



מדינת ישראל

משרד התשתיות הלאומיות  
המכון הגיאולוגי



המשרד לאיכות הסביבה  
אשכול מדיניות ותכנון

שלום עם הסביבה



המשרד לאיכות הסביבה  
وزارة جودة البيئة  
Ministry of the Environment



מכון ירושלים לחקר ישראל  
המרכז למדיניות סביבתית

## מסמך מדיניות

# אגן ים המלח

הערכת מצב ומשמעויות לעתיד

בתנאים של המשך ירידת מפלס הים

ירושלים

תשס"ו, 2006

**מסמך מדיניות**

# **אגן ים המלח**

הערכת מצב ומשמעויות לעתיד  
בתנאים של המשך ירידת מפלס הים

**מוגש לממשלת ישראל**

ירושלים  
תשס"ו, 2006

עריכה לשונית – שלמה ארד  
ריכוז – גלית חזן, מכון ירושלים לחקר ישראל  
הפקה והבאה לדפוס – חמוטל אפל, מכון ירושלים לחקר ישראל  
עיצוב ועימוד – אסתי ביהם  
הגהה – מיכל קורח, מכון ירושלים לחקר ישראל

ניתן לעיין במסמך באתרים:

[www.sviva.gov.il](http://www.sviva.gov.il)

[www.jiis.org.il](http://www.jiis.org.il)

[www.gsi.gov.il](http://www.gsi.gov.il)

זכויות היוצרים שייכות למשרד לאיכות הסביבה ולמכון ירושלים לחקר ישראל.  
ניתן לצטט ולהעתיק מן המסמך לצורכי מחקר, לימוד ומדיניות ובתנאי שיינתן קרדיט מלא למקור.

## ועדת ההיגוי

### יושבי־ראש

- |                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| – ד"ר מיקי הרן   | – מנכ"לית המשרד לאיכות הסביבה |
| – ד"ר מיכאל בייט | – משרד התשתיות הלאומיות       |
| – ולרי ברכיה     | – המשרד לאיכות הסביבה         |

### חברי הוועדה

- |                    |                                       |
|--------------------|---------------------------------------|
| אוהד אורנשטיין     | – משרד התעשייה, המסחר והתעסוקה        |
| ירון ארגז          | – משרד התיירות                        |
| עו"ד נטע דדורי     | – המשרד לאיכות הסביבה                 |
| אדר' אליסיה סיבר   | – משרד הפנים                          |
| יעקב קידר          | – משרד החוץ                           |
| דוד דשן דויטש      | – מינהל מקרקעי ישראל                  |
| אמיר שביט          | – משרד האוצר                          |
| אסף מאיר           | – משרד האוצר                          |
| דב ליטבינוף        | – מועצה אזורית תמר                    |
| מרדכי דהמן         | – מועצה אזורית מגילות                 |
| אינג' עודד הראל    | – מפעלי ים המלח                       |
| דוד ירוסלביץ       | – נציבות המים                         |
| רון שוורץ          | – רשות הניקוז ים המלח                 |
| ניר אנגרט          | – רשות הטבע והגנים                    |
| עו"ד גדעון ברומברג | – ארגון ידידי כדור הארץ, המזרח התיכון |

## מחקר וכתובת המסמך

### התשתית הפיסית

המכון הגיאולוגי, ירושלים

ד"ר עמוס בין

ד"ר איתי גבריאלי

ד"ר יואב אבני

ד"ר משה שירב

ד"ר יוסי יחיאלי

ד"ר מאיר אבלסון

ד"ר גדי בר

ד"ר עזרא זילברמן

ד"ר עמוס סולומון

ד"ר עודד כץ

### אקולוגיה וסביבה

אלי רו – גיאולוגיה וייעוץ סביבתי, קיבוץ עין-גדי

ד"ר רון פרוסקין – ייעוץ אקולוגי וסביבתי

### תכנון

מוטי קפלן – תכנון מתאר וסביבה

נירית ויטמן – מוטי קפלן, תכנון מתאר וסביבה

### כלכלה

רון חקלאי – כלכלה אורבנית בע"מ, רמת גן

ד"ר ניר בקר – אוניברסיטת חיפה

חגית זלינגר – אוניברסיטת חיפה

רון בנארי – מהנדס

### משפט ומינהל ציבורי

ד"ר ראובן לסטר, עו"ד – לסטר את גולדמן, משרד עו"ד

עו"ד ורדה בריף – לסטר את גולדמן, משרד עו"ד

דני לבני – לסטר את גולדמן, משרד עו"ד

### עורכים

ד"ר עמיר אידלמן – מכון ירושלים לחקר ישראל

גלית כהן – המשרד לאיכות הסביבה

ד"ר עמוס בין – המכון הגיאולוגי

מוטי קפלן – תכנון מתאר וסביבה

# תוכן העניינים

7	פתח דבר .....
9	א. ממצאים, משמעויות וקווים למדיניות .....
12	ב. תפיסת תכנון חדשה .....
13	ג. המלצות .....
15	1. מבוא .....
15	1.1 מסגרת המסמך ומטרותיו .....
15	1.2 גורמים ומשמעויות מירידת המפלס .....
16	1.3 החלטת הממשלה .....
16	1.4 תרחיש של ברירת המחדל .....
16	1.5 הצוות ושיטת העבודה .....
18	2. מפעל ההתיישבות באזור ים המלח .....
18	2.1 רקע היסטורי .....
19	2.2 מועצה אזורית תמר .....
22	2.3 מועצה אזורית מגילות ים המלח .....
23	2.4 השפעות ירידת המפלס על ההתיישבות .....
26	3. אגן ים המלח – תהליכי עיצוב ומשמעותם .....
26	3.1 המבנה ועיצוב האגן בזמן ובמרחב .....
27	3.2 פעילות סיסמית ורעידות אדמה .....
29	4. ים המלח (גוף המים) – תמונת מצב, תהליכים ומגמות .....
29	4.1 תיאור האגם .....
29	4.2 הרכב ים המלח והתפתחותו .....
30	4.3 מאפיינים ושינויים בים המלח .....
31	4.4 מאזן המים ושינויי המפלס של ים המלח .....
33	4.5 תחזית למפלס הים .....
34	5. האגן הצפוני – תגובת התשתית הפיסית לירידת המפלס .....
34	5.1 התפתחות הנוף והתחרות נחלים .....
46	5.2 גלישות, סחף וחתירת נחלים עקב רעידות אדמה ושיטפונות קיצוניים .....
47	5.3 מי התהום, הנביעות החופיות והשינויים החזויים בהם .....
48	5.4 התפתחות בולענים (בורות) ושקיעות קרקע .....
57	6. האגן הדרומי – בריכות האידוי .....
57	6.1 בריכות האידוי כגורם מרכזי באגן .....
58	6.2 התפתחות בולענים באגן הדרומי .....

<b>7</b>	<b>האקולוגיה והסובב הטבעי</b>	<b>60</b>
7.1	שינויים סביבתיים ונופיים בחוף הנחשף	60
7.2	נאות החוף	62
7.3	מגמות ותהליכים בנאות החוף	66
7.4	חופי הים המדבריים	73
7.5	מלחות	76
7.6	השינויים הסביבתיים והאקולוגיים באגם	76
7.7	המשמעויות האקולוגיות	78
<b>8</b>	<b>המצב התכנוני</b>	<b>79</b>
8.1	עיקרי הדברים	79
8.2	ניתוח שימושי-קרקע על רקע מפות ההיתכנות	79
8.3	המערכת התכנונית	87
8.4	תכניות-מתאר מפורטות	90
8.5	השפעת השינויים על תכנון האזור	92
8.6	מרחב התכנון	112
<b>9</b>	<b>המשמעות הכלכלית</b>	<b>115</b>
9.1	ירידת מפלס ים המלח – עלויות ותועלות	115
9.2	גורמים כלכליים באזור ים המלח	115
9.3	ערך כינון – אומדן העלויות המשקיות (עלות השיקום, Restoration Costs)	115
9.4	מתודולוגיה לניתוח כלכלי של ערכי טבע וסביבה	121
9.5	שימוש אלטרנטיבי במים	122
9.6	סיכום העלויות והתועלות בתרחיש של ברירת מחדל	123
125	<b>נספח 1:</b> החלטת הממשלה מס' 2863 מיום 5.1.2003	
126	<b>נספח 2:</b> בולעני ים המלח – מתווה מומלץ להתנהלות הנדסית-רישונית	
140	<b>נספח 3:</b> נספחים לפרק האקולוגי	
145	<b>נספח 4:</b> נספחים לפרק הכלכלי	
<b>167</b>	<b>ביבליוגרפיה</b>	

ים המלח, וירידת המפלס תימשך בקצב של כמטר אחד בשנה ואולי אף יותר. ירידת מפלס בשיעור של 15-20 מטרים נוספים היא אפוא בחזקת צפי מינימאלי לכל התחלה של שינוי בתנאים, וזאת אף אם יוחלט מייד על פעולות דרסטיות, כמו בניית מובל-ימים ("מובל השלום") או החזרת מקורות המים הטבעיים לים המלח. זאת מפאת הזמן הארוך הנדרש ללימוד ההשלכות הסביבתיות ולהשלמת נתונים, לתכנון ולאישור תכניות (במיוחד בפרויקט מולטי-טראלי), לגיוס משאבים ולמימוש פעולות בהיקף הרחב המתחייב מן העניין.

חשוב לציין שגם לאחר יישום תכנית לשינוי המצב, תהליך הרמת פני הים — ממפלס של לפחות 435-440 מטר מתחת לפני הים (לעומת 418- כיום) עד למפלס היעד — יימשך שנים רבות מרגע שיוחל בהזרמת מים נוספים לאגן. כל הבעיות המאפיינות את המצב כיום, ובעיקר התהליכים הגורמים לכשל הקרקעי בתחום שמתחת לקו הגובה 400- מטר, ידעו בהדרגה רק כאשר יתקרב מפלס הים לרום זה. ראוי לציין כי שימור התעשייה הכימית בים המלח מחייב את קיומן של בריכות האידוי באגן הדרומי. לפיכך, מפלס יעד של כ-402 מטר מתחת לפני הים, הוא מפלס מרבי, שיבטיח אי-הצפה חוזרת של האגן והרס הבריכות. זאת ועוד: גם אם יוחלט לקבע את מפלס ים המלח במפלסו הנוכחי (418- מטר), תארך החזרה למפלס-יעד זה לא פחות מ-30 40 שנה מהיום.

**לפיכך: "ברירת המחדל" והמציאות הנגזרת ממנה, תקפות ורלוונטיות לכל אופק תכנוני הנראה לעין (30-40 שנה ואף יותר). יחד עם זאת, יש כמובן לקדם את בחינת המהלכים המכוונים לשינוי המגמות, על-מנת שניתן יהיה לגבש מדיניות לאומית כוללת ובת-קיימא לאגן ים המלח.**

הירידה המתמשכת במפלס הים והתגברות מפגעי התשתית לאורך החופים, הביאו לאי-ודאות באשר להמשכיותן של התופעות, מגמות-התפתחותן, הסיכונים המלווים אותן והנזקים הכלכליים הנלווים להן. מסמך זה מפזר חלק ניכר מאי-ודאות זו ומציג תחזית מבוססת לעתיד הים וחופיו. תחזית זו מהווה בסיס להתוויית מדיניות להתנהלות ופיתוח, התואמות את התנאים המשתנים ומכוונות לאפשר המשך הפעילות ומיצוי הפוטנציאל הגלום באזור.

מסמך זה מציג ראייה רב-תחומית של אזור ים המלח ומתווה המלצות וקווי-מדיניות לעתיד האזור.

הירידה המתמשכת של מפלס ים המלח גוררת בעקבותיה שינויים פיסיים, המתרחשים לאורך החופים ומשפיעים על תנאי הקיום והפיתוח באזור. עוצמת השינויים והאיום הנגזר מהם, יצרו אי-ודאות המגבילה את הפעילות השוטפת באזור ואת המשך תנופת הפיתוח.

ירידת המפלס והשינויים הפיסיים יימשכו וייתכן אף שיגברו. המשך מהלך החיים ופיתוח האזור מחייבים התמודדות עם המציאות המתהווה, ומכאן הצורך בהיערכות מחודשת, התואמת את התנאים המשתנים והשלכותיהם.

מטרתו של מסמך מדיניות זה, ליצור מסד נתונים אמין ומקיף של מכלול התופעות והשינויים המרחשים בים המלח ובחופיו, לנתח את משמעותם ולהמליץ על מדיניות לעתיד האזור.

במסגרת עבודה זו אותרו ומופזו אזורים בהם צפויים כשלים קרקעיים ברמות היתכנות שונות, לצד אזורים נרחבים בהם התשתית יציבה ובטוחה, וניתן להפנות אליהם פיתוח ללא מגבלות. תוצאות העבודה מצמצמות מאוד את תחומי האי-ודאות, מאפשרות להמשיך את הפעילות השוטפת באזור ומהוות בסיס ליוזמות פיתוח באגן ים המלח.

תכליתו של עבודה זו לאפשר שגשוג למפעל ההתיישבות לחופי ים המלח ולהבטיח אפיקי פיתוח מיטביים ובני-קיימא באזור.

## מסגרת העבודה

היוזמה להכנת מסמך זה נובעת מן השינויים המפליגים המתרחשים באגן ים המלח ומן הצורך לגבש מדיניות לאומית לגבי עתידו. ברקע הדברים עומדות לכאורה שתי גישות עקרוניות המחייבות נקיטת עמדה: הגישה הראשונה מאמצת את ההנחה כי התנאים שהביאו למצב הנוכחי באגן ים המלח אינם ניתנים לשינוי בטווח הנראה לעין, ולפיכך יש להתמודד באופן מיטבי עם המצב שנוצר. הגישה השנייה מכוונת, לעומת זאת, להתערבות יזומה ודחופה לשינוי המצב, אם בהחזרת מרבית זרימות הירדן לקדמותן ואם בהקמת "מובל-ימים". **מסמך זה מטפל במהלכים הנגזרים רק מן הגישה הראשונה, המוגדרת "ברירת המחדל".**

ניתוח המידע שנלמד במסגרת עבודה זו, מעלה באופן חד-משמעי כי בטווח הנראה לעין לא יהיה שיפור במאזן המים הגירעוני של



## מבנה המסמך

המסמך כולל שלושה מרכיבים:

- ❑ קווי המדיניות המוצעים לעתיד ים המלח, הכוללים גישה תכנונית מתאימה לתנאים המתהווים באזור. חלק זה כולל הצגה תמציתית של עיקרי הממצאים והמשמעויות.
- ❑ גוף המסמך כולל תשעה פרקים, בהם סקירה על אזור ים המלח, ההתיישבות, התשתית הפיסית, אקולוגיה וסביבה, המצב התכנוני וניתוח כלכלי.
- ❑ נספחים המציגים נתונים וניתוחים משלימים.

# א | ממצאים, משמעויות וקווים למדיניות

זאת לעומת המפלס הנוכחי, שהוא 418- מטר ושטח של כ-650 קמ"ר, ולעומת המפלס של 395- מטר ושטח של כ-1,000 קמ"ר שהיו בשנת 1950. משמעות הדבר היא כי חרף הירידה הניכרת אשר צפויה עוד במפלס — ההצטמצמות בשטח האגם תימשך בקצב איטי יותר מזה שהתרחש עד כה. זאת בשל התייבשותו המוחלטת של האגן הדרומי והרדוד בשלבים המוקדמים של ירידת המפלס ובשל השיפועים החריפים המאפיינים את שולי האגן הצפוני והעמוק.

□ מסמך זה מציג מפות המתארות באופן כמותי את המגמות בהתפתחות מצב התשתית הפיסית, כולל:

- ◆ **מיקומם של קווי החוף הצפויים בעתיד, במרחב ובזמן;**
- ◆ **שקיעות קרקע ואזורים מועדים להיווצרות בולענים,** בחלוקה לאתרי בולענים פעילים, אזורים בהם קיים פוטנציאל להיווצרות בולענים, אזורים בהם לא ניתן לשלול אפשרות להיווצרות בולענים ואזורים בהם לא צפויה היווצרות בולענים;
- ◆ **חשיפת משטחי בוץ, מדרונות תלולים ואזורים מועדים לגלישות קרקע חזרתי בוץ;**
- ◆ **חתירה והעמקה מואצת של אפיקי הנחלים, הפוגעת ומאיימת על כבישים ותשתיות;**
- ◆ **ערעור יציבותם של מקווימים טבעיים, דוגמת עינות צוקים, קנה וסמר, והפגיעה באתרים ייחודיים אלה.**
- ◆ **אבדן מיתתהום המקטין את האוגר החד-פעמי של האקוויפרים המתנקזים לים המלח כתוצאה מירידת המפלס. אבדן זה קטן יחסית ואינו עולה על עשרות מיליוני מטרים מעוקבים בשנה, וזאת בניגוד לטענה שנשמעה בעבר — בעיקר מכיוון ממלכת ירדן — בדבר אבדן של מאות מיליוני מטרים מעוקבים בשנה.**

## 3. פגיעה בלתי-הפיכה בנאות החוף ובמינים ייחודיים

□ בנאות החוף קיימת מערכת אקולוגית בעלת ערכים אוניברסאליים ואזוריים. לנאות החוף תפקיד חשוב כמקום חנייה בנתיב נדידת הציפורים, כמקור מים ומזון וכמקום מחסה לעופות וליונקים הגדולים של מדבר-יהודה. ירידת מפלס הים

## 1. מצב של אי-ודאות משבש את שגרת החיים ומגביל תכנון ארוך-טווח

□ מצבו הנוכחי של ים המלח מבטא את מצוקת המים האזורית. הוא תולדה של מדיניות ממשלות ירדן, סוריה וישראל, לניצול משאבי המים באגן ההיקוות והפקת מלחי הים על-ידי המפעלים התעשייתיים בישראל וירדן. מאגן ים המלח נגרעים מדי שנה יותר ממיליארד מטרים מעוקבים של מים שפירים, שזרמו בעבר לים המלח. פעילות המפעלים בבריכות האידיו מגדילה את גירעון המים עוד בכ-250 מיליון מטרים מעוקבים (מלמ"ק). כתוצאה מהמצב שנוצר, נגרמים נזקים, משתבשת שגרת החיים באזור וגוברת האי-ודאות באשר לעתידו.

□ ירידת מפלס הים גוררת שינויים מתמידים במיקום קו החוף ובתנאים הפיסיים השוררים לאורכו. שינויים אלה משפיעים על יציבות התשתיות, מאיימים ופוגעים בפועל במבנים, כבישים, גשרים, שטחי-חקלאות ותשתיות הנדסיות אחרות. הנגישות המיידית אל הים נמנעת, ונפגמת האטרקטיביות התיירותית של האזור.

□ האי-ודאות שנוצרה לגבי המגמות הקיימות ומידת הסיכון הנשקפת מהן, הביאה לעצירת תכניות פיתוח קיימות והיא מונעת קידום תכניות לגילום הפוטנציאל הקיים באזור ייחודי זה.

## 2. פיזור האי-ודאות ומתן תחזית מוסמכת להשתנות הדינאמית של האגן

□ קצב הירידה של מפלס ים המלח בשנים הבאות יהיה כמטר אחד בשנה. לפיכך יגיע מפלס הים בשנת 2025 לרום של כ-440 מ' מתחת לפני הים התיכון ובשנת 2050 לרום של כ-465 מ' מתחת לפני הים.

□ **ים המלח אינו צפוי להיעלם גם אם לא יינקטו פעולות לשינוי מאזן המים הגירעוני באגן.** המפלס ימשיך לרדת גם בשנים הבאות, אולם הוא צפוי להתקרב למצב יציב בתוך כ-200 שנה, במפלס נמוך ב-100-150 מטר מתחת למפלס הנוכחי — דהיינו, ברום של כ-550- מטר ובעומק מים מרבי של 200 מ'. לקראת הגעה למפלס זה, יהיה שטח האגם כ-450 קמ"ר, קצב האידיו יקטן ויבד בבד תחול גם התמתנות בקצב ירידת המפלס.

## 5. תפעול בריכות האידוי באגן הדרומי משפיע על המלונות

□ התנאים הטבעיים וקיום בריכות האידוי באגן הדרומי, מכתיבים אופי תהליכים שונה מהותית באזור זה, לעומת המתרחש באגן הצפוני. בעוד שבאגן הצפוני יש התפתחות נמרצת של בולענים, הרי שבקטעים שלאורך בריכה מס' 5 ומדרום לה, התפתחות הבולענים מצומצמת יחסית. חקירת האזור הדרומי טרם הושלמה וחסר מידע על התפתחות בולענים בשטח המפעלים ובריכות האידוי ועל התנאים בתת הקרקע המכתיבים את היווצרות הבולענים.

□ תחזוקת בריכות האידוי של המפעלים מאפשרת את קיומה של תשתית מלונאות מפותחת לחופיהן. עם זאת, הצטברות שכבת מלח בעובי של כ-20 ס"מ לשנה על קרקעית הבריכות, גורמת לעלייה מתמדת במפלס המים בבריכות – דבר המאיים על התשתיות ועל המלונות. על-פי החלטה מיוחדת של הממשלה, נבחנות כיום באחריות משרד התיירות, חלופות שונות המיועדות לתת פתרון למלונות עד סוף תקופת הזיכיון של מפעלי ים המלח (2030).

□ אין כיום נתונים ותחזיות לתוחלת החיים של מפעלי ים המלח מעבר לתום תקופת הזיכיון. להמשך קיומן של בריכות האידוי יש השלכות מהותיות על התפתחות תנאי התשתית הפיסית בשטח הבריכות עצמן ובאגן הדרומי כולו, וכן על המשך קיומה של המלונאות באזור.

## 6. שימושי-קרקע

□ שימושי הקרקע באזורי החוף בהם מתקיימים שינויים דינאמיים מהותיים, הם בעיקר לתיירות ומעט לחקלאות. **מרבית שטחי היישובים, אזורי התעשייה ומוקדי התיירות, מרוחקים מן החוף ומצויים מחוץ לתחום ההשפעה האינטנסיבי של ירידת המים.**

□ ירידת המפלס מלווה בהתרחקות משמעותית של קו המים ממתקני תיירות ומדרכי גישה ששימשו את המבקרים עד לפני שנים אחדות. סוגיית הנגישות היא אחד הנושאים

גוררת שינויים בנאות החוף וגורמת להתפתחות פלגים מהירי-זרימה ופריצת מקווי-מים, לירידת מפלס מי התהום ולעלייה במליחותם. תהליכים אלה עלולים להביא לצמצום מגוון המינים, להשפיע על הציפורים הנוודות באזור ולפגוע במערכות אקולוגיות מקומיות ייחודיות.

## 4. אומדן המשמעויות הכלכליות של ברירת המחדל

□ אומדן הערך הכספי, שניתן לכימות באמצעות "ערך הכינון", מבוסס על תחשיב מאזן בין עלויות הנזקים לחקלאות ולמערכות הכבישים לבין התועלות שנוצרו למפעלי ים המלח בזכות עליית ריכוז המלחים במי האגן הצפוני.

□ המפעלים לניצול מלחי ים המלח בישראל ובירדן, מפקים תועלת כלכלית מהשינויים שהתרחשו עד כה ומאלה הצפויים לפחות בעשרות השנים הבאות. עליית מליחות המים מביאה להעלאת יעילות תהליך מיצוי המלחים, והרווח הכלכלי המתקבל מכך לאחר קיזוז נזקים והוצאות משניות הכרוכות בירידת המפלס, נאמד בתוספת ייצור של כ-100 אלף טון אשלג בשנה (למפעלי ים המלח הישראליים בלבד). מחירי האשלג הם כ-12 יורו לטון, כלומר כ-1.2 מיליון יורו לשנה, שהם כ-6.8 מיליון ש"ח לשנה. הערך המהוון של תוספת ההכנסה השנתית הוא כ-78 מיליון ש"ח על-פני 20 שנה ו-107 מיליון ש"ח על-פני 50 שנה.

□ להלן ריכוז נתונים על ערך הכינון ועל עלויות הנזקים הישירים הנובעים משינויי המפלס.

□ בעבודה זו לא נלקחו בחשבון התועלות למשק בישראל, בסוריה ובירדן מן השימוש במים שפירים שנגרעים ממאזן המים של ים המלח. נושא זה ייבחן בעתיד.

□ שיטת ערך הכינון בוחנת את עלות שיקום התשתיות בגין ירידת המפלס, אך אינה בוחנת את הפגיעה בערכו של ים המלח כתופעת טבע ייחודית.

□ במסגרת עבודה זו נעשה ניסיון ראשוני לאמוד את אבדן הערך הכלכלי של ים המלח כמשאב סביבתי וכערך טבע ייחודי.

עלויות בש"ח		סוג הנזק
50 שנים להיוון	20 שנים להיוון	
38,000,000	31,000,000	התחרות סחיפה של נחלים-כבישים, גשרים ומעבירי-מים בולענים בכבישים חקלאות
15,000,000	12,000,000	
12,000,000	12,000,000	
<b>65,000,000</b>	<b>55,000,000</b>	
		<b>סה"כ עלות הנזקים</b>

המחייבים היערכות בעתיד הקרוב, כדי לאפשר למבקרים להמשיך וליהנות מנגישות לים, במקומות שאין בהם סיכון.

❑ תכניות המתאר, בכל הרמות, נעשו בטרם אובחנו השינויים הדינאמיים לאורך חופי ים המלח. חלק משימושי הקרקע הקיימים וחלק מן התכניות לפיתוח עתידי, חופפים אזורים המועדים להיווצרות בולענים.

