.
- Lowrison, G. C. *Fertilizer Technology*. New York. Chicester , Brisbane,
Toronto: Elilis Horwood Limited, John Wiley & Sons: 28-123.
- Neev, D. & Emery, K. 1967. 'The Dead Sea: Depositional Processes and
Environments of Evaporites', *Geological Survey of Israel Bull.* 41:
1-147.

נספחים

נספח 1: ייצור אשלג בעולם לפני מלחמת העולם השנייה

(מקור: International Potash Institute IPI)

שנה	(אלפי טונות)
1880	69
1890	193
1900	480
1910	1,356
1920	1,444
1930	2,103
1940	4,424

נספח 2: הפקת האשלג בעולם, נכון לשנת 2008

(מקור: FertEcon 2009, A Professional Publication in the field of fertilizers)

המדינה	אלפי טונות
קנדה	16,519
גרמניה	5,114
רוסיה	9,409
בלארוס	7,849
סין	3,658
ישראל	3,473
ארצות הברית	1,844
ירדן	1,931
אנגליה	624
ספרד	684
ברזיל	556
צ'ילה	792
סה"כ	52,453 אלפי טונות