❑ בניית התשתיות במרחב שבין הים הנסוג לבין קו המצוקים המוצג במסמך הנוכחי, אובחנו ומופו שטחים פוטנציאליים לפיתוח, ללא מגבלות הנובעות מצפי להתפתחות הבולענים.

**לסיכום: הבנת המצב הקיים, תוצאותיו והשלכותיו, מהווה בסיס לחשיבה מחדשת ולהתוויית עקרונות וכיווני פיתוח ביחס לעתידם של חופי ים המלח, בהתאם לתנאים המשתנים. כל זאת על-מנת לאפשר את המשך מפעל ההתיישבות באזור, את תנופת הפיתוח ואת מיצוי הפוטנציאל הגלום בו.**

# ב | תפיסת תכנון חדשה

□ הפיתוח לחופי ים המלח ייעשה במתחם מוגדר וסביר, בהיקף שטח הנתון לשליטה ובנייה מבוקרות, וללא צורך בפריסה רבתי לאורך החוף.

□ בתפיסה המוצעת יתקיימו הפיתוח וההתנהלות העיקרית מחוץ לאזורים המועדים לכשל קרקעי, והקשר לים יתבצע בצירים מוגדרים, מוגבלים ומובטחים מבחינה הנדסית.

תפיסות תכנון אלו ואחרות העשויות להפיח רוח חדשה בתכנון מרחב חופי ים המלח, מן הראוי שייבחנו בזהירות ובקפידה על ידי מערכות התכנון. פיתוח תפיסות התכנון במקרה של אגן ים המלח, חייב להיות משולב בצורה הדוקה עם הערכה מוסמכת של תנאי התשתית הפיסית, הן באופן רגיונאלי והן באופן פרטני ברמת האתרים הספציפיים. מעבר לבעיות המיוחדות הקשורות לירידת מפלס ים המלח, ראוי לזכור שמדובר באזור בעל רגישות גבוהה במיוחד לרעידות אדמה ולכשלים קרקעיים נלווים. אלה אמנם אינם מושפעים מירידת המפלס, אבל יש בהם כדי להשפיע על תפיסות התכנון ובוודאי גם על יישומן.

תפיסת התכנון המקובלת לאורך חופי ים, מבקשת בדרך הטבע לנצל את היתרון הגלום בחוף ומתפרסת לרוב לאורכו של החוף. כך היה גם בתכנוני הוותיקות שנועדו לחופי ים המלח, שראו בצדק את הפוטנציאל הגלום בקרבת החוף. תפיסת התכנון היתה פיתוח באוריינטציה מוארכת, בציר צפון-דרום ובמקביל לקו החוף, בשאיפה לקרבה מרבית אליו. המציאות החדשה שמטה את הקרקע התכנונית מתחת לרגליהן של התכנוניות הקיימות, הציבה אותן בתחום בעייתי מבחינת התשתית הקרקעית וניתקה אותן מקו החוף הלוך ונסוג במהירות ובהתמדה.

תוצאות עבודה זו מורות על קשיים מצטברים, דווקא בסמיכות לקו המים, הן בשל הנסיגה המתמדת הצפויה במיקומו של קו החוף והן בשל היווצרות הבולענים ושקיעות הקרקע המתרכזות בעיקר מתחת לקו הגובה 400- מ'. קשיים אלה ראוי שיובילו לחשיבה מחודשת בכל הקשור לתפיסת הפיתוח הראויה לחופי ים המלח. מועלית כאן המחשבה, הטעונה בחינה יסודית בכל תכנית עתידית, להחליף את כיוון ההסתכלות הקלאסי – צפון-דרום – המקביל וסמוך לחופי הים – בציר מערב-מזרח, שראשיתו במצוק ההעתיקים והמשכו בחופי ים המלח במערב.

על-פי תפיסה זו, מתחם הפיתוח עשוי לכלול שטח במעלה המצוק או גם שטחים המקושרים ביניהם למרגלותיו, עד לחוף הים. ציר פיתוח זה יכול אלמנטים תיירותיים והתיישבותיים שונים, אמצעי-אכסון, אטרקציות, תשתיות רוחביות, נגישות טובה למים ותנועה בטוחה ונוחה לאורך הציר, שתחבר את גובה המצוק עם חוף הים.

## לתפיסת תכנון זו יתרונות משמעותיים:

□ היא קושרת את איכויותיו ואוצרותיו של מדבר-יהודה ישירות עם הערך התיירותי האטרקטיבי של ים המלח – המקום הנמוך בעולם.

□ החיבור לראש ההר, בקצה מדבר-יהודה, קושר את התיירים והמבקרים ישירות למסלולים ואתרים במדבר-יהודה.

□ בראש המצוק קיימת תצפית על ים המלח ועל מניפות הסחף היורדות אליו עד הרי אדום ומואב במזרח – נופים שאינם גלויים לשהים בחופי הים עצמו.

- (1) מסמך זה יישמש בסיס לכל התנהלות של מוסדות התכנון, המועצות האזוריות, מע"צ וכל גורם אחר באזור ים המלח. המפות שבמסמך מציגות אזורים מועדים להתפתחות בולענים ולכשל-קרקע. במסגרת ועדת המנכ"לים לנושא הבולענים, בחן צוות הנדסי את פעולות ההנדסה והרישוי באזור. תמצית דוח הביניים של צוות זה מובאת כלשונה בנספח.
- (2) כל גוף האחראי לתשתית פיסית כלשהי באזור ים המלח (המועצות האזוריות, מע"צ, חברת החשמל וכו'), יבחן בהקדם ובאופן מדוקדק את ההשלכות הצפויות לתשתיות הנתונות תחת אחריותו באזורים המסומנים במפות כאזורים מועדים לכשל קרקעי. היות שהרזולוציה של המפות שבמסמך זה אינה מיועדת לתכנון מפורט ולתכנון הנדסי, נדרשת היערכות כדלקמן:
- יש לאתר באופן שיטתי מבנים, דרכים, תשתיות אחרות ושימושים חקלאיים הנמצאים באזורים המועדים לכשל קרקעי על-פי מפות אלו ויש לערוך בדיקות הנדסיות מפורטות לקביעת מידת הסיכון המיידית הצפויה בהם, בין השאר כמפורט בנספח ההנדסי.
  - יש לבחון את ההיתכנות לכשל קרקעי, כדי למנוע נזק ולהיערך לתחזוקת התשתיות הנתונות בסיכון מידי.
  - יש לאתר חלופות ולפנות אתרים הנתונים בסיכונים בלתי-נמנעים, או כאלה שאין היתכנות הנדסית ו/או כדאיות כלכלית למניעתם.
  - יש לקבוע את המנגנון הכלכלי וההנדסי שידאג לפינוי ו/או למציאת החלופות.
- (3) המכון הגיאולוגי יקיים ניטור, יעבה את בסיס נתוני התשתית ויעדכן מעת לעת את מפות ההיתכנות להתפתחות בולענים ולכשל קרקעי אחר. עניין זה הוא בעל חשיבות עליונה בהתחשב דינאמיות של האזור ובסיכונים הנגזרים ממנה. כל תכנון יחייב התייעצות עם המכון הגיאולוגי ועם יועץ הנדסי, לבחינת הפריסה המדויקת של האזורים המועדים לכשל קרקעי בכל אתר ספציפי והמשתמע מכך בזמן ובמרחב.
- (4) מוסדות התכנון יכינו תכנית-מתאר חדשה לחופי ים המלח ויעשו שינויים בתכניות המתאר הקיימות באזור, תוך גיבוש
- תפיסה תכנונית התואמת את התנאים הדינאמיים הצפויים בטווח של 30-40 השנים הבאות, בהתאם לממצאים המוצגים במסמך זה, ובהתייחס לדברים המובאים בנספח ההנדסי.
- (5) משרד התיירות והמועצות האזוריות יבחנו מחדש את תכנית האב לתיירות לחופי ים המלח ויעדכנו אותה בהתאם למהלכי התכנון החדשים לחופים אלה.
- (6) הממשלה תביא לגיבוש התפיסה והתנאים להמשך פעילות המפעלים הכימיים מעבר לטווח של שנת 2030 (תום תקופת הזיכיון של מפעלי ים המלח).
- (7) הגורמים המקצועיים והסטטוטוריים המופקדים על סוגיות המים באזור (נציבות המים, רשויות הניקוז, המועצות האזוריות והמכון הגיאולוגי), יקיימו מעקב שוטף אחר נביעות החוף, מי התהום והנחלים המתנקזים לים המלח, ויכינו מתווה כולל של מערכות הניקוז העליות, שיותאם לשינויים המהירים המתרחשים בהן כתוצאה מירידת פני הים. בהקשר זה ראוי לבחון גם את כל הנושאים המשפיעים על המערכת ההידרולוגית בים המלח והנגזרים מניצול אינטנסיבי של מי-תהום בשולי הים ובמעלה הזרימה, ומשחרור קולחים מטופלים ובלתי-מטופלים באגן ההיקוות.
- (8) רשות הטבע והגנים תעקוב אחר השינויים המתרחשים בחי ובצומח הקשורים למעיינות החוף, ותבחן אותם באופן שוטף לאור השינויים שחלו בספיקה ובמיקום המעיינות בגין ירידת מפלס פני הים. הרשות תיערך ותנקוט צעדים להגנה ולשמירה על נאות החוף ועל מקווי המים הייחודיים, מפני אפשרות של פריצת מקווי המים הרדודים בגין התחתרות, אשר תביא לאבדן ערכי הטבע המיוחדים והנדירים הנשענים עליהם.
- (9) הממשלה תגבש מתווה ארגוני שיבטיח תיאום ותקצוב הפעולות הנדרשות בנושא זה ממשרדי הממשלה השונים ומן המועצות האזוריות הקשורות בו.
- כל השותפים לעריכת מסמך-מדיניות זה, לעתיד ים המלח, קוראים לממשלה ליישם המלצות אלו באופן מידי, שכן התהליכים הנוכחיים והסיכונים הנגזרים מהם יימשכו בכל מקרה לפחות במהלך 30-40 השנים הקרובות. עם זאת, יש להיערך גם לטווח

הארוך יותר, שמעבר ל-40 השנים הבאות, ולבחון אפשרויות לשינוי המגמה של ירידת המפלס בחלופות שונות. לשם כך מומלץ שהממשלה תקדם את השלמת מסמך המדיניות ותורה לבחון את משמעויותיהם של מהלכים אפשריים לשינוי המאזן השלילי של מי ים המלח ולריסון המגמות המסתמנות, כמפורט במסמך זה. מדובר בבחינת המשמעויות של "מובל-ימים" (מים-סוף או מן הים התיכון) ושל השבת מרבית הזרימה הטבעית (בעיקר של הירדן והירמוך) לים המלח. יש לקיים בחינה זו במקביל לבדיקת היתכנות "מובל השלום" מים-סוף לים המלח, עליה סוכם לאחרונה, ואשר תיעשה על-ידי גורם בינלאומי בחסות הבנק העולמי. מן הראוי שממשלת ישראל תגבש עמדה עצמאית לעתיד ים המלח, שתתבסס על שמירת ייחודו של האזור ועל האינטרס הלאומי של ישראל.

## 1.1 מסגרת המסמך ומטרותיו

מסמך מדיניות זה נועד לסייע במימוש הפוטנציאל הגלום באזור ים המלח תוך הסתכלות כוללת, על רקע ירידת מפלס הים באגן הצפוני והתהליכים המתחוללים באזור.

מטרת המסמך להציג תמונת מצב מוסמכת ועדכנית ולגבש כיווני פיתוח שיאפשרו חיים תקינים, המשך ההתיישבות ופיתוח התיירות, ביחד עם שימור ים המלח וסביבתו.

החזון לעתיד ים המלח, כפי שגובש בשנות השמונים, אינו יכול עוד לשמש בסיס לתכנון עתידי. נסיגת קו החוף והתרחבות תופעת הבולענים, משפיעות על אורחות החיים באזור. החניון ומטע התמרים בעין גדי ננטשו ותכניות פיתוח שונות נעצרו. מיפוי חוף ים המלח בעתיד ומיפוי האזורים המועדים להתפתחות בולענים ולסחיפה עקב ירידת מפלס הים, מראים שעיקר אזורי הכשל הקרקעי הצפויים, מצויים ברצועה צרה לאורך החוף, בצמוד לקו המים. שאר השטחים באזור הם כר נרחב לפיתוח, ללא חשש מתופעות אלו.

מסמך זה מציג נתונים, הערכות ותחזיות לגבי המצב הקיים והצפוי באזור ים המלח ומציג מתודולוגיה לניתוח תרחיש של ברירת מחדל, כלומר: **מה צפוי להתרחש בים המלח ובסביבתו מבלי שיינקטו אמצעים לריסון ירידת המפלס**. בהסתמך על ניתוח **משמעותי ברירת המחדל**, מוצגים קווים מנחים לפיתוח מיטבי של אזור ים המלח באזורים יציבים ונטולי סיכון לכשל קרקעי בגין בולענים.

## 1.2 גורמים ומשמעויות מירידת המפלס

ים המלח הוא אגם ייחודי בעל חשיבות עולמית, הנובעת מהיותו המקום הנמוך ביותר על-פני כדור הארץ ומן ההרכב היוצא-דופן של מימיו. שטח ההיקוות של הים מתפרס משיא החרמון בצפון ועד ראש נחל פארן (צפונית-מזרחית לאילת) בדרום. האקלים, תופעות הטבע והמסגרת הנופית וההיסטורית, מקנים לו פוטנציאל כלכלי ניכר בתחומי התעשייה, התיירות והחקלאות לסוגיה, בישראל ובירדן כאחת. השילוב בין מסורות דתיות לבין ערכי נוף, טבע ומדע ייחודיים, וקרבתו הגיאוגרפית לאתרים מקודשים לכל

הדתות, מציב את ים המלח במוקד ההתעניינות העולמית והוא מועמד להכרזה כאתר מורשת עולמית ע"י UNESCO.

במהלך המאה העשרים ירד מפלס ים המלח ביותר מ-25 מ' וכיום הוא נמצא בגובה 418 מ' מתחת לפני הים התיכון. ירידת המפלס בכמטר אחד בשנה, מבטאת מאזן מים שלילי באגן, המסתכם בשטחו הנוכחי בכ-650 מיליון מ"ק בשנה. ירידת המפלס נובעת בעיקר מניצול המים השפירים באגן ההיקוות, על-ידי ישראל, סוריה וירדן. בנוסף, מפעלי ים המלח והמפעלים המקבילים בירדן, מאדים את מי ים המלח בבריכות אידיו באגן הדרומי ותורמים יחדיו כ-35% מסך גירעון המים הנוכחי. תהליכי האידיו וירידת המפלס צפויים להימשך שנים רבות, אולם עקב העלייה הדרגתית במליחות הים, יואט קצב האידיו ובסופו של התהליך צפוי מפלס ים המלח לרדת לרום של כ-550 מטר מתחת לפני הים ולהתייבב בו, ללא שינוי משמעותי נוסף.

ירידת מפלס ים המלח גרמה להתייבשות האגן הדרומי ולחשיפת משטחי בוץ נרחבים סביב הים. התפתחות הבולענים קשורה ישירות לירידת מפלס הים ולשינוי שחל במשטר מי התהום המתנקזים אליו. שינויים קיצוניים אלה מביאים להיווצרות חללי המסה בשכבת מלח בתת הקרקע, ואלה קורסים באופן פתאומי ומביאים בסופו של דבר להתמוטטות פני השטח. ירידת המפלס מאיצה גם את תהליכי העירוף והסחיפה של הנחלים, הגורמים לפגיעה בתשתיות ההנדסיות. הירידה במפלס גורמת לאבדן מי תהום על חשבון אוגר חד-פעמי ומביאה לערעור ולשינוי במצבם של מקווי-מים ואתרי-טבע ייחודיים. המצב שנוצר כתוצאה מכך, גורם לבלימת פיתוח התשתיות והתיירות סביב הים מחמת חוסר-ודאות ומחמת הסכנות הגלומות בהתערעורת התשתית. בצידו המערבי של האגן הצפוני של ים המלח לא מצויים בתי-מלון, ואלה הקיימים ניצבים באגן הדרומי, לחופי בריכות מלאכותיות המהוות חלק ממערך הייצור של מפעלי ים המלח. בשל אילוצי תפעול, מועלים המפלסים בבריכות בהדרגה ונוצר איום של הצפה ופגיעה ביסודות של אחדים מבתי המלון.

בחופי ים המלח מתרחשים תהליכים שעוצמתם מגיעה לממדים של תופעת-טבע, וכולם נגזרים מהפרת שיווי המשקל הטבעי של המערכת בידי האדם. כל ניסיון להתמודד עם התהליכים אלה מחייב התערבות אנושית נוספת בממדים נרחבים, שתהייה לה השלכה על אזור ים המלח וסביבתו. החשש שמא מהלכים אלה עלולים



## 1.4. תרחיש של ברירת מחדל

מסמך מדיניות זה מתייחס לתרחיש הראשון בלבד, ומתמקד בגיבוש קווי-מדיניות ועקרונות להמשך פיתוח האזור ולשימור ערכי הייחודיים בתרחיש ברירת המחדל. כלומר, המסמך מתאר מה צפוי להתרחש בים המלח וסביבתו ללא נקיטת אמצעים לריסון ירידת המפלס. המגמות המסתמנות באזור אינן צפויות להשתנות באופן מהותי במהלך 30 השנים הקרובות לפחות, גם אם תחלנה יוזמות לנקיטת פעולה באחת משתי החלופות האחרות. המסמך מתייחס לשאלות הקשורות בשימור ובביסוס מערכות החיים והתשתיות המשמשות את תושבי המקום ועוסק בשאלות המחייבות התמודדות וגיבוש מדיניות-פיתוח המתאימה למצב העכשווי ולהמשכו בטווח תכנוני של 30 השנים הקרובות לפחות.

הרחבת מסמך-מדיניות זה ובחינת כל המשתמע מתרחשים אחרים הבאים לשנות את המגמות הנוכחיות, מחייבות איסוף מידע ופיתוח כלי-הדמיה שבעזרתם ניתן יהיה לנתח את התנהגות המערכת בעקבות שינוי מהותי של המצב (כחקמת מובל-מים). בהתחשב בכך שבכל מקרה לא יהיה שיפור במאזן המים הגירעוני של ים המלח בטווח הנראה לעין, מהווה מסמך זה מסגרת ראויה לאימוץ וליישום מוקדם ככול הניתן.

זה המקום לציין כי מסמך מדיניות זה מתבסס בין השאר על עבודות שנערכו במסגרת החלטת-ממשלה נפרדת לעניין הבולענים בים המלח. עבודות אלו, שנערכו ע"י המכון הגיאולוגי בשיתוף עם המכון הגיאופיסי – במסגרת ועדת מנכ"לים בראשות מנכ"ל משרד התשתיות – טיפלו בחקירת תופעת הבולענים ובמיפוי של אזורים מועדים. תוצאות עבודה נוספת, שבוצעה ע"י צוות הנדסי במסגרת אותה ועדת מנכ"לים ובחנה את ההיבטים ההנדסיים של תופעת הבולענים, מובאות כלשונן בנספח למסמך זה.

## 1.5. הצוות ושיטת העבודה

עבודה זו מנתחת כאמור את המשמעויות הסביבתיות, הכלכליות והמשפטיות, בתרחיש של ברירת מחדל. המשרד לאיכות הסביבה ביחד עם משרד התשתיות הלאומיות ומכון ירושלים לחקר ישראל, גיבשו צוות עבודה בעל התמחויות ספציפיות לשם הכנת המסמך:

- **צוות המכון הגיאולוגי** – בחן את התופעות והתהליכים המתרחשים כיום בים המלח ובתשתית הסובבת אותו, במטרה לחזות את ההשלכות של המשך התפתחותם בעתיד. תופעות ותהליכים אלה נותחו בעזרת מומחים בתחום הגיאולוגיה, הגיאומורפולוגיה, ההידרוגיאולוגיה, הגיאופיסיקה, הגיאוכימיה והלימנולוגיה של גוף המים. המחקר שעליו מתבסס הצוות בעבודתו בכל אחד מן התחומים, נעשה בשיטות הכוללות

ליצור בעיות חדשות, אולי חמורות אף יותר, מחייב לכמת ולבחון את משמעותם בהקשר מערכת-אגני ובעזרת כלי-חיזוי מהימנים.

מסמך זה מציג נתונים, הערכות ותחזיות לגבי המצב הקיים והצפוי באזור ים המלח ומציג מתודולוגיה לניתוח תרחיש של ברירת מחדל, כלומר: **מה צפוי להתרחש בים המלח ובסביבתו ללא נקיטת אמצעים לריסון ירידת המפלס. כפי שמוסבר במסמך, צפי זה תואם גם למצב של החלטה לריסון התהליך, שכן עד לשחזור המפלס הנוכחי יחלפו לפחות 30-40 שנה.**

המסמך כולל ניתוח ראשון של תגובת התשתית הטבעית לירידת מפלס הים ומציג תחזיות לשנים הבאות. בהמשך מוצג ניתוח אקולוגי וסביבתי של ההשלכות על החי, הצומח, הדומם והאדם. הפרק התכנוני מנתח את מצבן של תכניות הפיתוח השונות על רקע הצפי של ירידת המפלס. הפרק הכלכלי מציג את השיטות לאומדן שווי הנכסים באזור ים המלח והעלויות לתיקון נזקים, ומציג גישה לאומדן שווי של ים המלח כערך טבעי ייחודי. בהכנת המסמך השתתף צוות משפטי, שניתח את הדינים המקומיים והבינלאומיים החלים על המערכות השלטוניות אשר קובעות את גורלו של האזור. הניתוח המלא של ההיבטים המשפטיים הנגזרים מהשינוי במצבו של הים, יוצג בהמשך, בדוח נפרד.

## 1.3. החלטת הממשלה

ממשלת ישראל קיבלה החלטה להכין מסמך מדיניות לעתיד ים המלח, שיגובש על-ידי המשרד לאיכות הסביבה ומשרד התשתיות הלאומיות (החלטת ממשלה מס' 2863 מיום 5 בינואר 2003 – נספח 1). המסמך אמור לבחון ולשקלל את נתוני התשתית הקשורים לים המלח, להעריך את משמעותם הסביבתית, הכלכלית והמשפטית ולהציג מסקנות והמלצות כבסיס לקבלת החלטות על עתיד האזור. המסמך הנוכחי מתייחס לתרחיש של ברירת מחדל, שהוא אחד משלושה תרחישים אפשריים:

- **ברירת המחדל** – המשך מאזן המים השלילי באגן ואף החמרתו בגין גריעת מים שפירים נוספים. תרחיש זה מתאר מצב ריאלי שימשיך ויתקיים בכל מקרה במהלך עשרות השנים הקרובות.
- **מובל הימים** – פעולה לשינוי מהותי של מאזן המים של האגן, באמצעות הזרמת מי-ים ומי-רכז לאחר התפלה, בכמות השווה ואף עולה על קצב האידוי. פעולה זו מחייבת היערכות והשקעות כבדות.
- **השבת מים שפירים** – פעולה לשינוי מאזן המים באגן, באמצעות החזרת חלק ניכר ממקורות המים הטבעיים שהתנקזו לים המלח, בדומה למצב שהתקיים לפני עשרות שנים. פעולה זו מחייבת ויתור על שיעור ניכר ממקורות המים למשקי האזור ומציאת מקורות חלופיים.

תצפיות ומדידות ברצועת החוף ובגוף המים, נטילת מדגמים ואנליזות גיאוכימיות ואיזוטופיות, עריכת קידוחים וסקרים גיאופיזיים ופיתוח מודלים להדמיית המערכת הלימנולוגית ומי התהום. עבודת המכון הגיאולוגי מבוססת על שורה ארוכה של מחקרים וסקרים שנעשו במכון הגיאולוגי, במכון הגיאופיזי, במכון לחקר ימים ואגמים ובאוניברסיטאות, וכן על עבודות שנעשו במסגרת מינהל מדעי האדמה במשרד התשתיות, כמו פרויקט הבולענים באיגום ממשלתי, חקירת עינות-צוקים (במימון נציבות המים) וכן סקרים ומחקרים על גוף המים ומי התהום, במימון משרד התשתיות, קרנות מחקר ומפעלי ים המלח.

□ **צוות אקולוגיה וסביבה** – הצוות סקר את השפעת ירידת מפלס ים המלח על המערכות האקולוגיות והסובב הטבעי והאנושי, והתמקד בהערכות לגבי השפעת השינויים על המאפיינים הטבעיים של החי, הצומח והדומם באגם ובחופו והשלכותיהם על תושבי האזור. עבודת הצוות מתבססת על שורה ארוכה של מחקרים וסקרים, בעיקר מחקרים שנערכו באוניברסיטה העברית בירושלים, באוניברסיטת תל-אביב וברשות הטבע והגנים.

□ **צוות כלכלי** – ניתח את ההשלכות הכלכליות של התהליכים המתרחשים והחזויים באגן, ואמד את משקלם וחשיבותם הכלכלית של ים המלח וסביבתו בתרחיש של ברירת המחדל. בנייתו ההשלכות משולב גם היבט של עלויות הנדסיות לכינון נזק לתשתיות. הצוות יישם שיטות מקובלות לאומדים כאלה ובחן גישות המבוססות על סקרי דעת-קהל, שפותחו במטרה לכמת את הערך הכלכלי של משאבי טבע ונוף וישמו במקומות אחרים בעולם.

□ **צוות תכנוני** – בחן את מצבם של שימושי הקרקע באזור, את התכנית ואת תכניות המתאר, על רקע תנאי השטח החדשים שנוצרו עקב השינויים שחלו באזור. הצוות העריך את ההשלכות הנובעות מכך והציג קווים לתפיסה תכנונית ולהיערכות חדשה לחופי ים המלח.

□ **צוות משפטי ומינהל-ציבורי** – ניתח את המשמעויות המשפטיות הקשורות בניצול המים באגן ההיקוות של ים המלח ובתוצאות ניצול זה. הצוות ערך סקירה של הגופים השלטוניים הקשורים לים המלח. נעשה ניסיון להצביע על תהליכים והחלטות שהתקבלו במסגרות שונות, שהביאו למצבו הנוכחי של ים המלח. הצוות התבסס על ניתוח מפורט של חוקים, תקנות, פסיקה, אמנות והדין הבינלאומי.

## 2 | מפעל ההתיישבות באזור ים המלח

### 2.1. רקע היסטורי

הרקע המדברי של חבל ים המלח הוא הבסיס לתדמיתו כארץ־גזירה, כמקום מקלט וכחממה שטיפחה מסורות ורעיונות בתחומי הדת והמוסר. בנוסף לכך נוצלו נאות המדבר סביב ים המלח כחממות חקלאיות טבעיות שהצמיחו גידולים נדירים, אשר ביחד עם משאבי הים (מלח ואספלט) שימשו בסיס כלכלי ליישובי־קבע. העליות והמורדות המאפיינים את תולדות ההתיישבות באזור, אינם משקפים שינויים בנתוני הטבעיים אלא שינויים ביכולת המימוש שלהם.

עם ההתמוטטות הכללית של החקלאות, לקראת סוף המאה ה־8 לספירה, שקעו גם התרבויות החקלאיות הייחודיות לנאות ים המלח, ובהן תרבויות התמר וצמחי הבושם. פרט להתאוששות מסוימת בימי הביניים – שהתבטאה בהמשך גידול הכופר להפקת החנה, גידול קנים לייצור סוכר וכן גם ניל להפקת צבע האינדיגו – הלכו היתרונות היחסיים של האזור והתרחקו מכלל מיצוי.

### העת החדשה, עד 1948

היעד הראשון להתיישבות עברית בחבל ים המלח בעת החדשה הוא יריחו, שהיתה מיושבת עד סוף המאה ה־19 בקומץ בדואים שחורים מבני הע'וארנה, הנחשבים הנחותים ביותר בסולם החברתי הערבי. ב־1876 נוסדה "אגודת פתח־תקווה" שרכשה קרקעות להתיישבות יהודית חקלאית ביריחו, במקום שזוהה כ"עמק עכור (...ואת עמק עכור לפתח תקווה" – הושע ב' 17), אך העסקה בוטלה על־ידי השלטון העות'ומאני.

ההתיישבות בחבל ים המלח היתה מאושיות תורת ההתיישבות הציונית. לוינסקי (1889) ביטא זאת לראשונה כחזון מקיף של התיישבות עירונית גדולה, המבוססת על משאבי ים המלח וסביבתו: תעשייה, תירות, חקלאות ואיכות־חיים.

ב־1930 החל לפעול בצפון ים המלח מפעל האשלג, אשר שכונת העובדים היהודים שלו, שקמה ב־1933, היתה למעשה היישוב העברי הממוסד הראשון באזור. יהודה קופילביץ' (לימים אלמוג) גייס כוח־אדם יהודי למפעל מקרב גרעיני הקיבוץ המאוחד, על בסיס הרעיון של הקמת קיבוצים המבוססים על תעשיות ים המלח. ב־1939 הוקם קיבוץ בית הערבה, חרף גזירות הספר הלבן, במסווה של חווה חקלאית לצורכי מפעל האשלג. ההצלחה החקלאית, שהושגה בתנאים שאיש לא האמין כי ניתן לקיים בהם

חקלאות, הפכה את בית הערבה לסמל האתוס של הפרחת השממה. ב־1934 הכשילו הבריטים ניסיון התיישבות דומה בצאפי, סמוך לשלוחה הדרומית של מפעל האשלג. ממערב למפעל הצפוני, בחוף המתווה קשת כלפי דרום, פעלה "חברת קליה" (מקור השם: קליום – אשלגן בלטינית) שזיכיונה כלל הפעלת חוף רחצה, מסעדה ומלון. עד מלחמת העצמאות פעלו וחיו במרחב ים המלח כ־1,000 יהודים, שעסקו בתעשייה, חקלאות ותיירות – שילוב המבטא היטב את הפוטנציאל של החבל. אך מציאות זו חדלה להתקיים עקב אירועי מלחמת העצמאות, שהותירו את צפון ים המלח מחוץ לגבולות מדינת־ישראל.

### בין השנים 1949-1967

בשנת 1949 נתפסה עיני־גדי על־ידי צה"ל וכך נקבעה האחיזה הישראלית בחוף המערבי של ים המלח, בין סדום לעיני־גדי. העבודה במפעל האשלג הדרומי חודשה ב־1952, במסגרת חברת "מפעלי ים המלח" ובאותה שנה קמה התיישבות ראשונה בנאות הכיכר, כחווה חקלאית המבוססת על גידול ירקות חורף (ראה להלן). המפעל בסדום התקשה לתפקד עד לארגונו־מחדש על־ידי מרדכי מקלף ב־1955. כחלק מהשינויים הארגוניים, בוטלו מגורי העובדים במקום.

ב־1953 עלתה היאחזות נחל לעיני־גדי והפכה ב־1956 לקיבוץ. הקמת הקיבוץ שאבה את השראתה מדימויי שיר השירים ונתפסה כחידוש היישוב החקלאי היהודי בעיני־גדי לאחר כ־1,200 שנה. באותה שנה הוקמה גם המועצה האזורית תמר על־ידי משרד הפנים.

ניצני המלונאות נראו בעיני־גדי ב־1960 בדמות אירוח־כפרי בקיבוץ. ענף המלונאות המוכר היום בדרום ים המלח, החל להתפתח עם פתיחתו של מלון עיני־בוקק ב־1963 ביזמה מוסדית, ומלון גלי־זהר שקם ב־1965 ביזמה פרטית.

### משנת 1967

תוצאות מלחמת ששת הימים אפשרו גישה מחודשת לצפון ים המלח וחיבורו של האזור למרכז המדינה, דרך ירושלים. ההתיישבות המחודשת החלה ב־1968 כהיאחזות נחל בחוף קליה ועם השנים קיבל השם ההיסטורי משמעות גם כראשי־תיבות (קליה) – קם לתחייה ים המוות). בשנים 1968-1971 נסלל הכביש מעיני־פשחה

לעין־גדי, וכך יצאה עין־גדי מבידודה בקרן־זווית של קו הגבול והתיירות הפכה למרכיב חשוב בכלכלתה. היאחזויות נחל נוספות כמו בצפון ים המלח: בית הערבה (החדשה) ומצפה־שלם, שהתאזרחו לאחר מכן, קיבוץ אלמוג ומושב ורד־יריחו. אולם האתר המקורי של בית הערבה נותר נטוש, מפאת מיקומו ממזרח לצייר הביטחון השוטף. ב־1981 הוקמה המועצה האזורית "מגילות ים המלח".

ההתיישבות החדשה בצפון ים המלח מבוססת על היתרונות החקלאיים של האזור, שפע של מִיתָהוּם באיכות טובה המופקים מקידוחים, ומי קולחין מירושלים ומעלה־אדומים, המהווים בסיס לגידולים חקלאיים שונים ולשטיפות קרקע. קיבוץ מצפה־שלם מקבל גם מים מותפלים ממעיינות קנה. צפון ים המלח הוא כיום אחד המרכזים הגדולים והחשובים ביותר בארץ לגידול התמר, שהוא הענף החקלאי החשוב והבולט ביותר באזור. בד בבד מתפתחת גם התיירות: אירוח־כפרי בתחומי היישובים, שירותים לתיירות חולפת, מרחצאות תרמ־מינרליים, שירות־חוץ ופארק מים, כמו גם תכניות ותשתית ראשונית למרכז מלונאי. אתר קומראן הוא מוקד תיירות חשוב ונלווה אליו מוזיאון "בית הסופר" בקיבוץ אלמוג.

## 2.2. מועצה אזורית תמר

### תחום המועצה

שטח המועצה משתרע על 1,760,000 דונם לאורך דרום בקעת ים המלח וצפון הערבה, מקו שביתת הנשק (1949) בצפון ועד קו עין־חצבה כביש מעלה־עקרבים בדרום, כולל דרום רמת מדבר־יהודה. תחום המועצה כולל ברובו שמורות טבע ושטח מדברי, וכן מתחמי תעשייה ומלונאות המרימים למועצה האזורית ארנונה כחוק. המועצות האזוריות השכנות הן מגילות ים המלח בצפון, וערבה תיכונה בדרום.

### אוכלוסייה

האוכלוסייה בתחום שיפוט המועצה מונה כ־1,300 תושבי־קבע בשבעה יישובים: שני קיבוצים – עין־גדי והרעמשא; שני מושבים – נאות הכיכר ועין־תמר; חווה פרטית – עין־חצבה; מרכז כפרי – נווה־זוהר ובי־ס־שדה – בעין־גדי.

**מקורות ההכנסה** העיקריים של תושבי הקבע הם בעיקר חקלאות ואירוח, בעוד השליטה במשאבים התעשייתיים והתיירותיים העיקריים והתשואה הכלכלית שהם מניבים, הן בידי גורמים מחוץ לאזור.

המועצה האזורית תמר משרתת כ־2 מיליון אורחי־נופש הלנים בים המלח מדי שנה ועוד למעלה ממיליון נופשים שאינם לנים במתקני התיירות והאירוח (בתחום זה המועצה היא שנייה רק לאילת). לפני השפל שחל בארבע השנים האחרונות בתיירות הנכנסת, שהו בים המלח יותר ממיליון תיירי־חוץ בשנה.

### תחומי אחריות ייחודיים

המועצה האזורית תמר אחראית למספר פרויקטים "לאומיים" והיא מחויבת להשתתף במימוןם מהכנסותיה (על־פי חוק ההסדרים):

- הגנה על המלונות והחופים מפני עליית המפלס בבריכה 5;
- טיפול בתופעת הבורות (הבולענים), כולל שיקום תשתיות והשקעות כספיות כבדות בביצוע מחקר ומיפוי במרחבים עצומים;
- הקמה, אחזקה ותפעול של חופי הרחצה המשרתים את כלל אוכלוסיית ישראל, ללא סיוע ממשלתי;
- תמיכה שוטפת בתיירות, תכנון ופיתוח אזורי תיירות;
- הקמת התשתיות להן התחייבה החברה הממשלתית לפיתוח ים המלח;
- קיום בקרה ופיתוח סביבתי.

המועצה האזורית נמצאת בהתמודדות בלתי־פוסקת עם בעיות אקולוגיות־פיסיות של קריסת ובלית תשתיות כתוצאה מהשינויים הדרמטיים המתחוללים בים המלח. התמודדות זו מתרחשת בפריסה ובעצמה חסרות תקדים בארץ.

### מגמות ותכנון

בתכניות המתאר הארציות (תמ"א 31 ותמ"א 35), נמצאת המועצה האזורית תמר בשוליים החיצוניים של הטבעת החיצונית ביותר של מטרופולין באר־שבע, ואינה זוכה לכל עדיפות. פרט להתייחסות לנושא שמירת הנוף ואתרי הטבע, אין תמ"א 35 מתייחסת לתהליכים המתרחשים בתחום המועצה האזורית: תהליכים סביבתיים שליליים, ירידת הסקטור החקלאי, הגירה שלילית ועוד, וכמוה גם תכנית המתאר האזורית (1984). קיימת תכנית לחיזוק היישוב הקהילתי בנווה־זוהר (100-150 יחידות דיור) ולבנייה תקציבית ביישובי הכיכר – נאות הכיכר ועין־תמר.

## חינוך תרבות וספורט

שני בתי-ספר יסודיים, ההולכים וקטנים בהיקפם, פועלים באזור: האחד בעין-גדי והשני בנאות הכיכר. בכל אחד מהם כ-50 תלמידים. בגלל מספרם הנמוך של התלמידים, מקובצים חלקם בכיתות רב-גיליות. בעין-גדי קיימת מערכת חינוך על-יסודית, הכוללת חטיבת-בניניים וחטיבה עליונה עם פנימייה, בה לומדים כ-200 תלמידים.

היקפה הקטן של מערכת החינוך אינו מאפשר היצע מגמות וחינוך באיכויות הדומות לאלו של מרכזי האוכלוסייה הגדולים, ואינה מאפשרת הכשרה והכוונה של התלמידים לצורכי כוח האדם המקצועי הטבעי לאזור, בתחומי התעשייה והתיירות. גם גורמי התעשייה והתיירות אינם מגלים עניין בהכשרת כוח-אדם מקצועי מקרב אוכלוסיית התלמידים המקומית.

כחלק מתהליך תכנון אסטרטגי, הוקמה במועצה ועדת-היגוי לתחום החינוך, שפועלת יחד עם "המרכז לצמיחה במערכת החינוך" באוניברסיטת בן-גוריון, על-מנת לגבש מערכת חינוך שתענה על הצרכים המיוחדים הנובעים מהריחוק הגיאוגרפי ומן האופי ההטרוגני של היישובים והאוכלוסייה, ותיתן להם מענה ארגוני ומתודי הולם.

מערכת התרבות והספורט מתרכזת בפעילות מתנ"ס (ללא מבנה פיסי מרכזי) המפעיל חוגים נושאים ותכניות-תרבות ויוזם אירועים. מופעי-תרבות מתקיימים בעיקר באולם התרבות האזורי בעין-גדי, ובעיית הריחוק הגיאוגרפי מקשה על עירוב קבוצות האוכלוסייה בפעילויות השונות. בתכנית החינוך האסטרטגית קיימת מחשבה להקים מרכז חינוך ותרבות אזורי בנווה-זוהר, שהוא המרכז הגיאוגרפי והמוניציפאלי של האזור.

בטענה שרוב עובדיהם באים מערים אלו. לתעשייה נציג בעל זכות-הצבעה במועצה האזורית תמר.

בבעלות יישובי המועצה אין כמעט תעשייה, למעט "עין-גדי, מים מינרליים" (שותפות עם יפאורה) ועוד מפעל קטן הפועל בעין-גדי בתחום הפולימרים.

## מלונאות

בחמש השנים שלפני פרוץ אינתיפאדת אל-אקצה, חל באזור פיתוח מלונאי מואץ ומספר חדרי המלון עלה מ-1,500 ל-4,000. תכנית המתאר הארצית לתיירות, תמ"א 12, צופה גידול ניכר העשוי להגיע ל-12,500 חדרים עד לשנת 2010 (ביחד עם ערד).

שליש ממיסוי המלונות מוקדש לפרסום ושיווק, וקיים ויכוח בין המועצה למלונאים על היקף ההשקעות וסדרי העדיפויות. לטענת המלונאים יש להשקיע יותר בפיתוח אטרקציות, כדי להאריך את משך שהות התיירים באזור.

לסקטור המלונאי אין נציג במועצה, אלא משקיף בלבד, והקשרים בין המלונאים לקהילה מצומצמים. התעסוקה במלונאות מתאפיינת בשכר בינוני ונמוך, שכן הבכירים מעדיפים שלא לעבור עם משפחותיהם לאזור, בהיעדר אלטרנטיבות למגורים ותעסוקה לבני הזוג. על כן מתאפייני כוח עבודה בכיר זה בארעיות ואינו מהווה מקור פוטנציאלי לאוכלוסייה חדשה. כמו בתעשייה, גם בקרב המלונאים עולה מדי פעם דרישה להקמת מועצת תיירותית עצמאית.

## יישובי המועצה האזורית תמר

### נאות הכיכר

מושב עובדים זה הוא היישוב הראשון שהוקם בתחומי המועצה. הוא נוסד ב-1952 כחוה חקלאית שהתבססה על גידול ירקות חורף. עם גבור התחרות מול יישובי גוש-קטיף והבקעה, עבר היישוב להתבסס על ענף המלונים, אשר גם הוא נתון כיום במשבר. בשל המשבר סבל המושב מעזיבה ומזה 15 שנה לא נקלטו בו משפחות חדשות, בין היתר מחשש לצמצום מכסות המים והקרקע. כתוצאה מכך אין ההתפלגות הדמוגרפית של אוכלוסי המושב נורמאלית וקיימים פער-גיל בקבוצות גיל מסוימות. גני הילדים אינם מלאים ובית הספר היסודי עומד בסכנת סגירה.

אוכלוסיית המושב מונה כ-340 נפש, בתוכם כ-200 ילדים, רובם לומדים בביה"ס היסודי בנאות הכיכר ובביה"ס העל-יסודי בעין-גדי. 35 מתוך 64 המשפחות מעבדות את שטחיהן ושטחים נוספים

### התעשייה

בין מפעלי ים המלח לבין התיירות שורר קונפליקט, אך קיימת גם תלות הדדית. למפעלי ים המלח יש זיכיון על שטחים נרחבים אשר מקנה להם עמדת-כוח כלפי המועצה ואינו מאפשר לה יזמות פיתוח אזוריות בלא הסכמתם. ליישובים הנמצאים בתחום הזיכיון (יישובי הכיכר ונווה-זוהר) סכסוכי קרקעות מתמשכים עם מפעלי ים המלח, שאינם מאפשרים לממש בנייה תקציבית שאושרה על-ידי משרד השיכון לשם התרחבות והתבססות, והדבר מעיב על עתידם. בנוסף, קיימת בין המפעלים למועצה מחלוקת בשאלת היחס הנכון בין שיעור המיסים לשירותים, ומפעלי ים המלח מעלים מדי פעם את התביעה להקים מועצה תעשייתית בעלת משק סגור ומנותק מהמועצה. חומרי הגלם של מפעלי מישור-רותם מבוססים על כריית מחצבים ועל תוצרים של מפעלי ים המלח. קיים לחץ חזק מצד רשויות הערים ערד ודימונה, להעביר אליהן את שטחי המפעלים כדי לזכות בתשלומי הארנונה שלהם,

החכורים משכניהם, והגידול המוביל כיום הוא הפלפל. יש גם ניצני התפתחות של חקלאות תיריתית, חדרי-אירוח וזימות שונות.

עלויות המחיה במקום גבוהות מחמת הריחוק מהמרכז, היקף האוכלוסייה הקטן והרגלי הצריכה שנקבעו בתקופות השפע. כיום יש מודעות להכרח שבקליטה, ולאחרונה אכן נקלטו שש משפחות, אולם המחסומים העיקריים בפני התרחבות הם קשיי-דיור, מחסור בקרקע חקלאית (הקונפליקט עם מפעלי ים המלח) וחוסר במקורות פרנסה.

### קיבוץ עין-גדי

היישוב הוקם בשנת 1956 על בסיס היאחזות הנחל שעלתה למקום ב-1953. בגלל בידודו וריחוקו, הוקם הקיבוץ ועוצב כיחידה אוטונומית הכוללת שירותי חינוך. הבסיס הכלכלי היה מלכתחילה החקלאות – בעיקר ירקות חורף. היתרון היחסי היה האקלים, שחיפה על החסרונות האגרוטכניים (קרקעות אבניות ומשופעות), אך עם התפתחות טכנולוגיית החממות והמנהרות במקומות אחרים בארץ, איבדה עין-גדי את יתרונה היחסי. נוסד גידולים נוספים, בהם מנגו ופמלו שנראו מבטיחים, אך בסופו של דבר הם נעקרו והגידול העיקרי נותר התמר. ב-1960 נוסד ענף אירוח צנוע. סלילת כביש עין-פשהח – ירושלים שיפחה את הקשר עם מרכז הארץ דרך ירושלים, ובמקביל עבר מרכז הכובד לעיסוק באירוח ותירות על חשבון החקלאות המצטמצמת. הוקם בית-הארח שהתרחב עם הזמן ל-150 חדרים והוקמו מרחצאות תרמו-מינרליים, שאף הם הורחבו עם הזמן בהשקעות גדולות.

רגישותה של התירות למצב הביטחוני באה לידי ביטוי בשנות האינתיפאדה ונוספה לכך תופעת הבולענים שפגעה פגיעה חמורה בתירות החוף הטבעי, שנהנתה מיתרון על מתחם המלונות שלחוף הבריכה התעשייתית. כמו כן חיסלה תופעת הבולענים את מטע התמרים כמטע מסחרי ובכך איבדה עין-גדי את המעוז החקלאי האחרון שלה – אבידה כלכלית וערכית. לאחרונה נטעו מטעי מנגו בשיטת גידול חדשה, בשטחים הגבוהים והמשופעים שאין בהם חשש להיווצרות בולענים, אולם שטחים אלה מצומצמים בהיקפם. הפגיעה בחקלאות ובתירות הותירה את הקיבוץ עם מקור הכנסה יציב אחד – מפעל "עין-גדי, מים מינרליים" (שותפות עם יפאורה). המפעל ניזון ממי מעין עין-גדי, מהמכסה ההיסטורית שנקבעה בזמנו לקיבוץ בהסכמים ששותפים להם נציבות המים ורשות הטבע והגנים, על חשבון שימושים קודמים. ההסכמים אינם ניתנים לשינוי והם יוצרים מגבלה להתפתחות המפעל. קיימת גם התנגדות עקרונית של גופים ירוקים לעצם הרעיון.

התפלגות המחזור העסקי של עין-גדי ב-2003: תעשייה (בעיקר מים מינרליים) – 53%; תירות – 26%; עבודת חוץ – 9%; אחרים (כולל חקלאות) – 15%.

אוכלוסיית הקיבוץ מונה 537 נפש, בהם 365 בוגרים ו-172 ילדים. אוכלוסיית הבוגרים מתפלגת ל-195 חברים ו-125 תושבים (כולל 57 בני המקום). אוכלוסיית הילדים מתפלגת לכ-80 תלמידי בי"ס תיכון (כולל 45 ילדי-חוץ בפנימייה) וכ-50 תלמידי בי"ס יסודי. היתר – גנים וגיל רך – לומדים כולם בעין-גדי. חלקה של האוכלוסייה הבוגרת עולה, וכניסתה של אוכלוסייה חדשה נמנעת בשל מחסור בדיור ומגבלות תעסוקה.

### עין-תמר

מושב זה, שנוסד ב-1982 כמו נאות הכיכר, התבסס תחילה על ירקות חורף ולאחר מכן על מלונים, נקלע אף הוא למשבר מאותן סיבות שצוינו לעיל, ולא פותחו בו מקורות פרנסה חלופיים. בשל המצב הכלכלי הקשה, עברו רק לאחרונה רוב המשפחות ממחנה הארעי של המושב אל יישוב הקבע. פינוי המחנה הישן אפשר את ניצולו לאירוח. כמו בנאות הכיכר, כחצי מהמשפחות מעבדות את השטחים שלהן וכן שטחים החכורים משכניהם. יתר המשפחות מתפרנסות מעבודות שונות במקום ומחוצה לו.

אוכלוסיית המקום מונה כיום 31 משפחות וכוללת כ-100 ילדים, רובם לומדים בבי"ס היסודי בנאות הכיכר ובבי"ס העל-יסודי בעין-גדי. משפחות אחדות נמצאות בתהליך קליטה, אולם סכסוכי-קרקעות מתמשכים עם מפעלי ים המלח מקשים לממש בנייה תקציבית שאושרה על-ידי משרד השיכון ומעבים על עתיד המקום.

### נווה-זוהר

הוקם כמקום מגורים לעובדי מפעלי ים המלח, אך ברבות השנים אוכלס באנשים שונים וכיום גרים בו כ-70 תושבים. ליישוב בעיות סוציאל-אקונומיות ומזה שנים שלא נגבו בו מסים עירוניים ואין לו שירותים משל עצמו. חולשתו מתבטאת גם בהיעדר מנהיגות מקומית והוא מנוהל בידי ועד ממונה. ביזמה חדשה ומשותפת של המועצה האזורית, משרד השיכון ומינהל מקרקעי ישראל, הופקדה תכנית להקמת יישוב קהילתי חדש בן 100-150 יחידות דיור עם שני חדרי-אירוח לכל יחידה, מרכז מסחרי ומתקני ספורט. סיכויי הטובים של המקום לגדול ולשנות את המאזן הדמוגרפי באזור, יחד עם שינויים מתאימים במערכת החינוך, עשויים להפוך כבר בטווח הקרוב את נווה-זוהר למוקד השינוי במועצה האזורית כולה.

### עין-חצבה

נוסדה ב-1962 כחווה פרטית וגרים בה כ-30 תושבים (המשפחה המייסדת ומשפחות שכירים). אלה מעבדים כ-1,500 דונם של ירקות חורף, דיר גדול לבשר, דגינוי לייצוא, כרמים, תמרים



וציפורי-מחמד. היישוב שייך גיאוגרפית לגוש עין-יהב – חצבה, אך סיבות אנושיות הביאו לשיוכו הנוכחי.

## הרעמשא

יישוב קטן המונה 34 מבוגרים ו-28 ילדים, נוסד כקיבוץ ב-1983 וצורף למועצה האזורית לירות שזיקתו הגיאוגרפית היא לדרום-הר חברון. אנשי היישוב נערכים לשינוי אופיו ל"כפר שיתופי להתיישבות רבת-כליתית" בעל אידיאולוגיה של אקולוגיה ומורשת, המקדם יזמות של המתיישבים בתחומי מחקר ופיתוח, חקלאות, חינוך, הייטק ותיירות אקולוגית. כל מתיישב בונה את ביתו ומקדם את פרנסתו בעצמו או מסתמך על אמצעי ייצור משותפים. קיימת עתודת מגורים המיועדת לגל הקליטה הראשון ותכנון עם דגשים על בנייה אקולוגית ומשתלבת.

## 2.3. מועצה אזורית מגילות ים המלח

### תחום המועצה

המועצה הוקמה בשנת 1981. בשנת 2003 שונה השם מ"מגילות" ל"מגילות ים המלח". שטח המועצה כולל 750,000 דונם (מתוכם רק 480,000 דונם יבשה) והיא משתרעת לאורך צפון ים המלח והירדן התחתון, מקו שביתת הנשק (1949) בדרום עד נחל פרת (ואדי קלט) בצפון, וכוללת במערב רצועה בערבות יריחו ובצפון רמת מדבר-יהודה.

### אוכלוסייה ומקורות תעסוקה

אוכלוסיית המועצה כוללת כ-950 נפש בחמישה יישובים: ארבעה קיבוצים – קליה, מצפה-שלם, אלמוג ובית הערבה, ומושב אחד – ורד-יריחו. עד 2020 מתוכננת אוכלוסייה של כ-7,000 נפש.

**חקלאות:** היא הענף המוביל. היא כוללת מטעי-תמרים, גידולי שדה, רפת-חלב, ותרנגולי-הודו. ההיקף הכספי של הייצור החקלאי עומד על כ-70,000,000 ש"ח ומהווה כ-70% מסך-כל ההכנסות של יישובי המועצה.

**תעשייה קלה:** יישובי המועצה שותפים במעבדות ים המלח – מוצרי קוסמטיקה AHAVA שהיקף הייצור השנתי בהם מסתכם בכ-15,000,000\$.

**תיירות:** האתרים העיקריים הם קומראן ושמורת עינות-צוקים (בניהול רט"ג), מצוקי-דרגות, חוף אטרקציה, חוף סיאסטה, חוף

מינרל, חוף נווה-מדבר ומרכז המבקרים "אהבה". בבתי הארחה כ-470 חדרים (אלמוג, קליה ומצפה-שלם) וחדרי-אירוח בוורד-יריחו. כ-6,000 חדרים מלון מתוכננים בשטח המועצה.

פוטנציאל תיירותי גדול מאוד ובלתי-מוצה לפי שעה, הוא הירדן התחתון (ירדן יריחו), לו נודעת חשיבות דתית נוצרית.

**חינוך:** בתחומי המועצה: גני-ילדים באלמוג, קליה ומצפה-שלם. גן-חובה + בי"ס יסודי (110 ילדים) בקליה.

מחוז לתחומי המועצה: בי"ס על-יסודי בעין-גדי (כ-40 ילדים), מעלה-אדומים וירושלים (כ-40 ילדים). סך הכול: 320 ילדים.

מתקנים נוספים בתחום המועצה: אבנת – פנימייה לנוער דתי עם צרכים מיוחדים.

## יישובי המועצה

### קליה

קיבוץ שהוקם כהיאחזות נח"ל ב-1968 והתאזרח ב-1974. אוכלוסיית הקיבוץ מונה 350 נפש, מתוכם 82 חברים. ענפיו העיקריים הם מטעי-תמרים, תרנגולי-הודו, רפת-חלב וגידולי-שדה; תיירות: "מרכז קומראן" – מרכז מבקרים ומסעדה, בית-הארחה, חוות-יענים ושותפות בפארק המים "אטרקציה"; תעשייה: שותפות במפעלי "אהבה", מעבדות ים המלח.

שירותים ביישוב: חינוך ממעון ועד בי"ס יסודי, כולל חוגי העשרה ותנועת-נוער, בריאות (קופ"ח, מרפאת-שיניים ורפואה אלטרנטיבית), כל-בו, בעלי-מקצוע (מוסכניקים, חשמלאים, מסגרים, מכבסה ואחזקה), מתקני-ספורט ובריכה.

שירותים מחוץ ליישוב: חינוך על-יסודי בירושלים (אזור רישום) ובעין-גדי.

חזון לפיתוח: מתוכננת שכונה קהילתית בת 350 יחידות-דיור; בשלב א' ייבנו 58 יחידות על מגרשים של חצי דונם.

### מצפה-שלם

קיבוץ זה נוסד ב-1977 והוא מונה 200 נפש (40 משפחות), מתוכם 59 חברים ומועמדים. ענפיו העיקריים הם חקלאות: מטעי-תמרים, תרנגולי-הודו וחממות; תיירות: מרחצאות וחוף "מינרל", "מצוקי דרגות" – מרכז לפעילות מדברית ואכסניה; תעשייה: שותפות במפעל מעבדות ים המלח "אהבה"; אחת בשנה (בפסח) מתקיים במקום פסטיבל מוסיקה.

## בית הערבה

קיבוץ שהוקם כהיאחזות נח"ל ב-1977 והתאזרח ב-1986. גרות בו 52 נפשות, מתוכם 30 חברים.

הענפים העיקריים הם מטעי תמרים, אבטיחים, מלונים, ענבים; מזון דרכים ותחנת-דלק.

שירותים מחוץ ליישוב: חינוך – מעון-בי"ס יסודי בקליה; בריאות – באלמוג.

חזון לפיתוח: יישוב בן 120 משפחות; בית-הארוחה; שכונה קהילתית ל-400 יחידות-דיור; בשלב א' ייבנו 20 יחידות על מגרשים של חצי דונם.

## 2.4. השפעות ירידת המפלס על ההתיישבות

### תחבורה

גשר נחל ערוגות שנסחף בשיטפון של 2 במאי 2001 ולא שוקם עד כה ותחזיות לשיבושים נוספים באזור, מציגים תחזית בעייתית לכל נושא התחבורה לאורך ים המלח. מעבר להשלכות הממלכתיות, יש להתפתחות החזויה השלכות אזוריות ומקומיות, בכך שקיום הקשר בין יישובי האזור לבין המרכז ידרוש כבר בתקופה הקרובה תכנון חדש ומשאבים נוספים.

### התרחבות מישור החוף

התרחבות מישור החוף וחשיפת מישורי בוץ היא תופעה כללית הבאה לידי ביטוי גם במרחב עין-גדי, ובעיקר במפרץ מזור. יצירת מישורי הבוץ והתרחבותם יוצרת חיץ הולך וגדל בין הים כיעד תיירותי ("לגעת במקום הנמוך בעולם") לבין התייר. נסיגת החוף מחייבת הארכת נתיבי הגישה אל החוף על תשתית בלתי-יציבה ובעלת חזות שלילית. הקרקעית הבוצית והטובענית אותה פוגש התייר ברדתו למים, פוגמת בחוויית הרחצה.

אזור חמי-מזור מופיע בתכנית המתאר המקומית 'תמר' כאזור נופש חופי. הרציונל הכלכלי של הקמת חמי עין-גדי היה להציע שירותי-חוף ומרחצאות-מרפא כמערכת אחת, והם נבנו בכפוף למגבלות שאסרו בנייה מתחת לגובה של 390.5 מתחת לפני הים התיכון – שתוכנן בזמנו כמפלס יעד למפעל הימים. אי-מימוש מפעל הימים ונסיגת קו החוף, יצרו הפרדה פיסית של מעל קילומטר בין שני היסודות שעליהם היה מבוסס הפרוייקט מלכתחילה. מעבר לשאלה האסתטית של חזות השטח המפריד, נוצר פחות ברור באטרקטיביות של המקום, ונגרמו הוצאות בלתי-

שירותים ביישוב: מעון לגיל הרך, מרכזית, מתקני-ספורט ובריכה, מרפאה, פאב.

שירותים מחוץ ליישוב: חינוך על-יסודי בעין-גדי.

קיבוץ מצפה שלם עדיין לא נפגע מתופעת הבולענים, אולם התופעה מאיימת על תחומי פעילותו. אתר בולענים גדול ודינאמי צמוד למרחצאות "מינרל" מדרום, התפתחות חדשה מאיימת על החממות באזור נחל דרגה, ושטח שתוכנן לבנייה לאירוח נפסל עקב התופעה.

חזון לפיתוח: מתוכננת שכונה קהילתית בת 200 יחידות-דיור; בשלב א' ייבנו 35 יחידות על מגרשים של חצי דונם; פרויקט אירוח תיירותי בחוף "מינרל".

### אלמוג

קיבוץ שנוסד ב-1979 ומונה כ-200 נפש (30 משפחות), מתוכם כ-60 חברים. ענפיו העיקריים הם חקלאות: תמרים, כרם, גידולי-שדה, רפת-חולבות ותרנגולי-הודו; תיירות: מוזיאון "בית הסופר", בית-הארוחה ובו 81 חדרים, שותפות בפארק המים "אטרקציה", אורחן ותחנת דלק בצומת אלמוג; בשכונה קהילתית 180 יחידות דיור על מגרשים של חצי דונם.

שירותים ביישוב: מעון וגן, שירותי-תרבות (בעיקר בחגים), בריאות (רופא משפחה), מתקני הספורט כוללים בריכה.

שירותים מחוץ ליישוב: חינוך יסודי – בקליה, על-יסודי – בעין-גדי, ספורט – בקליה, תרבות – בתחומי המועצה ובירושלים, בריאות – בירושלים.

חזון לפיתוח: יישוב בן 200 משפחות, בעל אופי קהילתי, המורכב מחברי קיבוץ ותושבים.

### ורד-יריחו

מושב זה נוסד ב-1980 והוא מונה 157 נפש (כ-50 משפחות). ענפי תעסוקה עיקריים: תיירות (חדרי-אירוח, פונדק דרכים), חקלאות, מסחר ועבודות חוץ בירושלים וסביבתה.

היישוב פתוח לקליטה ובימים אלה נערכים לקליטת 41 משפחות. שירותים ביישוב: מעון וגן ילדים, מועדון לתושבים, תנועת-נוער, בריאות (קופ"ח, טיפת-חלב ווטרינר), בית-כנסת ומקווה, מתקני-ספורט כולל בריכה.

שירותים מחוץ ליישוב: גן חובה + בי"ס יסודי בקליה, על-יסודי בירושלים (אזור רישום) ועין-גדי.

חזון לפיתוח: שכונה קהילתית עם 300 יח"ד המתוכננות על מגרשים של חצי דונם.



אתר בולענים נוסף, חבר-צפון, מתפתח במהירות ומשיק לגדר חמי-עין-גדי והמשך התפתחותו עלול להביא לסגירתו של ענף כלכלי חשוב, מאחורונים שנתרו.



איור 2.2: אחד הבולענים שנפערו בחניון עין-גדי והביאו לנטישתו (המקור: רז, 2003)



איור 2.3: סולריום עין-גדי, בולענים שנפערו בכביש הגישה לאתר (למעלה) ומתחת למבנה (למטה) (המקור: רז, 2004)

צפיות בשל הצורך להקים מערכת שינוע ולתחזק אותה על התשתית הבוצית, וכן הצורך להעתיק מפעם לפעם את מתקני הקצה בהתאם לשינויים בקו החוף. בעיית שירותי החוף מחמירה בחורפים גשומים מפאת עליית מפלס עונתית, הגורמת להמסה ולהתמוטטות רצפת המלח החופית, אליה הועתקו מתקני הקצה לאחר ירידת המפלס הקודמת.

## בולענים

בעיית הבולענים היא הבעיה האקוטית ביותר בשלב זה. קיימים בולענים בתחומי הפעילות של היישובים עין-גדי, נווה-זוהר ומצפה-שלם.

**במצפה-שלם** מתפתח אתר בולענים גדול ודינאמי בצמוד למרחצאות "מינרל", ובולען חדש וגדול מתפתח במהירות סמוך לחממות שעל הגדה הדרומית של נחל דרגה. מצפון למרחצאות מינרל הושעה פרויקט תיירות לאחר שהתברר כי המקום מועד להתפתחות בולענים.

**בנווה-זוהר** קיים אתר בולענים פעיל החופף בחלקו את מתחם המועצה האזורית. עם זאת נראה שסכנת הבולענים אינה מרחפת על בתי המרכז הכפרי והיישוב הקהילתי המתוכנן.

**בעין-גדי** אירעו פגיעות גוף ונזקים כבדים כתוצאה מהתפתחות בולענים שהביאו לנטישת מקורות פרנסה. תופעת הבולענים גרמה לחיסול גידולי התמר כענף מסחרי בתחומי עין-גדי (איור 2.1), לנטישת מתחם התיירות בחוף (איור 2.2), להענקת הסולריום (איור 2.3) ולהשקעות גדולות בהגנת המשתמשים בו מפני סיכוני הבולענים. בלית ברירה ובהיעדר חלופות, נמשכת בעין-גדי פעילות אנושית יומיומית באתרי בולענים פעילים ובאזורים המוגדרים במפת ההיתכנות כבעלי היתכנות גבוהה להתפתחות בולענים.



איור 2.1: אחד הבולענים שנפערו במטע תמרים והביאו לנטישתו (המקור: רז, 2003)

אוכלוסיית הקבע ביישובים אלה נחשפת לתופעה הנראית כאסון־טבע שאינו מוגדר בכל חוק, אינו כלול בשום מסגרת ביטוחית ואינו מוכר על־ידי גורם כלשהו, וזאת בשעה שהצבא חופשי לנטוש קווי־ביטחון־שוטף מחשש לבלענים, ומע"צ פותרת בעיה בקטע של כביש 90 בעלות כבדה מתקציב המדינה. עד כה לא ניתנו כל פתרונות למצב זה ואלה אף אינם נראים באופק.

### עתיד ההתיישבות במציאות הקיימת

ההתיישבות הנוכחית באזור, שראשיתה בחברת המייסדים שהתיישבה בעין־גדי ממניעים של אידיאולוגיה ושליחות לאומית, הסתגלה במהלך שלושה דורות למציאות אקלימית לא מוכרת ולתנאי ריחוק ממרכזי אוכלוסייה ותעסוקה מרכזיים. משאך החלה להתגבש באזור יציבות כלכלית הנשענת על משאביו המיוחדים ויתרונותיו היחסיים, התערער המצב עקב הירידה המתמשכת של מפלס הים והבעיות הסביבתיות הקשות הנלוות לו, ובראשן תופעת הבולענים. אלה הביאו להקפאת תכניות־פיתוח אזוריות ממשלתיות ומקשות על מציאת פתרונות שעשויים לסייע בשיקום דפוסי הפעילות הכלכלית המסורתית. המצב שנוצר מעיב על כל ההווה המוניציפאלית של האזור ומאיים על עצם מרקם החיים.

על־כן, לנוכח המציאות הסביבתית החדשה הצפויה להימשך ואף להתעצם בטווח הנראה לעין, יש לגבש מהלכים ממסדיים מוגדרים שיאפשרו את פיתוח האזור ושגשוגו. החלטת המועצה הארצית לתכנון ובנייה, לפתוח בהליך לגיבוש תכנית מתאר חדשה לאזור – שהתקבלה זה לא מכבר בעקבות הכנת המסמך הנוכחי – היא צעד ראשון בכיוון הנדרש, בהתאמת התפיסה התכנונית והפיתוח־בפועל למציאות המשתנה.

## 3 | אגן ים המלח – תהליכי עיצוב ומשמעותם

### 3.1. המבנה ועיצוב האגן בזמן ובמרחב

אגן ים המלח הוא השקע היבשתי העמוק ביותר על-פני כדור הארץ. הוא הולך ומעמיק עוד, כתוצאה משקיעת הקרקעית לאורכו. הפעילות הגיאולוגית האינטנסיבית האחראית לעיצובו הייחודי של האגן, באה לביטוי גם ברעידות אדמה חזקות, כפי שעולה מרישום מכשירני עכשווי, מתיעוד היסטורי וממגוון של עדויות גיאולוגיות. כל אלה מעידים על הדינאמיות של האגן שהתפתחותו נמשכת ומלווה ברעידות אדמה, שעצמתן עלולה להיות חזקה ואף הרסנית.

ים המלח הוא אגם שהתפתח במשך 10,000 השנים האחרונות (בהולוקן) בחלק העמוק של אגן ים המלח. קדמה לקיומו סדרה של אגמים, שהאחרון בהם הוא אגם מלוח המכונה "ימת הלשון", שהתקיים בתקופת הקרח האחרונה (בין כ-70,000 שנה ל-14,000 שנה לפני זמננו) והשתרע בשיאו בין חצבה שבדרום ועד לאגם הכינרת שבצפון.

מפלט "ימת הלשון" עבר תנודות רבות בעקבות שינויי אקלים שהביאו לשינויים בכמות המים שנקוו באגם ובשיעור ההתאדות מפניו. סלעי המשקע האגמיים הלבנים שהורבדו על קרקעית ימת הלשון (תצורת הלשון) חשופים באזורים נרחבים בשולי בקע ים המלח. תצורת הלשון מורכבת משכבות דקות (למינות) המייצגות בצורה מחזורית את עונות השנה וניתן ללמוד מהן על שינויי האקלים שהתרחשו באזורנו בתקופת קיום הימה. בנוסף, עקב הרגישות הרבה של סלעי המשקע האגמיים לזעזועים סיסמיים, מסייע לימוד תצורת הלשון גם לשחזר את רעידות האדמה החזקות שאירעו באזורנו בתקופת קיום הימה.

ים המלח, שנוצר לפני כ-10,000 שנה בעקבות דעיכת ימת הלשון, היה נתון גם הוא לתנודות עקב שינויי אקלים באזורנו. כאשר המפלט עלה, הוצף האגן הדרומי הרדוד של ים המלח. כאשר הוא ירד, הצטמצם שטח האגם לחלקו הצפוני, בו הגיע עומק המים לכ-300 מ'. סלעי המשקע שהורבדו בים המלח מאז שנוצר, דומים במידה רבה לאלה של ימת הלשון ומשמשים גם הם בסיס ללימוד שינויי האקלים ורצף רעידות האדמה בעשרת אלפי השנים האחרונות.

אגן ים המלח מתפתח בתוך בקע (graben או rift) בחלקו העליון של קרום כדור הארץ, הנמשך מתורכיה שבצפון ועד למוזמביק

שבדרום ומוכר בשם "השבר הסורי-אפריקאני". המבנה השקוע של הבקע והקירות הזקופים שבצידיו, הם הביטוי שעל-פני השטח למערכת העתקים שיוצרת את הבקע ונקראת בלשון המקצועית "טראנספורם ים המלח" (Dead Sea Transform). הבקע מהווה גבול בין שני לוחות טקטוניים הנעים צפונה במהירות שונה זה מזה, וכתוצאה מכך הם מתחככים זה בזה. ההעתקה לאורך גבול הלוחות היא אופקית שמאלית, עם הסטה מצטברת של 105 ק"מ. כלומר, הצד המזרחי של הבקע ("הלוח הערבי") מוסט צפונה יחסית לצד המערבי ("תת-הלוח סיני") בקצב ממוצע של כחצי ס"מ לשנה.

המבנה של אגן ים המלח עצמו, נגזר מהגיאומטריה של מערכות ההעתקים אשר מרכיבות אותו והכוללת את שבר הטראנספורם הראשי ומערכות שברים משניים הקשורים לתנועה ולמיון המתפתח באזור. לאגן צורה של מעין ארוך (rhomb shaped graben) שרוחבו כ-15 ק"מ ואורכו כ-150 ק"מ – מעין-יהב בדרום ועד אזור קליה בצפון.

קירות הבקע הזקופים – 'מצוקי ההעתקים' – הם הביטוי שעל-פני השטח למערכת העתקי השוליים אשר מלווה את אגן ים המלח משני צדדיו. הגורם המניע את התפתחות העתקי השוליים הללו הוא כפול: התרחקות שני הלוחות זה מזה, אשר גורמת לפתיחת שקע לאורך הגבול ביניהם ולהתמוטטות שולי הלוחות אל תוך האגן המקומי שנוצר שם. בנוסף, שולי הלוחות מתרוממים כחלק מתהליך הניתוק ביניהם. התרוממות זו מגיעה עד כדי קילומטר אחד ובמהלכה נוצרים הרי יהודה במערב והרי מואב במזרח.

מערכת העתקים נוספת חוצה את אגן ים המלח לרוחבו, ממזרח למערב. אלה הם העתקי מתיחה אשר מחלקים את אגן ים המלח לאגני-משנה, אשר התפתחו בשלבים שונים בהיסטוריה של האגן. לאורך העתקים אלה מתרחשת מתיחה של האגן בכיוון צפון-דרום, במקביל לכיוון בו הוא מתארך. בדרום, באזור נאות הכיכר, יוצרת מערכת זו את השוליים הדרומיים של האגן, שם היא מורכבת מהעתקי ניתוק שטוחים (העתק ליסטר) אשר כמעט ואינם באים לביטוי על-פני השטח.

להכרת המבנה הפנימי של אגן ים המלח יש חשיבות רבה מבחינת ההיבטים המדעיים, הטקטוניים והסיסמולוגיים, וכן בשל ההיתכנות הכלכלית הטמונה בו להיצאות נפט וגז ואפשרויות הניצול של אוצרות הטבע. המבנה של האגן נחקר ומופה בשיטות

מגוונות, הכוללות סקרייטש, קידוחים ושיטות גיאופיסיות, כגון רפלקציה ורפרקציה סיסמית, כבידה ומגנטיות. מתברר כי בתוך האגן מצויים משקעים משני סוגים עיקריים: הסוג האחד מקורו יבשתי והוא כולל משקעי קונגלומראט, חול וחרסיות, שנגזרו מבליה וסחף באגני הניקוז היבשתיים שהתנקזו לבקע ים המלח. הסוג האחר כולל גירים, חווארים וסלעים אוופוריטיים, כגון מלח וגבס, אשר שקעו כתוצאה מאידוי מוגבר בגופי המים השונים שאכלסו את האגן בשלבי השונים. עובי המשקעים שהצטברו לאורך יותר ממחצית שטחו של האגן מגיע ל-5 ק"מ ויותר, ובשיאם אף עולה העובי על 10 ק"מ. עוביים הרב של המשקעים שהצטברו באגן, מעיד על שיעור שקיעתו ומכאן גם על קצב הצטברות הסדימנטים בתוכו, אשר מגיע ל-1 ק"מ במיליון שנה.

אגן ים המלח החל להתפתח לפני למעלה מ-15 מיליון שנה, ככל הנראה במקביל לתחילת התנועה על טראנספורם ים המלח. עד לסוף תקופת המיוקן, לפני כ-5.5 מיליון שנה, התפתח האגן לכדי מחצית גודלו הנוכחי ולאחר מכן נראה כי קצב הגידול שלו הוא, כמו גם קצב השקיעה בבסיסו. בשלב הראשון נתרדו באגן משקעים יבשתיים. לאחר מכן, בתקופה של 4-6 מיליון שנה לפני זמננו, נתרדו מלחימי עובי של כמה ק"מ כתוצאה מחדירה של לשוניים לבקע, דרך עמקיזרעאל. המלח כוסה לאחר מכן במשקעים יבשתיים ונקבר, אך מאוחר יותר – כתוצאה ממשקלו הסגולי הנמוך, תכונותיו המכאניות ותעוקת המשקעים שמעליו – פרץ את הכיסוי שמעליו במקומות אחדים כדיאפיר (מחדר) ואף חדר אל פני השטח בהר סדום וקרוב מאוד לפני השטח בחצי אי הלשון.

הפעילות המגמאטית בתוך אגן ים המלח מועטה מאד. מצפון לאגן חשוף גוף בזלתי בודד ומדידות מגנטיות מעלות כי בדרום האגן קבורים ככל הנראה גופים מגמאטיים בתת הקרקע. בשולי האגן מוכרים סלעים מגמאטיים בצד המזרחי בלבד ומקורם מתקופות שונות. הפעילות המגמאטית הצעירה ביותר אירעה באזור זרקא-מעין לפני כחצי מיליון שנה. כיום לא ניכרת אנומליה תרמית באגן ים המלח, והמעיינות החמים שבשולי האגן משקפים מצב בו מי התהום חודרים לעומק רב בטרם עלותם לפני השטח, וזאת בשל מבנה האזור. הפעילות הטקטונית באגן ים המלח נמשכת כיום ותימשך גם בעתיד. האגן הולך ומעמיק וקולט סחף שיטפוני ממקור יבשתי ומשקעים כימיים-מינרליים שמקורם בים המלח.

### 3.2 פעילות סיסמית ורעידות אדמה

רעידות אדמה, בעצמות שונות, מלוות את אגן ים המלח כחלק בלתי-נפרד מתהליך היווצרותו והתפתחותו. הרעידות משקפות

את הפעילות הטקטונית העכשווית ומאפשרות לזהות ולאפיין את תהליכי המעוות הנוכחי בעומק האגן. ככלל, הפעילות הסיסמית לאורך טראנספורם ים המלח מתרכזת באגנים העמוקים של מפרץ אילת, ים המלח והכינרת, אך גם בחלקים האחרים של הבקע. עדות לרעידות אדמה חזקות שהיו בעבר הרחוק באגן ים המלח, ניתן למצוא בשכבות הדקיקות המעוותות בתצורת הלשון, בתיעוד היסטורי וברישוב מכשירי שוטף במשך מאה השנים האחרונות. הרעידה החזקה ביותר אשר נרשמה בעזרת מכשור מודרני, אירעה בשנת 1927 בצפון ים המלח; דרגתה 6.2 והיא גרמה לנפגעים ולנזק משני עברי הבקע. מחקר ענף של מאפייני השברים ודפורמציות של הסדימנטים באגן, מלמד שעצמת הרעידות החזקות ביותר שהתרחשו באגן הגיעה לדרגה 7-7.5 בסולם ריכטר. הופעתן של הרעידות החזקות אינה קבועה ולא ניתן לחזותן. לאחרונה הועלו השערות כי רעידות האדמה החזקות מופיעות במקבצים של אירועים חזקים במיוחד ולאחריהם באות תקופות ארוכות של שקט יחסי, הכוללות רעידות 'בינוניות' בלבד.

פענוח המנגנון המכאני של הרעידות, עבור קיים רישום מכשירי מפורט, מראה כי הן משקפות את תנועת הגזירה השמאלית על-גבי הטראנספורם ואת תנועת המתחה במערכות ההתקנים בשולי האגן ובתוכו. מאידך-גיסא, כמות האנרגיה שהשתחררה ברעידות המודרניות וההיסטוריות, פחותה מהצפוי ואינה תואמת להיתכנות החזויה על-פי קצב תנועת הלוחות. סיבת האיתומה אינה ברורה עדיין ולא ידוע אם היא נעוצה באופי הפעילות הסיסמית באגן או שהיא נובעת מכך שאין בידינו נתונים מלאים. תפוצת מוקדי רעידות האדמה מפוזרת בכל שטח אגן ים המלח, אולם ישנם שלושה מוקדים עיקריים: בדרום ים המלח, בצפון הלשון ובמרכזו ובצפונו של האגן הצפוני.

באזור ים המלח נצפו ותועדו תופעות-טבע שאירעו כתוצאה מרעידות אדמה בינוניות וחזקות וניתן להסיק מכך שקיימת שם היתכנות לכשל בתשתית הגיאולוגית אשר עלולה לסכן מבנים מעשיידי-אדם. כבר ברעידה הבינונית שאירעה בצפון ים המלח בחורף 2004 והגיעה לדרגה 5.2, ניתן היה לצפות במגוון רחב של תופעות: סדקים ומפולות בתשתית הבנויה סלעים רכים וצעירים, התנזלות קלה בתשתית מלאכותית, נחשול ים (צונאמי) בגובה של כמה עשרות סנטימטרים, עלייה בשפיעת גז הרדון ושינויים במפלסי המים בבארות ובבולענים. תאוצות הקרקע שנרשמו באירוע זה, מלמדות כי במספר מקומות הן הוגברו כתוצאה ממבנה התשתית והטופוגרפיה. כאמור, רעידת האדמה שהתרחשה בשנת 1927 בעצמה של 6.2 אף היא בצפון ים המלח, אך בעצמה גבוהה בהרבה מזו של 2004, גרמה לסדקים רחבים בקרקע, לנחשול ים בגובה מטר ולחסימה של הירדן לכמה שעות כתוצאה מגלישת קרקע לאפיקו. העדויות ההיסטוריות מלמדות כי תופעות כאלו חוזרות ונשנות ברעידות חזקות.

השכבות המופרות והמְעוּוּת בסדרת השכבות של תצורת הלשון ותצורת צאלים, שהשקעתם החלה לפני כ־70,000 שנה ונמשכת עד היום הזה, מלמדים על זעזועים חזקים שפקדו את הסדימנט עוד בהיותו בקרקעית הים ונגרמו מרעידות אדמה חזקות. שכבת גבס המופיעה לעתים מעל לשכבות המקומטות, מיוחסת לערבוב מכאני של שכבות המים השונות בים – ערבוב שנגרם כתוצאה מן הרעידה שזעזעה את קרקעית הים.

בטבלה 3.1 מובא סיכום קצר של גורמי הסיכון הסיסמי האפשריים באגן ים המלח, תוך התייחסות לאזורים בהם קיימת היתכנות להתרחשות התופעה.

הידע המדעי אינו מאפשר חיזוי ממשי של רעידות אדמה ולפיכך לא ניתן לקבוע מתי תתרחש הרעידה המסוכנת הבאה, על איזה העתק ובאיזו עצמה. לעומת זאת, די במידע הקיים בידינו לגבי אגן ים המלח, כדי להעריך שבכל אחד מההעתקים הראשיים המרכיבים את הטראנספורם ואת שולי אגן ים המלח קיים פוטנציאל לרעידה חזקה שעצמתה המרבית עלולה להגיע לדרגה 7.5. המידע הקיים מאפשר גם הערכה סבירה של הסיכונים מרעידות אדמה וזיהוי כללי של אתרים בעלי רגישות מיוחדת לכלל הסיכונים או לחלק מהם. הנתונים מעוגנים בתקן ישראלי מחייב בתחום הבנייה. המהלכים לתכנון האזור חייבים לקחת בחשבון את הנתונים הסיסמיים ואת אזורי הסיכון שהוגדרו.

**טבלה 3.1: סיכוני רעידות אדמה באגן ים המלח, ברעידת אדמה חזקה**

גורם הסיכון	תיאור התופעה	אזורים מועדים עיקריים
<b>קריעת פני השטח</b>	קריעת פני השטח וסידוק לאורך ההעתק;	תוואי ההעתקים הראשיים של הטראנספורם ושולי האגן, כולל מצוק ההעתקים;
<b>תאוצות סיסמיות</b>	תנודות מחזוריות של הקרקע;	כל האגן; תאוצות גבוהות במיוחד צפויות בסמוך להעתק שיפעל ברעידה;
<b>הגברת התאוצות הסיסמיות</b>	הגברת זעזועים במקומות שהתשתית רכה, על הרים גבוהים ומצוקים תלולים;	בפני השטח בהם חשופים סלעים רכים וצעירים; במצוקים ובהרים בשולי האגן;
<b>כשל במדרון</b>	גלישה והתמוטטות של מדרונות בלתי יציבים, בעיקר אלה הבנויים סלע רך;	ביתרונות בתצורות הלשון וצאלים, מצוקי ההעתקים, קרקעית ים המלח;
<b>כשל קרקע, סידוק והתנזלות</b>	מְעוּוּת וסידוק בסלעים רכים, חול ספוג במי תהום רדודים עלול לאבד את חוזקו ולהתנהג כנוזל;	תשתית הבנויה סלעים רכים וצעירים, בעיקר בתצורות הלשון וצאלים;
<b>נחשול ים (צונאמי)</b>	נחשול מים עז אשר יציף את החוף.	הצפה ושיטיפה של אזור החוף, מקו המים ועד לגובה של מטרים אחדים מעליו.



# 4 | ים המלח (גוף המים) – תמונת-מצב, תהליכים ומגמות

הים אל מתחת לרום המיצר, נותק הקשר ביניהם, והאגן הדרומי, שרומו המרבי אינו יורד מ-404 מטר, התייבש. ההתייבשות הביאה לירידה חדה בשטחו של ים המלח, אולם בשל רדידותו ירד נפח הים במידה פחותה בהרבה (איור 4.1). כיום מצויות באגן הדרומי בריכות האידוי של המפעלים הכימיים הישראליים (מפעלי ים המלח – DSW) והירדניים (APC – Arab Potash Co.) והוא מנוקז לים המלח דרך המשכו של ערוץ נחל ערבה, אשר התחתר בינתיים דרך המיצר.

האגן הצפוני הוא גדול ועמוק, צורתו כאמבט מלבני בעל דופנות המשתפלות אל קרקעית שטוחה למדי, שרומה הוא סביב 730 מ'. האגן אינו סימטרי והמדרון המזרחי שלו תלול בהרבה מהמדרון המערבי. עיקר הנגר לים המלח, ובראשו נהר הירדן, נכנס לאגנו הצפוני העמוק וקיטומו של גוף מים באגן הדרומי תלוי באספקה של מים מהאגן הצפוני.

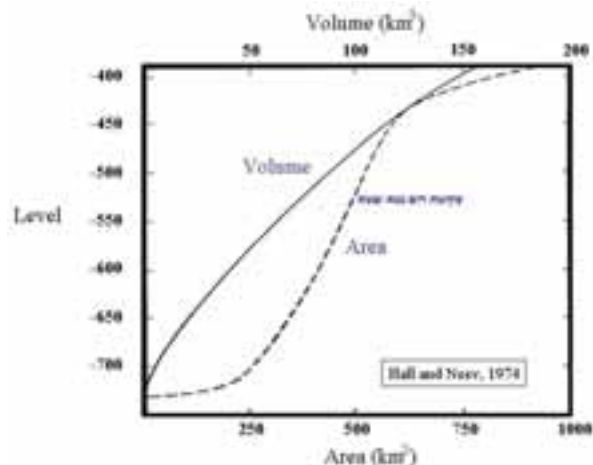
## 4.2. הרכב ים המלח והתפתחותו

מימיו של ים המלח מלוחים פי עשרה בערך ממימי רגילים והרכבם הכימי מיוחד. תמלחת ים המלח התפתחה ממימי אשר חדרו לבקע ים המלח לפני כמה מיליוני שנים דרך לשונות בעמק יזרעאל. התאידות וכניסת מים מוגבלת, הביאו לעלייה במליחות המים וגרמו להתגבשות מלחים, בכללם גבס ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) והליט (מלח בישול  $\text{NaCl}$ ) שהצטברו על קרקעית האגם. לאחר ששכבות המלח התרדו, הן כוסו בסדימנטים צעירים. מאוחר יותר בהיסטוריה הגיאולוגית, עקב תהליכים גיאולוגיים מורכבים, התרוממו חלק מיחידות אלו ויצרו את מחדרי המלח של הר סדום וחצי אי הלשון. תגובות כימיות בין תמלחת המוצא שחדרה לתת הקרקע, לסלעי הגיר שבשולי הבקע, הביאו לשינויים נוספים בהרכב התמלחת ובמיוחד לסילוק של סולפאט ותוספת של קלציום. לאחר ניתוק הקשר עם הים, המשיכו להתקיים תהליכי ריאקציה עם סלעי הסביבה, והתמלחת יצרה אגמים חדשים (אגם הסמרה ואגם הליסון). מי הנגר אשר התנקזו לאגמים אלה, הביאו איתם מלחים אשר הוסיפו לשנות את הרכב תמלחת המוצא והביאו לשקיעה נוספת של גבס, הליט ומינרלים קרבוניטיים (קלצייט וארגוניט  $\text{CaCO}_3$ ).

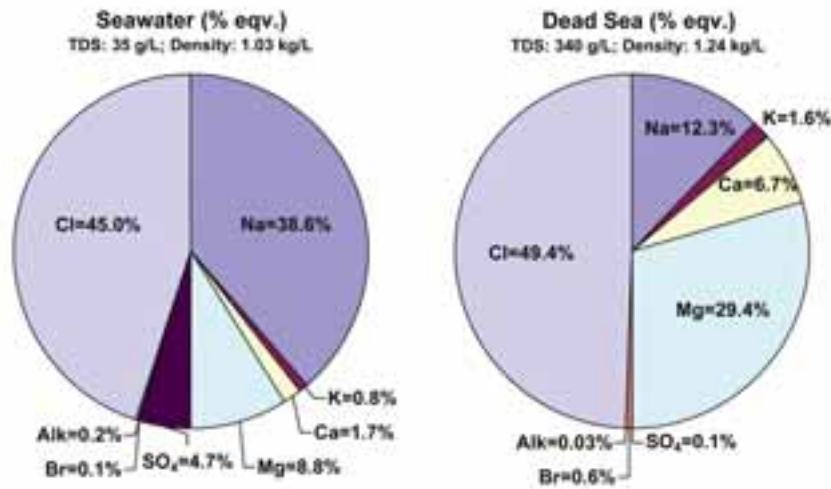
## 4.1. תיאור האגם

ים המלח הוא המקום הנמוך ביותר על-פני כדור הארץ. למים המתנקזים אליו אין מוצא טבעי אלא באידוי, ועל-כן הוא מוגדר "אגם טרמינלי". מפלסו משקף את המאזן בין כמות המים הנכנסים אליו לבין הכמות המתאדה ממנו. השינויים הטבעיים במפלס נובעים משינויים בנפח המים המתנקזים לאגם וקשורים לכמות המשקעים באגן ההיקוות, וכן משינויים בקצב האידוי. בתקופות בהן מאזן המים חיובי, כמות המים הנכנסת לאגם גדולה מזו המתאדה ואז מפלס הים עולה, ואילו כאשר מאזן המים שלילי, יורד מפלס הים. ירידת המפלסים החריפה המתרחשת כיום בים המלח היא תוצאה ישירה של מעשיידי-אדם, והיא נובעת מסכירת רוב מקורות המים הטבעיים אשר התנקזו בעבר לים המלח והטייתם.

לים המלח שני אגנים – צפוני עמוק ודרומי רדוד – המופרדים על-ידי סף, בגובה של כ-400 מטר, המצוי באזור "מיצר לינץ". עד שנת 1976 היו שני האגנים מחוברים, אולם עם ירידת מפלס



איור 4.1: יחסי רום-שטח-נפח של ים המלח, עד מפלס של 390 מ' מתחת לפני הים, מוצגים בגרף היפסומטרי. הגרף מבוסס על מיפוי של קרקעית ים המלח משנת 1974 (המקור: Hall and Neev, 1974, המכון הגיאולוגי)



איור 4.2: הרכב מי ים המלח בהשוואה להרכב מיים באחוזי אקוויולנטים (המקור: נתוני המכון הגיאולוגי)

בעבר התקיימה גם זרימה בין האגן הצפוני והדרומי והיו חילופי מים טבעיים בין השניים. צפיפות המים בשכבות העליונות של האגן הדרומי היתה עולה עם ירידת הטמפרטורות בסתיו וגורמת לשקיעתם מטה, ולכן המים באגן הדרומי היו תמיד מלוחים, צפופים וכבדים יותר מאשר בחתך העומק המקביל באגן הצפוני. המים הכבדים ששקעו לקרקעית הרדודה של האגן הדרומי "זחלו" צפונה והתנקזו לתוך האגן הצפוני העמוק ובמקביל זרמו מים עליונים מהאגן הצפוני לאגן הדרומי. כיום, לאחר ניתוק הקשר הטבעי בין האגנים, ממשיכים להתקיים ביניהם חילופי מים על ידי שאיבה מלאכותית של תמלחת מהאגן הצפוני אל ברכות האידוי. לאחר מיצויה התעשייתי, והשינוי שחל בהרכבה הכימי, מוחזרת התמלחת הנותרת ("תמלחות סופיות") לאגן הצפוני.

מאז ניתוק האגנים וערבובו המלא של גוף המים, מתפתח בים כל שנה שיכוב עונתי (טרמוקלינה) המתחיל בחודשי האביב ונשמר בחודשי הקיץ, חרף האידוי המוגבר מהמים העליונים והעלייה במליחותם. בתנאים אלה נשמר השיכוב בזכות הטמפרטורה הגבוהה של המים העליונים, המגיעה ל-35-36 מעלות צלזיוס ומקטינה במעט את צפיפות המים. בתחילת החורף, בחודשים נובמבר-דצמבר, מתרחש היפוך וחלה הומוגניזציה של עמודת המים כתוצאה מהתקררות המים העליונים והעלייה בצפיפותם. יוצאות דופן במחזור זה היו השנים שלאחר החורפים 1979/80 ו-1991/92. נפחי המים הגדולים אשר זרמו לים בחורפים אלה (1.5 מיליארד קוב בחורף 1991/2) מהלו את המים העליונים והביאו לשיכוב של עמודת המים, אשר נמשך על-פני 3-4 שנים. בתנאים הנוכחיים ובאלה הצפויים להתקיים בשנים הקרובות, ימשיך ים המלח להיות גוף מים הומוגני המקיים שיכוב עונתי, או לכל היותר שיכוב בן

תמלחת ים המלח מוגדרת כתמלחת קלציום-כלורידית. דהיינו, תמלחת אשר בהשוואה להרכב מיים רגילים היא מדוללת יחסית ביוני הסולפאט (SO<sub>4</sub>) והביקרבונאט (HCO<sub>3</sub>). לפיכך, יון הכלוריד הוא היום בעל המטען השלילי הבלעדי כמעט במערכת. יחסית למיים, תמלחת ים המלח מדוללת גם בנתרן ומועשרת במגנזיום, קלציום, אשלגן וברום (איור 4.2). תמלחות בהרכבים הדומים להרכב ים המלח, מופרות בעולם כמעט רק מתת הקרקע, בדרך-כלל בתמלחות המצויות במגע עם נפט. לפיכך, ים המלח הוא אגם ייחודי לא רק בשל מליחותו הגבוהה אלא גם בשל הרכבו הכימי. בעולם קיימים אגמים ספורים בלבד עם הרכב קלציום-כלורידית הדומה לזה של ים המלח.

### 4.3 מאפיינים ושינויים בים המלח

עד שנת 1979 היה ים המלח גוף מים משוכב, בו שכבת המים העליונה, עד עומק 40 מטר, היתה מהולה מעט בהשוואה לגוף המים העמוק. שיכוב זה התקיים על-פני תקופה של מספר מאות שנים, אשר במהלכן היו המים העמוקים מבודדים מהאטמוספירה. בידוד זה אפשר התפתחות תנאים מחזרים (נטולי-חמצן) במים העמוקים והם הכילו סולפיד מומס (H<sub>2</sub>S). במחצית השנייה של המאה העשרים, כתוצאה ממאזן המים השלילי של הים, עלתה מליחות המים העליונים וצפיפותם. ב-1979 השתוותה צפיפות המים העליונים לזו של המים העמוקים והים עבר ערבוב ואוויר מלא.

## 4.4. מאזן המים ושינויי המפלס של ים המלח

עדויות היסטוריות וגיאולוגיות מצביעות על כך שהמפלס של כ-390 מטר, שאפיין את ים המלח בראשית המאה הקודמת (השנתון ההידרולוגי לישראל, 1971), אינו המפלס המאפיין את המאות האחרונות. בדרך-כלל היה המפלס נמוך יותר ועמד על כ-400 מטר, דהיינו סביב רום קרקעית מיצר-ליניץ' החוצץ בין האגן הדרומי, הרדוד, לבין האגן הצפוני, העמוק. האגן הדרומי שימש לפיכך גורם ממתן (buffer) לשינויי המפלס. בתקופות של מאזן-מים-חיובי גרמה עליית המפלס מעל ל-400 מטר להצפת האגן הדרומי ולהגדלה ניכרת בשטח הים ובאידיו פני המים, אשר בלמו את המשך עליית המפלס. בתקופות של מאזן-מים-שלילי, גרמה ירידת המפלס אל מתחת ל-400 מטר לירידה ניכרת בשטח האגם, להקטנת שטח האידיו ולבלימת מגמת הירידה.

קיימות הערכות שונות לגבי מאזן המים הטבעי של ים המלח, כפי שהתקיים במחצית הראשונה של המאה העשרים. בסיס הנתונים להערכות אלו לוקה בחסר ומבוסס על מספר מוגבל של מדידות-ספיקה בנחלים ובוואדיות (להוציא את הירדן, שם פעלה תחנת מדידה רציפה לאורך שנים) ועל נתונים חלקיים המשליכים על חישוב קצב האידיו מפני המים. למרות מגבלה זו, קיימת הערכה כללית שהנפח השנתי של המים שהתנקזו לים המלח נע בין 1,500 ל-2,000 מלמ"ק. נפח דומה התאדה מפני הים, אשר כלל בתקופה זו גם את האגן הדרומי.

בטבלה 4.1 מוצגת הערכה לנפחי הכניסות השנתיות הממוצעות לים המלח במחצית הראשונה של המאה העשרים. כאמור, בשל האי-ודאות הרבה, יש להתייחס לנתונים אלה כאל ערכים מייצגים בלבד. לפי הערכות המכון הגיאולוגי נראה שנפח המים השנתי שהתנקז לים המלח עמד על 1,700-1,800 מלמ"ק ונפח דומה התאדה ממנו.

בטבלה 4.1 מתייחסים מי התהום הלא-מזוהים לנפח המים המתנקז לים המלח מתחת למפלס הים ולכן אינו ניתן למדידה ישירה. ההערכות לנפח זה במצבו הלא-מופר של הים, נעו בתחום של 100-200 מלמ"ק בשנה. חשוב לציין כי זוהי הכמות שמגיעה לים המלח מכל הכיוונים וכי הנפחים הם בחזקת הערכה לסדר-גודל בגין אי-ודאות ומיעוט נתונים (קיימות הערכות גדולות פי כמה אך לדעת המכון הגיאולוגי, ערכים אלה מוגזמים). ראוי להדגיש כי נפח מי השיטפונות (בניגוד לזרימות הבסיס) המגיעים ישירות לים המלח ממזרח, ממערב ומדרום, נמוך יחסית ומסתכם לכל היותר במספר עשרות מלמ"ק/שנה. עיקר השינויים בזרימות בין חורפים גשומים לשחונים, הם שינויים בזרימות בנהר הירדן.

שנים ספורות, שיתפתח בעקבות נפחים גדולים של זרימות בחורפים גשומים במיוחד.

כתוצאה ממאזן המים השלילי בים המלח, עולה מליחות המים והיא צפויה להמשיך ולעלות גם בשנים הבאות. עלייה זו מלווה בהתגבשות והתרבות הלית (מלח בישול) אשר החל לשקוע בים בשנת 1979. התגבשות זו מקטינה את המשקל הכולל של המלחים המומסים בים ומרסנת את העלייה במליחות, יחסית לירידת נפח הים. לפיכך, היחס בין אחוז עליית המליחות לאחוז ירידת נפח המים קטן מ-1. ההליט מתגבש באופן ספונטאני מכל עמודת המים במהלך כל השנה וכן מפני השטח בקיץ. מאחר שמי ים המלח רוויים ביחס להליט, כל חפץ המצוי באגם משמש מרכז גיבוש למלח זה.

בעקבות הקטנת הזרימות אל ים המלח והירידה באספקת סולפאט וביקרבוונאט, כמות הגבס והארגוניט המתגבשת בים קטנה בהרבה מבעבר. לפיכך, אירועי ההלבנות של פני הים שנצפו באגם אחת למספר שנים ונמשכו מספר שעות עד ימים, אינם מתרחשים עוד כיום. אירועים אלה הוסברו בגיבוש ספונטאני של הארגוניט והגבס על פני המים והסתיימו עם שקיעת מינרלים אלה לקרקעית. ראוי לציין כי כמות הגבס והארגוניט אשר התגבשה ושקעה במהלך אירועי הלבנה אלה, היתה רק חלק קטן ממסת הגבס והארגוניט אשר שקעה באגם בכל שנה. ברור כי הירידה באספקת הסולפאט והביקרבוונאט לים המלח מפחיתה את הסיכוי לצפות שוב באירועי ההלבנה שתוארו לעיל.

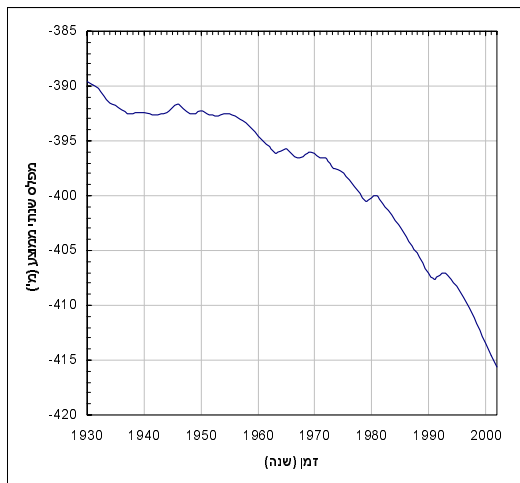
למרות כינויו "ים המוות" וחרף שמו הרשמי באנגלית Dead Sea, ים המלח מאפשר קיום חיים, אף כי בתנאי עקה קשים. המליחות הגבוהה של ים המלח בשנים האחרונות ומגמת העלייה הנמשכת במליחות, אינן מאפשרות כיום פריחות מיקרוביאליות מסיביות. אלו מחייבות מיהול של המים לרמה של לפחות 10%-15% מהמליחות הנוכחית ותוספת של פוספאט (עבודות של אהרון אורן). אירועי פריחה כאלה נצפו בעקבות החורפים הגשומים של 1980/1 ו-1991/2 אשר לוו בזרימות מסיביות של מים מתוקים ויצרו שכבת-מים עליונה מהולה. בתנאי מיהול אלה מתפתחת אוכלוסייה של אצות (דונליאלה) המזינה ומקיימת אוכלוסיית חיידקים ובקטריות. בשני אירועי הפריחה, הקנתה התפרצות אוכלוסיית האצות צבע ירוק לים. פריחת החיידקים שבאה בעקבות פריחת האצות, צבעה את הים באדום-סגול. אולם במצבו הנוכחי של הים, שואפת ספירת האצות בים המלח לאפס ורמת החיידקים נמוכה ביותר. האוכלוסיות הללו מתקיימות על סף גבול הסיבולת וריכוזן במים הוא על גבול יכולת המעקב או מתחתיו. ראוי לציין כי מערכת אקולוגית ייחודית זו של ים המלח, מבודדת ומנותקת מהמערכות האקולוגיות הסובבות את הים ולכן השינויים המתקיימים בה אינם משפיעים על מערכות אחרות.



**טבלה 4.1: אומדי הכניסות והיציאות באגם ים המלח במחצית הראשונה של המאה העשרים**

כניסות	מלמ"ק/שנה
הירדן	1,300-1,100
זרימות ישירות ממערב (עינות-צוקים, קנה וסמר)	150-100
זרימות ישירות ממזרח (הארנון, זרד ועוד)	200-150
גשם ישיר מי-תהום לא-מזוהים	~80 200-100
סה"כ כניסות	2,000-1,500
יציאות	מלמ"ק/שנה
התאדות מפני המים (כ-1,000 קמ"ר)	2,000-1,500 (1.5-2.0 מ' /שנה)

בספיקות של עינות-צוקים, קנה וסמר, בשל שאיבות-מים גוברות מאקוויפר ההר המזרחי, המזין מעיינות אלה.



**איור 4.3 שינויים במפלס ים המלח ב-70 השנים האחרונות**  
(המקור: המכון הגיאולוגי והשיירות ההידרולוגי)

גורם משמעותי התורם לגירעון המים בים המלח הוא המפעלים הכימיים הישראליים והירדניים. אלה שואבים מים מהאגן הצפוני לבריכות-אידי באגן הדרומי, שם מתאדה התמלחת לכדי מחצית מנפחה ומשקיעה מינרלים שלחלקם ערך כלכלי רב. התמיסות המרוכזות הנותרות ("תמלחות סופיות") מוחזרות לים דרך התוואי המלאכותי של נחל ערבה, העובר בין בריכות האידי הישראליות והירדניות. סך גירעון המים כתוצאה מפעילות תעשייתית זו עומד על כ-250 מלמ"ק לשנה. בשטחו הנוכחי של ים המלח (כ-650 קמ"ר) תורם נפח זה 40-35 ס"מ/שנה לירידת המפלס.

מאזן המים של ים המלח במצבו הנוכחי, מבוסס גם הוא על הערכות-זרימה ומאזני-מים. ההבדלים בין הערכות השונות נעים בטווחים גדולים בהרבה (באופן יחסי) מאלה של הערכות ההיסטוריות, ומתבטאים בהבדלים של כמה מאות מלמ"ק. במיוחד בולט ההבדל בין הערכות של מקורות ישראליים למקורות ירדניים לגבי השפעת ירידת מפלס הים על הגדלת זרימת מי התהום אליו. הירדנים מעריכים כי תהליך זה מביא לאבדן של יותר מ-400 מלמ"ק מאוגר מי התהום לכל מטר ירידת מפלס. לטענתם, נפח זה הוא מעבר לנפח הזרימות הטבעיות של מי התהום לים המלח בתנאי מפלס קבוע. הערכות הישראליות לאבדן מי תהום בגין ירידת המפלס הן מתוננות בהרבה ועומדות על כמה עשרות מלמ"ק בשנה לכל היותר. מאחר שאין ויכוח בדבר קצב ירידת מפלס הים וסך גירעון המים שהוא מבטא, הרי שכניסות מי-תהום לים המלח בנפחים הגדולים המוערכים על-ידי הירדנים, מחייבות קצב אידי

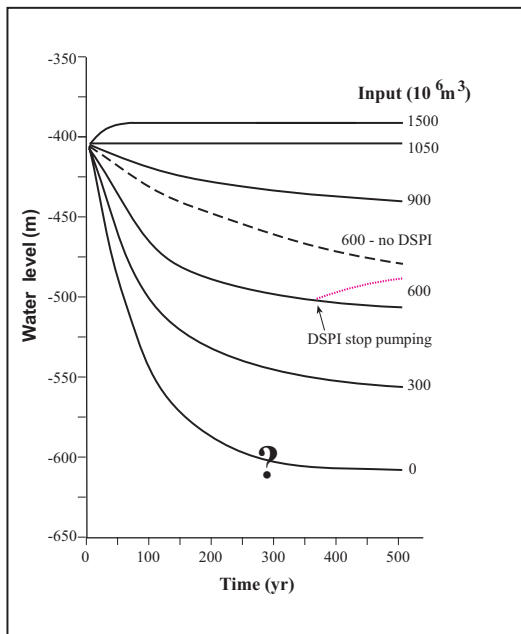
הירידה הדרמטית המתרחשת כיום במפלס ים המלח (איור 4.3), נובעת משינוי מהותי במאזן המים של ים המלח וממעבר למאזן-מים שלילי קיצוני. שלא בדומה למתואר לעיל, ירידה זו אינה מבטאת שינוי אקלימי, אלא היא תוצאה ישירה של התערבות האדם במאזן המים של ים המלח. ירידת המפלס האופיינית לשנים האחרונות, בהן לא נפתח סכר דגניה והזרימות בירמוך היו מוגבלות, היא בשיעור של כ-0.8-1.0 מטר בשנה, והיא מייצגת גירעון מים שנתי של כ-650 מלמ"ק. ירידת המפלס הממוצעת משנת 1980, הכוללת גם את עליות המפלס החדות בעקבות החורפים 1979/80 ו-1991/92, היא כ-70 ס"מ/שנה. ירידות המפלס הללו הן בראש וראשונה תוצאה של שימוש מוגבר במים במעלה הזרימה והטיית מקורות הירדן, סכירת מוצא הכינרת בסכר דגניה והפניית המים למרכז הארץ דרך המוביל הארצי והטיית מי הירמוך בסוריה ובירדן. בנוסף, חלק מהוואדיות המזרחיים של הבקעה, אשר בעבר התנקזו לים המלח דרך הירדן, נסכרו אף הם. כתוצאה מתהליכים אלה מזרים הירדן לים המלח רק 70-150 מלמ"ק בשנה, שהם כ-10% מהספיקות המקוריות שלו.

נוסף לירידה הדרסטית בזרימת הירדן קיימת גם ירידה בזרימות הישירות לים המלח ממזרח, כתוצאה מהטיה או מסכירת חלק מהוואדיות המזרחיים. סכירה דומה לא קיימת כיום בוואדיות היורדים לחופו המערבי של ים המלח, אך בעתיד צפויה ירידה

## 4.5. תחזית למפלס הים

ללא התערבות מחודשת ורחבת-היקף במאזן המים של ים המלח, צפוי מפלסו להמשיך לרדת גם בשנים הבאות. קצב ירידת המפלס עשוי אף לגבור אם חלק ממעט המים המתנקזים כיום לים המלח ייתפסו ויוטו אף הם. מאידך-גיסא, מלווה המשך ירידת המפלס בעלייה במליחות ובירידה בשטח האגם – שני גורמים אשר מקטינים את האידוי מפני המים. מספר מודלים בלתי-תלויים חוזים כי בנפחי המים הזורמים כיום לים המלח, הוא צפוי להתקרב ליציבות בתוך 150-200 שנה במפלס הנמוך ב-100 עד 150 מטר מהמפלס הנוכחי, דהיינו סביב 550- מטר (איור 4.4). לקראת הגעה למפלס זה, בו שטח האגם יהיה כ-450 קמ"ר, יקטן קצב האידוי ויתמתן גם קצב ירידת המפלס בהתאם.

במהלך חמישים השנים הבאות צפוי כי ירידת המפלס תימשך בקצב של כמטר בשנה ולפיכך יהיה המפלס ב-2025 בגובה של כ-440-, וב-2050 הוא ירד לגובה של כ-465- מטר מתחת לפני הים. בהסתמך על המפה הבתימטרית של ים המלח, שהוכנה על-ידי המכון הגיאולוגי בתחילת שנות השבעים, ניתן לשרטט בקירוב את מיקומם של קווי החוף בשנים אלו (ראו פרק 5).



**איור 4.4: מודל להשתנות מפלס ים המלח בזמן, כפונקציה של סך נפח המים השנתי המתנקז אליו** (הערך המספרי בצד ימין של כל עקומה). הקו המקווקו מציין את התפתחות הים ללא מפעלי ים המלח; הקו האדום מציין את התפתחות הים לאחר הפסקת פעילות המפעלים בעקבות הגעה למפלס של 500- מטר. בשני התרחישים הללו נפח הכניסות הוא 600 מלמ"ק לשנה (המקור: Yechieli et al., 1998, המכון הגיאולוגי)

נוכחי גדול מאד מפני ים המלח – 2 מטר בשנה – לעומת קצב אידוי של כ-1.1 מטר לשנה על-פי חישובי המכון הגיאולוגי. הערכת המכון הגיאולוגי לסך הכניסות לים המלח כיום (טבלה 4.2) עומדת על כ-400 מלמ"ק בשנה, דהיינו פחות מרבע מנפח המים שהתנקז באופן טבעי לים המלח עד אמצע המאה הקודמת (טבלה 4.1). כאמור, גם בלא התייחסות למאזן-מים מדויק, מבטאת ירידת מפלס של כמטר בשנה, לגירעון מים שנתי של כ-650 מלמ"ק בשנה.

## טבלה 4.2: אומדני המכון הגיאולוגי לכניסות ויציאות מים מאגן ים המלח כיום

כניסות	מלמ"ק/שנה
הירדן (ללא פתיחת הסכרים בשנים גשומות במיוחד)	~100
זרימות ישירות ממערב (כולל מעיינות)	~100
זרימות ישירות ממזרח (כולל מעיינות)	~100
גשם ישיר	~50
מיתתום בניקוז תתימי (כולל בגין ירידת מפלס)	100-50
סה"כ כניסות	400-350
יציאות	מלמ"ק/שנה
התאדות מפני המים (כ-650 קמ"ר)	750-700
התאדות במפעלים הכימיים (בישראל וירדן)	300-250
סה"כ יציאות	1050-1000

טבלה 4.2 מתארת מצב בו אין זרימות חריגות בירדן כתוצאה מפתחה של סכרים בכינרת ובירמוך ומבטאת גירעון מים של כ-650 מלמ"ק. באם מביאים בחשבון זרימות חריגות כמו אלו של חורף 91/92, ממוצע הזרימות בירדן הוא כ-300 מלמ"ק וגירעון המים הרב-שנתי הנוכחי יורד לכ-450-500 מלמ"ק. לעומת זאת, צפוי שבשנים הבאות יפחתו הזרימות הישירות לאגם באופן משמעותי, בשל ניצול המים במעלה הזרימה. בנוסף, גם אירועי הזרימה החריגים צפויים לפחות בזכות תפיסה יעילה יותר של המים במעלה הזרימה. לפיכך, כל התחזיות המשמשות בסיס למסמך הנוכחי יוצאות מנקודת-הנחה של ירידת מפלס של 1.0 מ' בשנה.

# 5 | האגן הצפוני – תגובת התשתית הפיסית לירידת המפלס

הנדרש להובלת חלוקים גדולים. החלוקים הקטנים יותר וחומר דקי-גרגר, נישאים הלאה במורד ומצטברים בהדרגה ובהתאמה לירידת רמת האנרגיה של המים.

**תצורת הלשון וקווי חוף קדומים:** משקעי ימת הלשון, החשופים בעיקר ממערב לקו החוף הישן של ים המלח (~392- מטר), רגישים מאד לתהליכי סחיפה, ולכן משפיעה האצת תהליכי ההתחזרות לאורכם במהירות על אופי התבליט שבהם. רוב המחשופים של תצורת הלשון נמצאים כיום באזור הקשת המרכזית של מצוק ההעתקים, בין עין-גדי לנחל רחף ובשולי האגן הדרומי של ים המלח. בין מחשופי תצורת הלשון ובין המניפות, מצויים שטחים הבנויים מחלוקים ושברי-סלע שיוצרים סדרה של מדרגות מקבילות המשתפלות במתניות אל חופי הים. שטחים אלה נוצרו כמדרגות-חוף קדומות, בזמן שימת הלשון נסוגה וגוף המים התכנס אל גבולות הים הנוכחיים. אתרים בולטים במיוחד לתצורת-נוף זו מצויים בין מניפת נחל קדרון ומניפת נחל דרגה, בין עין-גדי ומניפת נחל חבר ובאזור שבין נחל רחף ונווה-זוהר.

**רצועת החוף הפעילה:** רצועת החוף הפעילה משתרעת בין קו החוף הנסוג לקו החוף שלפני תחילת ירידת המפלס המהירה של שנות השישים. המאפיינים העיקריים של רצועת החוף הם שיפוע החוף והרכב של סלעי המשקע הבונים אותו. המפה הבתימטרית של ים המלח מראה שככול שמפלס ים המלח ירד, כן יגדל בד"כ שיפוע רצועת החוף. זאת בגלל חשיפת המדרון התלול של האגן הצפוני שהוא תוצר של פעילות טקטונית לאורך המקטע המערבי של העתקי ים המלח. כמו כן נמצא שרוב האזורים הנחשפים בנויים ממשקעים דקי-גרגר, רגישים יותר לתהליכי סחיפה מאזורי המניפות הבנויות מסחף גס-גרגר. לנתונים אלה השלכות על הקצב ועל אופי התחזרות הנחלים בעתיד וכן על יציבות התשתית בכלל ובאזור קו החוף בפרט.

קצב ההתחזרות באזורי החוף הנחשפים, תלוי בין השאר באופי מערכות הניקוז שבעורפם. חופים הנמצאים בשולי מניפות-סחף או באזורי נביעות, מועדים לתהליכי סחיפה והתחזרות מהירים יותר מאלה שבעורפם יש מצוקים המנוקזים על-ידי ערוצים קטנים. חופים בעלי שיפוע תלול הבנויים מסלעי משקע דקי-גרגר, יהיו רגישים להתחזרות וגלישות וייפגעו גם על-ידי אפיקים בעלי אגן ניקוז קטן מאד, כפי שניתן לראות כבר היום בכמה אזורים.

## 5.1. התפתחות הנוף והתחזרות נחלים

### 5.1.1. מאפייני היחידות הגיאומורפולוגיות העיקריות והתחזרות בהן

ירידת מפלס ים המלח מרחיבה את רצועת החוף הסובבת אותו ומשנה את משטר השיפועים של ערוצי הנחלים המתנקזים אליו. הערוצים עוקבים אחר המפלס הנסוג ומתחזרים לאחור, בקצב של עשרות עד מאות מטרים בשנה. בחזית מניפות הסחף של הערוצים היורדים לים המלח ובשטחים שבין המניפות, נחשפים משטחים של בוץ טובעני, אשר מקשים את הגישה אל קו המים. חלק מן התהליכים הם איטיים ורציפים וחלקם מהירים ופתאומיים ופוגעים בתשתיות האזור.

השינויים החריפים המתרחשים באזור ים המלח, קשורים קשר אמיץ למאפיינים הגיאומורפולוגיים של האזור שבין קו המים הנסוג לבין בסיס המצוקים. מישור החוף צר יחסית ורוחבו רוב המקומות אינו עולה על קילומטר אחד. רק באזור מניפות הסחף של נחל חבר ונחל צאלים, מגיע רוחב מישור החוף של ים המלח ל-5 ק"מ בקירוב.

להלן תיאור היחידות הגיאומורפולוגיות העיקריות באגן הצפוני של ים המלח ומאפייניהן העיקריים:

**מצוקי ים המלח – "מצוק ההעתקים":** אלה הם המצוקים הגבוהים המלווים את ים המלח לכל אורכו ומוגבלים במזרחם בסדרת העתקי הבקע. הם מתחלקים לשלוש קשתות מורפולוגיות: הקשת הצפונית – מאזור קליה עד עין-גדי, הקשת המרכזית – מעין-גדי עד נחל רחף, והקשת הדרומית – בין נחל רחף לשולי הר סדום. את מצוק ההעתקים מנקזים ערוצים קטנים רבים ובכמה מקומות מכוסים המדרונות בדרדרות. אירועי-גשם קיצוניים עלולים ליצור זרמי-גלית (Debris flow) ולסכן את התשתיות הנמצאות בבסיס המצוקים, ובעיקר את הדרכים.

**מניפות סחף:** לאורך בסיסו של מצוק ההעתקים התפתחו מניפות סחף בעלות צורה של חרוט בפתחי הקניונים של הנחלים המנקזים את מדבר-יהודה. המניפות מתפתחות במקומות בהם שיפוע הערוצים קטן וכושר הנשיאה של המים פוחת אל מתחת לסף

תופעה נוספת הקשורה לשיפוע קו החוף היא תהליכי-גידוד ימיים; כאשר שיפוע החוף מתון, ירידת המפלס יוצרת מערכת מדרגות חופיות ההולכת ויורדת כלפי הים (איור 5.1). באזורים בהם השיפוע תלול מאוד, עלול להיווצר מצב בו קו החוף כמעט שאינו נסוג, אלא נשאר במקומו או אף מתקדם מערבה עקב תהליכי גידוד וסחיפה של המצוק החופי. תהליך זה עלול לסכן מבנים בסמוך לקו החוף.



**איור 5.1: מדרגות חופיות שנוצרו כתוצאה מירידת המפלס**  
(המקור: אבני וחוברי, המכון הגיאולוגי, GSI/18/2004)

**אתרי-נביעות:** אתרי-נביעות פזורים לאורך חופי ים המלח, בעיקר באזורים בהם קו החוף סמוך למצוק ההעתקים. עינות-צוקים, קנה וסמר, הם אתרי הנביעות העיקריים, אך ייתכן שעקב המשך נסיגת קו החוף ייחשפו אזורי-נביעות נוספים. אתרי הנביעות הנמצאים בין קומראן למצפה-שלם, נחשפו לרגלי מצוק ההעתקים עקב ירידת המפלס, אך מאחר שמפלס מי התהום עוקב אחר ירידת פני הים, קיימת תופעה של נדידת הנביעות והחל תהליך מהיר של עירון לאורך אפיקי הזרימה של המעינות.

**הדלתה של הירדן בצפון ים המלח:** בחלקו הצפוני של ים המלח הצטבר חתך עבה של סחף דק-גרגר שהביא נהר הירדן אל ים המלח. נסיגת האגם חשפה משטחי-בוץ נרחבים, בעלי שיפוע מתון, המהווים למעשה את המניפה התתי-ימית של הירדן, שנוצרה כאשר מפלס האגם היה גבוה. עם ירידת המפלס בשנים האחרונות, הולכת ונחשפת המניפה התתי-ימית והירדן מתחתר בה תוך יצירת ערוץ צר ועמוק.

**מיצר-ליניץ:** אזור מיצר-ליניץ' משתרע בין האגן הצפוני של ים המלח לבין האגן הדרומי, בו מרוכזות בריכות האידוי. המיצר מתייחס למעבר הצר שהיה בעבר בין חצי האי המכונה הלשון (ליסאן) במזרח, לבין מצוק-העתקים במערב. רוחב המיצר הוא 5-4 ק"מ ואורכו כיום 9-10 ק"מ. המורפולוגיה של המיצר שטוחה

כמעט לחלוטין, עם שיפוע קל לצפון. מאז התייבשות האגן הדרומי, מתחתר נחל הערבה צפונה דרך מיצר-ליניץ' ומנקז בדרכו את "התמלחות הסופיות" של מפעלי ים המלח, בחזרה לאגן הצפוני. לאורך שוליו המערביים של המיצר נמשכות תעלת ההזנה הישנה ותעלת ההזנה החדשה של מפעלי ים המלח, שהוקמה בסוף שנות השבעים על-גבי סוללה ומשמשת להעברת מים מים המלח אל בריכות האידוי.

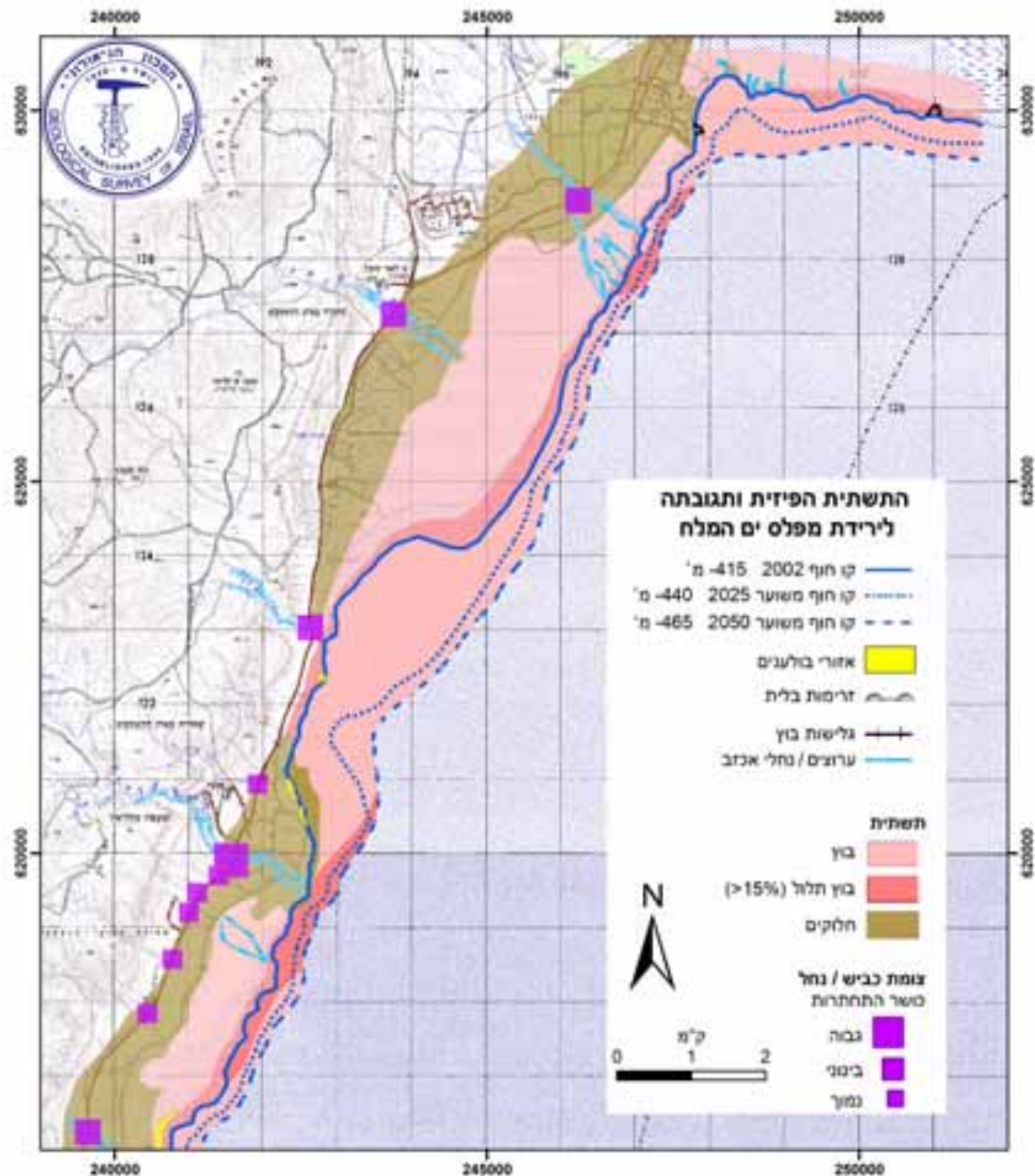
## 5.1.2. מיפוי התשתית הפיסית ואזורים מועדים להתחזרות וגלישות

**קריטריונים ושיטת המיפוי:** סיכום עדכני ומיפוי התשתית הפיסית כיום ועם המשך ירידת המפלס זיהוי אזורים מועדים לסחף והתחזרות נחלים לאורך חופי ים המלח, מוצגים בדוח המכון הגיאולוגי GSI/18/2004. המפות באיור 5.2 מציגות את מיקום קו החוף ב-2002, את המיקומים הצפויים ב-2025 ו-2050 וכן את השיפועים בחוף המתהווה. המפות מציגות גם את תחום השתרעות אזורי הבוץ והחלוקים וכן אזורי-סיכון הנוצרים מזרימות בלית וגלישות בוץ. זרימות הבלית עשויות להתרחש בעקבות אירועי גשם כבדים, במקומות בהם חומר בלוי לא-מלוכד מונח על-גבי מדרונות תלולים. גלישות הבוץ עשויות להתרחש בשל כשל של בוץ רווי-מים על-גבי שיפוע תלול בתוך ים המלח ובשוליו, לעתים באופן ספונטאני, אך בעיקר בעקבות אירועים סיסמיים.

אזורים מועדים לנזק לתשתיות-כבישים כתוצאה מהתחזרות נחלים, סוגו לשלוש קטגוריות על-פי רמת האנרגיה של הנחלים ועצמת ההתחזרות הצפויה. הסיווג מבוסס על ניתוח אגני הניקוז (איור 5.3) והדינאמיקה המאפיינת אותם, על בסיס דוגמה מייצגת כדלקמן:

**נחלים בעלי כושר התחזרות גבוה:** אגן מייצג – נחל דוד (איור 5.4). אגן בגודל בינוני עם זרימות אגרסיביות בשל הקרבה הגדולה שבין מצוק ההעתקים לחוף ים המלח. שיפועים בשיעור של 17%-22% צפויים להיחשף בתוך 25-50 השנים הקרובות. בקטעים של כביש 90 הנמצאים מצד אחד בסמוך למצוק ההעתקים (פחות מ-500 מ') ומצד שני בסמוך לקו החוף (300 מ' היום ועד 550 מ' בשנת 2050), צפויה התפתחות של ערוצים תלולים עם שיפוע של כ-6%. משמעות הדבר היא התחזרות לעומק של 25 ו-50 מ' בסמוך לכביש ופגיעה בו בתוך 25-50 השנים הקרובות. החתירה תלויה בהתרחבות בשיעור מתון, שלא יעלה על 10 מ' בכל צד של האפיק הנוכחי וזאת בגלל חשיפת חלוקים בדופנותיו.

**נחלים בעלי כושר התחזרות בינוני:** אגן מייצג – נחל תמרים (איור 5.4). אגן בגודל בינוני עד קטן, עם זרימות אגרסיביות בינוניות בשל מרחק גדול יחסית לקו החוף הנוכחי (1,200 מ'), היוצר רצועת ספיגה רחבה. בנחלים מסוג זה יש קטעים תלולים

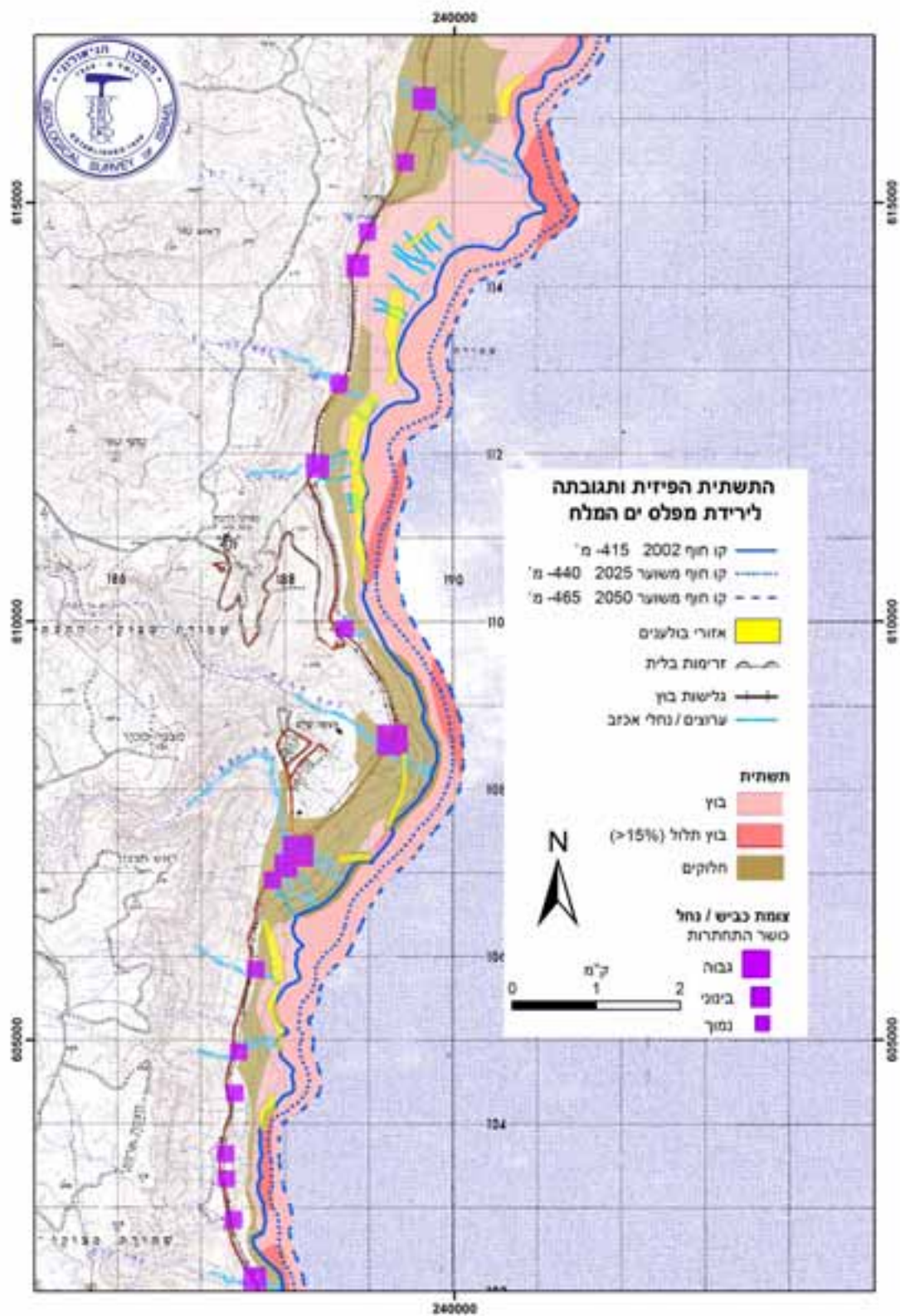


איור 5.2 א: מיפוי התשתית הפיזית ותגובתה לירידת המפלס (המקור: אבני וחובריו, GSI/18/2004, המכון הגיאולוגי)

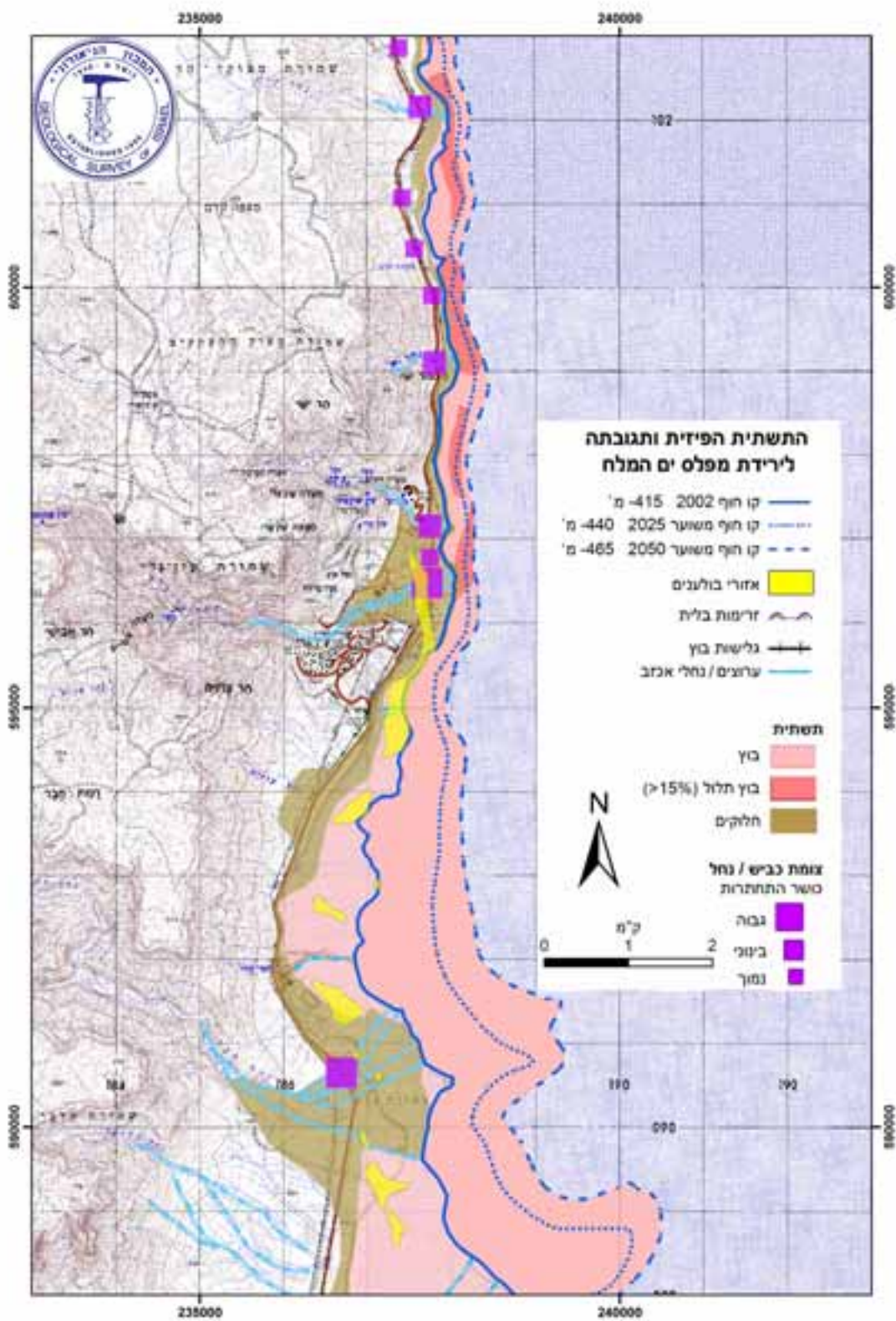
האגנים מסדר-גודל בינוני אינם פעילים במחזורים שנתיים אלא רב-שנתיים וזאת בתלות באירועים שיטפוניים חריגים המתרחשים אחת לכמה שנים. ההתחברות הצפויה מקו החוף מערבה, נאמדת בשיעור של כמה מטרים לשנה, אך ההתרחבות הצפויה עד 2050 עשויה להגיע לכמה עשרות מטרים, וזאת בגלל התמוטטויות וגלישות של חרסיות שתיחשפנה בצידי האפיק.

(מעל 10%) וקטעים מתונים (בין 3%-5%) כאשר הגורם העיקרי שקובע את קצב ההתחברות הוא רצועת הספיגה הרחבה בחזית מניפת הסחף, הבולמת לעת עתה את התחברות הערוץ. חשיפת ראש המתלול החופי במהלך 50 השנים הבאות, עקב ירידת המפלס, תגרום למוצא נחל תמרים להתחבר לאחור באופן שייצור ערוץ עמוק שראשיתו בקו החוף הנוסג.



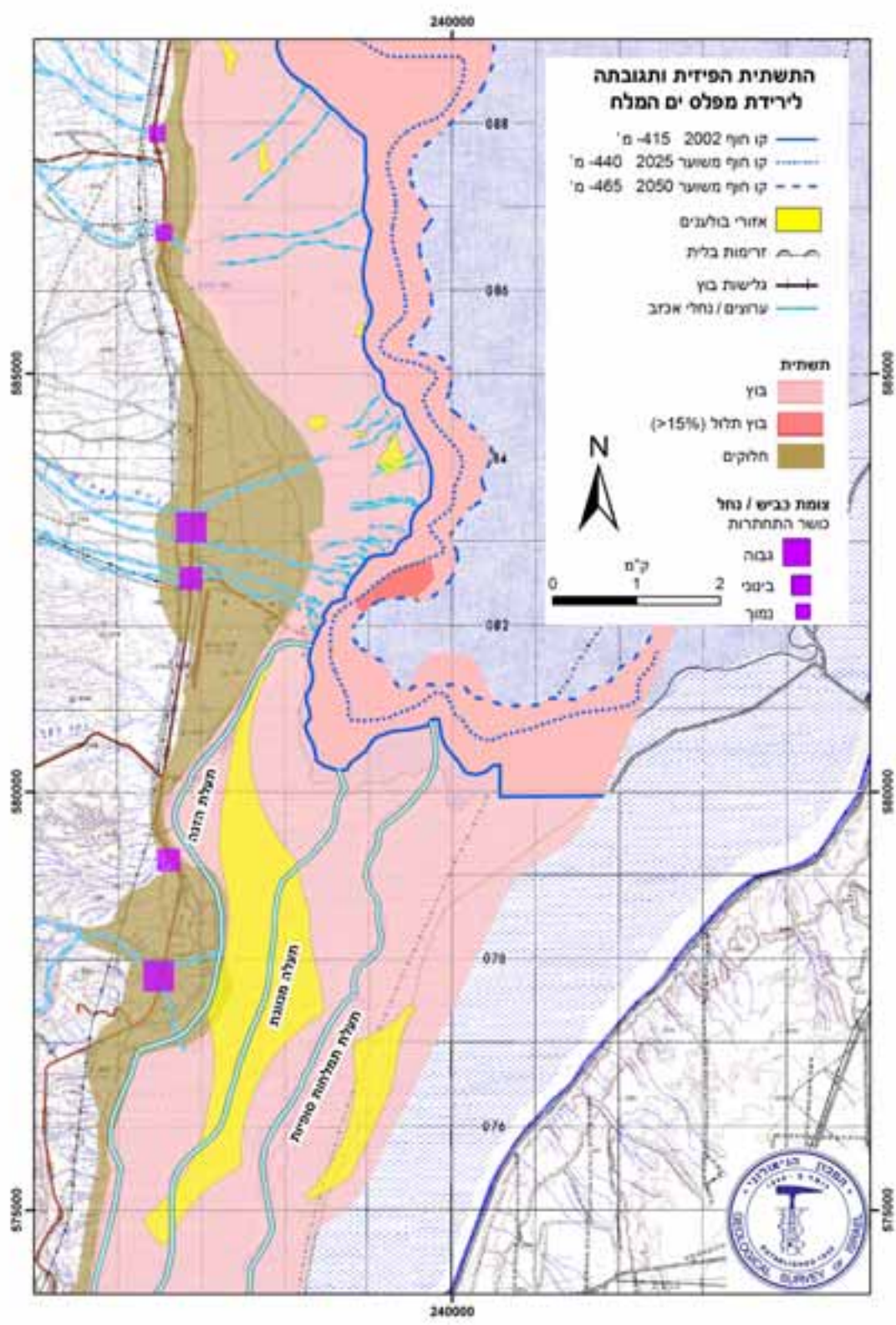


איור 1.5.2: מיפוי התשתית הפיזית ותגובתה לירידת המפלס (המקור: אבני וחוברין, GSI/18/2004, המכון הגיאולוגי)



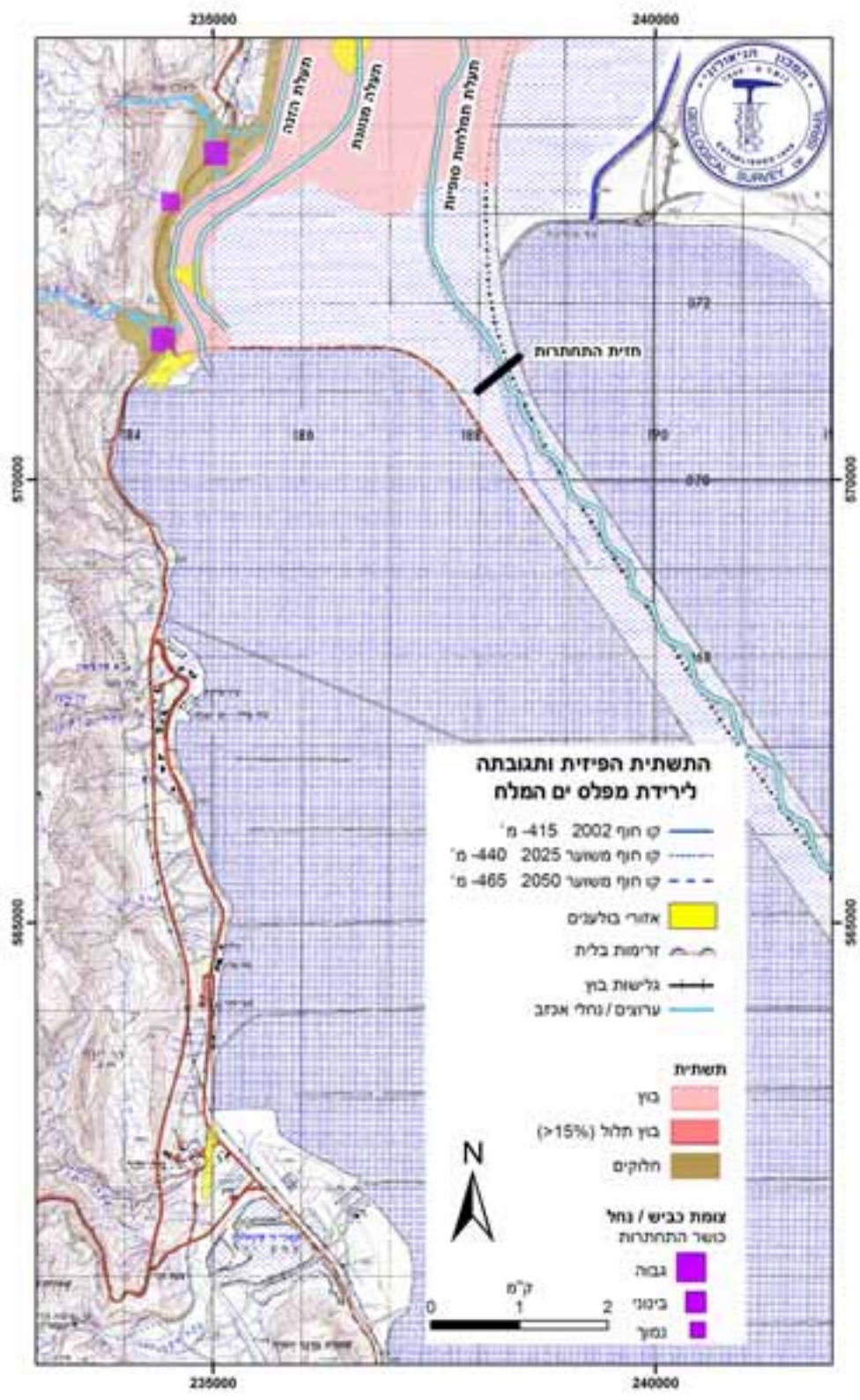
איור 5.2: מיפוי התשתית הפיזית ותגובתה לירידת המפלס (המקור: אבני וחוברין, GSI/18/2004, המכון הגיאולוגי)



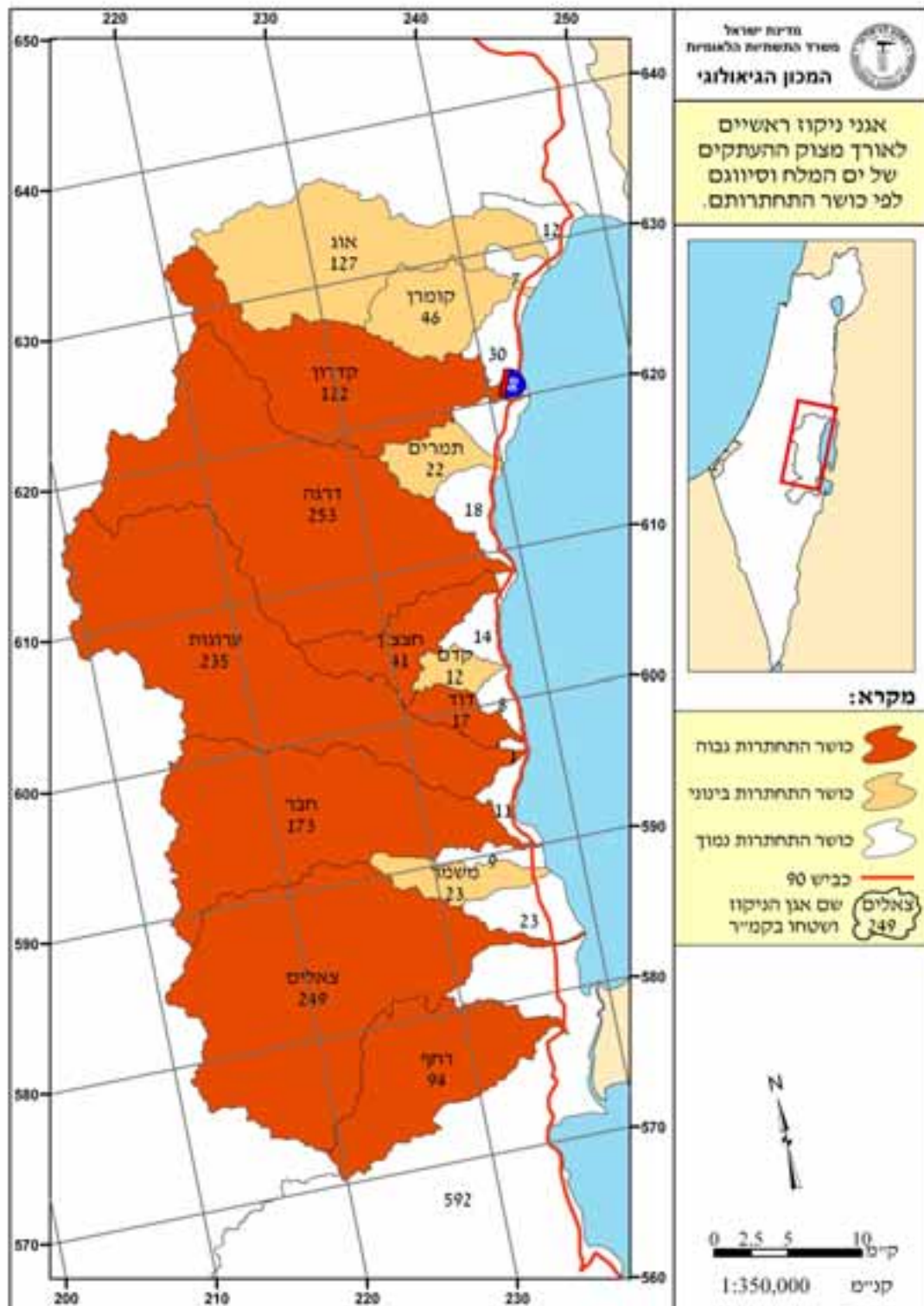


איור 7.5.2: מיפוי התשתית הפיזית ותגובתה לירידת המפלס (המקור: אבני וחוברין, GSI/18/2004, המכון הגיאולוגי)





איור 5.2ה: מיפוי התשתית הפיזית ותגובתה לירידת המפלס (המקור: אבני וחבריו, GSI/18/2004, המכון הגיאולוגי)

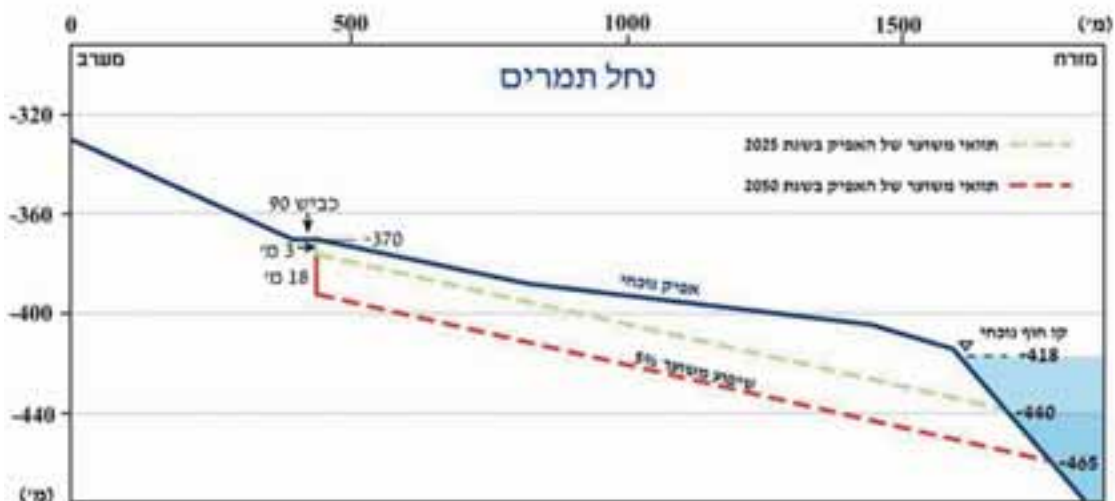
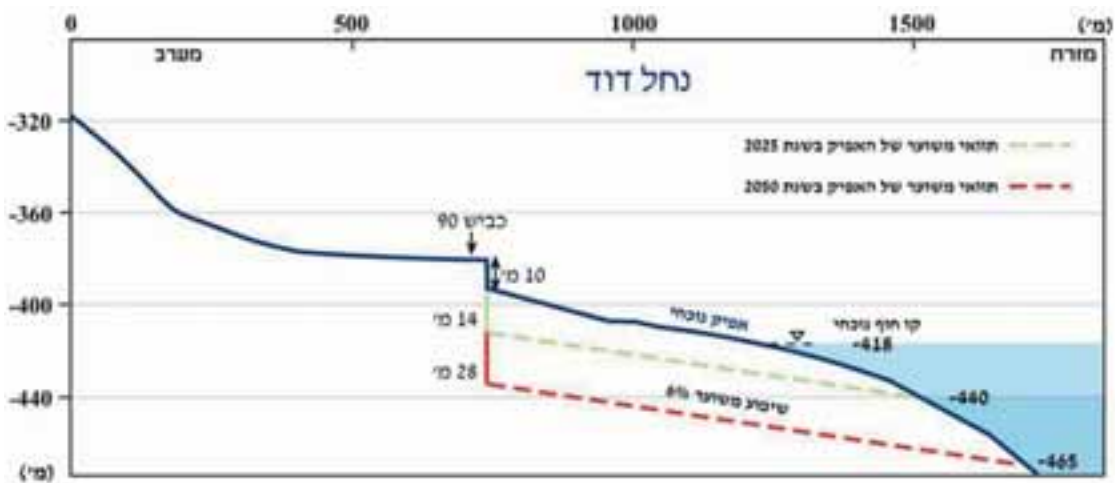


איור 5.3: אגני הניקוז של הנחלים הראשיים המתנקזים לים המלח וסיווגם לפי כושר התחתרות של הערוצים (המקור: אבני וחוברין, המכון הגיאולוגי GSI/18/2004)

נזקים ממשיים לכביש 90 באזור הגשרון, אם כי אפשר שתהיה התחתרות בעצמה של כמה מטרים. מידת התרחבות האפיק באזור הגשרון לא תעלה על 5 מ' מכל צד של האפיק הנוכחי.

**שימושים ומגבלות המיפוי:** מפות התשתית הפיסית והאזורים המועדים להתחתרות וסחף (איור 5.2), אמורות לשמש בסיס לתכנון אזורי וכלי מנחה לרשויות התכנון. הממצאים והמפות הנדונות, משמשים במסמך זה בסיס לניתוח הכלכלי המציג את ערכי הכינון ומציב תבנית לניתוח עתידו של האזור בתרחישים חלופיים. התחזיות הניתנות כאן מבוססות על תצפיות ונתונים חלקיים המאפשרים לעמוד על התהליכים, להעריך את המגמות

**נחלים בעלי כושר התחתרות נמוך:** אגן מייצג – אגן קטן מצפון לנחל תמרים. אגן זה שגודלו כ-2<sup>3</sup> קמ"ר, מנקז את מצוק ההעתקים ועובר את כביש 90 מתחת לגשרון. האגן מוגדר כבעל זרימות אגרסיביות נמוכות למדי. באגן מסוג זה, העובר ברצועת חוף שרוחבה כ-1,400 מ' ובו קטעים תלולים (מעל 10%) ומתונים (עד 1% בשטח המדף השטוח ו-8% בתחומי המניפה), הסיכון לכביש 90 מהתחתרות הוא נמוך. שיפועי ההתחתרות הצפויים במהלך 25 עד 50 שנה עקב ירידת מפלס הים, מגיעים לכ-5% ו-6% בהתאמה. שיפועים אלה נמוכים משיפועי המניפה שהתפתחה במוצא הנחל במהלך תקופת המפלס הגבוה של ים המלח, בראשית המאה העשרים. לפיכך לא צפוי נחל זה לגרום



איור 5.4: חתכים לאורך הערוצים הראשיים של נחל דוד ונחל תמרים המתנקזים לים המלח וסיווגם לפי כושר התחתרות גבוה ובינוני, בהתאמה. מבנה הכביש, שהוא קשיח ועמיד יחסית להתחתרות, יוצר מדרגה זמנית (המקור: אבני וחוברין, המכון הגיאולוגי GSI/18/2004)



ולתת להן ביטוי כמותי מקורב. יש לזכור שמיקום קווי החוף וחישוב השיפועים של קרקעית ים המלח הנחשפת, מבוססים על סקר בתימטרי שביצע המכון הגיאולוגי בתחילת שנות השבעים, במגבלות של ציוד ואילוצים גיאופוליטיים. ביצוע סקר חדש באמצעים חדשניים, יוכל להניב רמת דיוק טובה פי כמה. הערכת מגמות ההתחזרות של ערוצי הנחלים מבוססת על ניתוח התהליכים שהתרחשו מאז תחילת ירידת המפלס וכוללת מעקב ארוך-טווח אחר התפתחות מערכות-ניקוז מייצגות. הממצאים והמפות מספקים מסד סביר לניתוחים המוצגים במסמך זה, על כל המשתמע מהם. תוספת מידע והעלאת רמת הדיוק הנדרשים לכל תכנון פרטני באתר נתון, יוכלו לחדד את הממצאים אך לא ישנו באופן מהותי את המסקנות הבסיסיות המוצגות כאן.

### 5.1.3. תחזית להתפתחות הנוף והתחזרות באזורים מועדים

התפתחות הנוף ומיקום מקורב של קווי החוף בשנים 2025 ו-2050, מוצגים במפות התשתית והשינויים הגיאומורפולוגיים (איור 5.2). להלן סקירה מפורטת של התהליכים הצפויים לאורך קטעי החוף השונים, מצפון לדרום. בסקירה זו מפורטים סיכונים לתשתיות, שרובם ניתנים למניעה ולטיפול באמצעים הנדסיים וטכניים.

**צפון ים המלח משפך הירדן ועד לחוף קליה:** קטע זה, שאורכו כ-5 ק"מ, בנוי ממדרון תלול של בוץ חרסיתי ששקע בחזית המניפה התתימית של הירדן. ירידת המפלס הצפויה בשנים הקרובות, תגרום לחשיפת חזית המניפה היוצרת כבר עתה מדרון תלול, הנוטה לפתח גלישות גדולות של החומר הבוצי. ערוץ הירדן עצמו צפוי לחתור לאחור ולבתר את המניפה ההולכת ונחשפת, תוך יצירת שרשרת תגובה שתעלה במעלה ערוץ הירדן ותסכן את יסודות הגשרים (כמו גשר עבדאללה) והמתקנים שלאורכו. במקביל יעלו סיכוני הגלישות של התשתית החרסיתית-בוצית הנחשפת על מדרון הדלתה של הירדן.

**רצועת החוף מקליה לעינות-צוקים:** קטע זה, שאורכו כ-7 ק"מ, כולל את המניפות הנרחבות של נחל אוג ונחל קומראן, המתפרזות על מדף רדוד ושטוח המשתרע ממערב לשבר יריחו, הנמצא עדיין בים. נסיגת קו החוף באזור זה, מאז אמצע המאה שעברה, הביאה לחשיפה של רצועת חוף ברוחב של כ-2 ק"מ שתשתיתה בוצית. המניפות של נחל אוג ונחל קומראן אינן מגיעות עד לקו החוף הנסוג והן מסתיימות במישור חוף ים המלח. בערוצים החתורים בתשתית החרסיתית, המחברים את המניפות עם חוף הים, החל תהליך של התחזרות שילך ויגבר עד כדי סיכון תשתיות כביש 90. גלישות כמו אלה שהתרחשו בחורף 2003 צפויות להתגבר עם המשך חשיפת המדרון התתימית התלול שראשו כבר חשוף, ולסכן את מתקני החוף ואתרי הנופש והרחצה המרוכזים בקטע זה.

**מעיינות-צוקים לעינות-קנה:** קטע זה, שאורכו כ-10 ק"מ, כולל את עינות-צוקים, את מניפת נחל קדרון ואת החופים שבין מניפת נחל קדרון ומקבץ המעינות של עינות-קנה. בקרבת מצוק ההעתקים בנויה התשתית מחלוקים ועשירה במפולות-אבן והיא הופכת חרסיתית באזורים הנחשפים כלפי מזרח. רצועת החוף באזור עינות-צוקים מבתרת על-ידי עשרות פלגימים הפורצים בקו המעינות ומתנקזים אל הים הנסוג, תוך כדי יצירת ערוצים עמוקים בתשתית החרסיתית. מגמה זו, ביחד עם שינויים במיקום, בהרכב ובספיקת המעינות שתימשך עם ירידת המפלס, צפויה לפגוע בעתיד הלא-רחוק במקווי המים בשמורה. כלפי דרום, במוצא נחל קדרון, מצויה מניפת סחף גדולה שרוחבה כשני ק"מ והיא בולטת כקילומטר וחצי מחזית מצוק ההעתקים אל תוך ים המלח. ערוץ נחל קדרון מתחתר במרכז המניפה והתהליך מתקדם במעלה האפיק בהשפעת שיטפונות החורף וזרימת מי-שפכים. במורד הכביש התפתח מפל בגובה 3 מ' (מארס 2004) והוא מאיים כבר עכשיו על התשתית עליה נבנה גשר אירי מבוססן הצפוי להיזק קשות עם המשך התהליכים הפעילים בחופי ים המלח. בקו החוף יוצר נחל קדרון מניפת סחף קטנה וצעירה הבנויה מחלוקים, אך בשוליה הולכים ונחשפים חופים הבנויים מתשתית חרסיתית. מדרום לנחל קדרון יצרו הגלים סדרה של מדרגות חופיות שגובהן 0.6-1 מ', החתורות בתשתית החרסיתית. חופים חרסיתיים מדרומים שכאלה, מלווים את קו החוף דרומה לכיוון עינות-קנה. רוחב רצועת החוף שנחשפה באזור זה מאז אמצע המאה שעברה, מגיע לכדי 1.5-1 ק"מ והיא צפויה להתרחב עד למתלול החופי שאינו חשוף עדיין ברוב המקומות.

**מעיינות קנה וסמר:** קטע זה, באורך של כ-5 ק"מ, כולל את שני מקבצי המעינות של עינות-קנה ועינות-סמר. באזור זה עתיד להמשיך ולהיחשף מדף רדוד שתשתיתו חרסיתית, עד לחשיפת המתלול התתימית התלול, המרוחק כ-200 מ' מקו החוף של שנת 2002. המשך גידול הבולענים בקרבת הנביעות, מביא ליצירת לגונות נרחבות במקומות שונים. באזור זה אין זרימות שיטפוניות חזקות, מאחר שאגני הניקוז היורדים אל אזור המעינות, מוגבלים בשטחם. עם זאת, כאשר ייחשף במהלך השנים הקרובות ראש המתלול התתימית, צפויה האצה בהתחזרות האפיקים, העשויים לפגוע בכביש 90 ובתשתיות הנלוות לאורכו. גם כאן צפוי שינוי במיקום, בהרכב ובספיקת המעינות בעקבות ירידת המפלס.

**שפך נחל דרגות וחוף מינרל:** קטע זה, באורך כ-4 ק"מ, בנוי בעיקר ממניפות נחל דרגה ונחל חצצון, היוצרים ביחד מניפת סחף נרחבת. עם המשך ירידת מפלס ים המלח, צפויים להיחשף בהדרגה קטעי חוף בעלי תשתית חרסיתית, המצויים בחזית מניפת החלוקים. עקב השיפועים התלולים באזור זה, גרמה ירידת מפלס הים לחשיפה של רצועת חוף צרה-יחסית, שרוחבה אינו עולה על 200-500 מ'. השיפועים התלולים של רצועת החוף והמרחק הקצר

אינטנסיבי של ערוצי הנחלים דוד וערוגות, כשהם מבתרים את המניפה. במאי 2001, במהלך אירוע שיטפוני, נהרס גשר כביש 90 שנבנה מעל לנחל ערוגות, כתוצאה מהתקדמות החתירה תחת יסודותיו. גשר אירי חדש שהוקם בתוך הערוץ של נחל ערוגות, יורד כ- 6 מ' מתחת למפלס מניפת עין-גדי. במורד הגשר האירי נוצרה במאי 2003 מדרגה בגובה של 4 מ', שהתעמקה עד כדי 6 מ' במארס 2004. גם בנחל דוד הולך ונוצר איום על הכביש החוצה את נחל דוד והוא מיוצב מזה זמן על-ידי קיר-תמך של גביונים ובטון בגובה 10 מ'. במורד קיר התמך מתרחשת התחתרות אינטנסיבית העוקבת אחר נסיגת מפלס ים המלח. הפרשי הגובה בין הכביש לבין חוף הים למרגלות קיר התמך, הגיעו במאי 2003 לכ-15 מ' המתפזרים במורד הערוץ לאורך 200 מ' בשיפוע ממוצע של 7.5%. המשך התעמקות חלקו המזרחי של נחל דוד מאיים על יציבות המבנה ההנדסי והוא עלול לקרוס באירוע שיטפוני משמעותי אחד.

בין נחל ערוגות ונחל דוד מצוי מגלש המנקז את השטחים החקלאיים ואת המדרון של מעין עין-גדי. המגלש בנוי אבן ומשולב בטיילת (שבחלקה נהרסה עם קריסת הגשר על נחל ערוגות). כ- 20 מטר במורד המגלש, התפתח קניון עמוק היורד ישירות לחוף ים המלח. הפרשי הגובה בין המגלש למפלס הים מגיעים היום לכ-26 מ'. בעתיד הקרוב צפוי ראש הקניון להתחתר לאחור ולהגיע לקרבת המגלש, תוך יצירת סיכון הולך וגדל לכביש 90 ולטיילת שנבנתה לאורכו. המשך ירידת המפלס תחשוף את חזית מניפות הסחף, תעלה במידה ניכרת את קצב התחתרות הנחלים ותסכן את תשתיות הכביש והחוף.

**מדרום לעין-גדי עד מיצרי-לינין:** קטע זה, שאורכו כ-15 ק"מ, כולל תשתית חופית חרסיתית גם בחזית המניפות של נחל חבר ונחל צאלים. באזור שבין נחל חבר ונחל צאלים מגיעים החופים החדשים שנוצרו מאז אמצע המאה הקודמת, לרוחב העולה על שני ק"מ. התרחבות זו צפויה להימשך גם בשנים הקרובות, עד לחשיפתו הצפויה של המתלול הנמצא במרחק של כמה ק"מ מקו החוף הנוכחי. ערוצי הנחלים, בעיקר נחל חבר ונחל צאלים, מתחתרים בדרכם בתשתיות החלוקים של המניפות, ובאופן נמרץ יותר בתשתית החרסיתית ההולכת ונחשפת עם ירידת המפלס. כתוצאה מכך הולכים ומתעמקים הערוצים היורדים אל הים, תוך ביתור עמוק של החופים. תהליך ההתחתרות של הערוצים בחזית המניפות באזור קו החוף, נודד במעלה האפיקים וגורם כבר היום ליצירת מדרגה טופוגרפית של מטרים אחדים ממזרח לכביש 90. תהליך זה עומד להימשך ולפגוע בעתיד הקרוב בתשתיות הכביש, כמו גם בקווי המים והחשמל הצמודים אליו. המשך ירידת המפלס תגרום להתרחבות החופים הבוציים באזור שמדרום לעין-גדי ולהאצת ההתחתרות של ערוצים במניפות הסחף של נחלי חבר וצאלים.

אל קו החוף הנסוג, הביאו להתעמקות גדולה של אפיק נחל דרוגות וחצוץ ממזרח לכביש 90 וליצירת הפרשי-גובה הולכים וגדלים בין הערוץ לכביש (כ-15'20' מ' בשנת 2004). הכביש תלוי כבר עתה על גבי גשר אירי מבוטן, שבסיסו ויסודותיו מתערערים כתוצאה מזרימת המים באפיק ובתוך אופק החלוקים העליון. בשיטפונות חורף 2002-2003 נהרס קטע מכביש 90 באזור הגשר, באורך של כ-300 מ' (איור 5.5) ונפגעו קשה הכבישים המובילים אל מתקני הנופש שבקרבת חוף מינרל. מגמות אלו צפויות להחריף בשנים הבאות, עם המשך ירידת המפלס של ים המלח, עם הגידול המתמיד בשיפועי הערוצים היורדים אל הים ועם חשיפת מדרונות-בוץ תלולים.



**איור 5.5: סחיפת כביש בנחל דרוגות**  
(המקור: אבני וחוברין, המכון הגיאולוגי, GSI/18/2004)

**האזור שבין מצפה-שלם ועין-גדי:** קטע זה, שאורכו כתשעה ק"מ, עשוי רצועת חוף צרה הצמודה למצוק ההעתקים. בעקבות ירידת המפלס עד כה, נחשפה באזור זה רצועת חוף ברוחב 200-300 מ' בלבד שתשתית חרסיתית, להוציא שתי מניפות קטנות של נחל קדם ונחל ישעי. ראש המדרון התלול כבר חשוף בחזית מניפת נחל קדם, והוא צפוי להיחשוף יותר עם המשך ירידת המפלס בעתיד. כבר עתה (2004) מתפתחים בקטע חוף זה כמה ערוצים עמוקים המבתרים את התשתית החרסיתית של החופים. השפעת ההתחתרות על כביש 90 והתשתיות שלאורכו בקטע זה היא מוגבלת, כי הכביש נסלל במרומי מצוק ההעתקים ולא על חוף הים.

**אזור עין-גדי:** קטע זה, שאורכו כ-2 ק"מ, כולל את הנחלים דוד וערוגות, היוצרים שתי מניפות סחף צמודות הבנויות מחלוקים. בשל השיפועים התלולים שבמוצא מניפות הסחף אל הים, התרחבה רצועת החוף של ים המלח מאז אמצע המאה הקודמת בשיעור מתון של 150-300 מ' בלבד. במקביל החל תהליך התחתרות

**תעלת התמלחת הסופית/אפיק נחל ערבה:** התעלה מנקזת אליה תמיסות שנותרו לאחר שקיעת המלחים בבריכות האידוי וכן דליפות מבסיס הסוללה הישראלית והירדנית ומהאזור המוצף המשתרע מצפון לבריכה. עקב כמות המים הרבה המתנקזת דרך התעלה, עוקבת התחתרות אחרי ירידת מפלס הים באופן רציף. ההתחתרות נודדת במעלה האפיק דרומה וראשה מתקרב כבר היום אל המסדרון שבין הסוללה הישראלית לירדנית, שלאורכו זורמות כיום התמלחות הסופיות כמעט ללא התחתרות. בקטע בו חוצה התעלה את האזור המוצף, מתפתחות גלישות לאורך שולי התעלה. המשך הירידה במפלס והמשך ההתחתרות, ייצרו תעלה עמוקה לאורך המסדרון שבין הבריכות הישראלית והירדנית ויפגעו ביציבות הסוללות ובאטימותן.

**אזור מיצר-ליניץ:** הקטע הדרומי, שאורכו כ-2 ק"מ – הנתחם מדרום ע"י הסוללה הצפונית של בריכה 5 ומשתרע בין תעלת ההזנה הישנה במערב ותעלת התמלחות הסופיות במזרח – מוצף כיום בחלקו והוא בלתי-ניגש. באזור זה יש מספר רב של קונוסים רדודים שבמרכזם סימני נביעה, והם מוגדרים Sand Volcanoes. הקונוסים, שהיקפם מטרים אחדים עד עשרות מטרים, פזורים על-פני כל המרחב, אך במקומות אחדים ניכר סדר והתפתחות לאורך לינאמנטים (איור 5.6). נראה כי המים המציפים כיום את האזור ואת הקונוסים, מבטאים נביעות ארטזיות מקרקעית המיצר, שסחפו איתן סדימנט היוצר קונוס סביב כל נקודת נביעה. מקור המים עשוי להיות דליפות מבריכה 5 וכן מי-תהום ממערב ומדרום-מערב, המתנקזים אל האגן הצפוני. באזור זה קיימת גם התפתחות בולענים מואצת המיוחסת לפעילותם של מי-תהום אלה. צפוי כי התהליכים המתרחשים כיום בקטע זה ילכו ויגברו עם המשך ירידת המפלס באגן הצפוני מחד-גיסא והרמת מפלס הבריכה מאידך-גיסא.



**איור 5.6: Sand Volcanoes במיצר-ליניץ, מצפון לסוללה הצפונית של בריכה 5 (המקור: אבני וחוברין, GSI/18/2004, המכון הגיאולוגי)**

## 5.2. גלישות, סחף וחתירת נחלים, עקב רעידות אדמה ושיטפונות קיצוניים

רעידות אדמה ושיטפונות בעלי עצמה גבוהה במיוחד, הם אירועים בעלי אופי חריג וחד-פעמי. המהירות שבה יורד מפלס הים גורמת לחוסר שיווי-משקל מצטבר בכל המערכות הפיסיות הסובבות את הים, וכתוצאה מכך עולה במידה רבה רגישותן לאירועים חד-פעמיים.

### 5.2.1. גלישות בעקבות רעידות אדמה

המשך ירידת מפלס ים המלח תחשוף בחופו המערבי חתך המורכב ברובו סדימנטים חרסיתיים. סוג זה של סדימנט הוא בד"כ חלש מכאנית (חוזק נמוך לגזירה) ורגיש להתפתחות כשל במדרון, בפרט כאשר הוא חשוף בשיפועים תלולים. עצם החשיפה של מדרון ימי כתוצאה מירידת המפלס, יכולה לגרום לעתים להחלשתו ולהגדיל את רגישותו לכשל וגלישות בגין רעידות אדמה; בכל מקרה, חשיפת מדרונות אלה, המאפשרת נגישות אליהם, מעלה את הסכנה הקשורה להתפתחות כשל במדרון ימי שכזה.

הרגישות להתפתחות גלישות-מדרון (הכוונה לכלל התופעות של תנועת החומר במורד) ובפרט בזמן רעידות אדמה, תלויה בראש וראשונה בסוג המשקע המרכיב את המדרון ותלילותו. כאמור, באזורים שייחשפו בים המלח קיים סדימנט חרסיתי אחיד למדי, שבו המקטע הדק ( $<2\mu\text{m}$ ) שנבדק במספר מדגמים מהאגן הצפוני, מהאגן הדרומי ומשפך הירדן, כולל 35%-60% (משקלי) Illite ו-Smectite. מינרלים אלה תורמים לחוזק נמוך של החומר החרסיתי כולו. צפי כי היחס בין המרכיבים הדקים בסדימנט למרכיבים הגסים, ישתנה בהתאם לקרבה לנחלים המובילים גם חומר דטריטי גס. בחינת השיפועים בחוף המערבי (בין פני ים המלח הנוכחיים – 418 מטר מתחת לפני הים – לבין קו 465 מטר מתחת לפני הים (הצפי ל-2050) מעלה כי בקטעי-חוף רבים ייחשפו שיפועי-מדרון של 5° עד 15° ויש אף אזורים תלולים יותר, עם שיפוע של עד 25°. מתצפיות שדה נראה כי בקו החוף הנסוג נוצרות טרסות גידוד מקומיות, בשיפועים תלולים ( $<40^\circ$ ), היכולות להגיע לגובה של מספר מטרים. באופן כללי, גלישות-מדרון בחומר חרסיתי רטוב, מוכרות גם בשיפועי-מדרון לא תלולים של 10°. לאורך טרסות הגידוד בחופי ים המלח, מופרות גלישות בנפחים של עד עשרות מ"ק, אשר נוצרו בחלקן ברעידת האדמה הבינונית (MW=5.3) שהתרחשה בפברואר 2004 בצפון ים המלח. קיימות גם עדויות המרמזות על התפתחות גלישות תת-ימיות בנפחים גדולים יותר ברעידה זו.

בהנחה כי בכל המדרונות שייחשפו צפוי סדימנט חרסיתי דומה, ניתן לקבוע שלוש דרגות רגישות לכשל:

1. **נמוכה:** שיפוע-מדרון של עד 10°. צפוי שבאזורים אלה יתפתחו גלישות בעיקר ברעידות אדמה;
2. **בינונית:** שיפוע-מדרון שבין 10° ל-20°. צפוי שבאזורים אלה יתפתחו גלישות ברעידות אדמה, אך גם בתנאים סטטיים (ללא רעידה), כתוצאה מהגידוד;
3. **גבוהה:** שיפוע-מדרון של מעל 20°. צפוי שבאזורים אלה יתפתחו גלישות במצב סטטי, קל וחומר ברעידת אדמה, שם יתפתח נפח גדול של גלישות.

חשוב לציין שכל התערבות הנדסית במדרונות הטבעיים, ובפרט אם לא תיעשה מתוך הבנת הגורמים הקובעים את יציבות המדרון, עלולה להעלות את רגישות המדרונות לכשל. בטיב הנתונים הבתימטריים הנוכחיים יש כדי להצביע באופן כללי על אזורים בעלי רגישות מיוחדת. כל תכנון עתידי הכולל תכניות לפיתוח מסדרונות גישה לים ופיתוח חופים, מחייב חקירה ממוקדת של אזורי היעד ובדיקה פרטנית של מכלול תנאי התשתית. חקירת התשתית אמורה להתייחס גם לאפשרויות של הגברת הסינגל הסיסמי והתנזלות באתר נתון בגין רעידת אדמה המשליכה על יציבותם של מתקנים בכלל ומתקני-חוף בפרט.

### 5.2.2. סחף ועריצה בעקבות שיטפונות חריגים

ירידת המפלס המתמדת והמהירה של ים המלח מוציאה את מערכת הניקוז משיווי-משקלה ואינה מאפשרת למערכת להתייצב. הוציאת את תהליכי העירוי המתקיימים מול הנביעות של עינות-צוקים, קנה וסמר – הגורם הפעיל המעצב את המבנה והשיפוע של הנחלים באזור הוא האירועים השיטפוניים המתרחשים בהם. השיטפונות מופיעים בתדירות ובעצמה לא-קבועות אבל לכל נחל יש בד"כ תחום של אירועים המאפיין אותו. השיטפונות גורמים לכל אותן תופעות עירוי וחתירה שנידונו קודם, אבל מפאת אופיים ונדירותם אין בהם כדי להדביק את קצב ירידת המפלס ולבנות שיפוע זרימה מתון יחסית. כתוצאה מכך הולכים ומצטברים הפרשי גבהים ושיפועים המעלים במידה רבה את עצמת השפעתם של שיטפונות חריגים. אירועים בודדים של שיטפונות חריגים יוצרים הרס וחתירה בעצמה המשתווה לפעולה מצטברת של שיטפונות רגילים על-פני שנים. קריסת גשר ערוגות במאי 2001 והפגיעות הנרחבות בתשתיות הכביש באפיקי הנחלים דרוגות וחצצון בחורף 2003/2002 הם דוגמה להשפעתם של השיטפונות החריגים (איור 5.5).



## 5.3. מי התהום, הנביעות החופיות והשינויים החזויים בהם

### 5.3.1. מערכת מי התהום

מי התהום בקברת ים המלח קשורים באופן ישיר למערכת ההידרו-גיאולוגית האזורית ולמפלס ים המלח. בתנאים רגילים מתקיים מצב של שיווי-משקל בין מי התהום למי הים, המתאפיין במצב בו מי התהום מונחים על המים המלוחים ומישור המגע שביניהם בתת הקרקע – הפן הביני (interface) – נטוי מקו החוף מטה, כלפי היבשה. השינויים במפלס ים המלח מערערים שיווי-משקל זה ומשפיעים באופן ברור על מפלסי מי התהום, על הפן הביני ועל מיקום הנביעות ומהווים גורם מרכזי בתהליך יצירת הבולענים (פרק 5.3). בדומה לתהליכים הקשורים לרשת הניקוז העילית, ירידת מפלס הים המהירה יוצרת משטר שיפועים חדש ותלול יותר למערכת הניקוז התת-קרקעית סביב האגם. השינוי בשיפוע, המוגדר כגרדיינט הזרימה, מתפתח בהדרגה בתהליך הדומה להתחלת-תהליך לאחור המוכרת בערוצי הנחלים. הירידה המהירה והמתמשכת במפלס הים אינה מאפשרת למערכת מי התהום להתייבב, ולפיכך צפוי כי הגרדיינטים החריפים המתפתחים תחילה במורד הזרימה ובסמיכות יחסית לבסיס הניקוז הנסוג, יתפשטו בהדרגה מערבה, וטווח ההשפעה ילך ויתרחב. מכיוון ששטף המים העובר בחתך נתון עומד ביחס ישר לגרדיינט הזרימה, גורם תהליך זה להתרוקנות של אוגר חד-פעמי של מי-תהום. בתחילה מצוי עיקר האוגר המתרוקן בקברת החוף ומורכב ברובו מתערובת של מי הים ומי התהום שהרוו את החתך האקוויפרי במערכת פן ביני בהדרגה, עם התפשטות ההשפעה אל מעלה הזרימה, ילך ויגדל חלקם של המים השפירים בנפח המים המתרוקנים מהאוגר. עם זאת, מים שיתנקזו לים המלח יהיו עדיין מלוחים בשל המליחות הגבוהה של מי ים המלח, שרישומם במי התהום ניכר גם במיהול נמוך ביותר.

התרוקנות אוגר חד-פעמי היא תהליך שלילי הגורם נזק בלתי הפיך למערכות מי התהום והמעיינות. דוברים ירדנים, המצטטים עבודות של Salameh and El-Naser (2000a,b; 1999), אומדים את הזרימות כתוצאה מהפסדי האוגר הנידונים ביותר מ-400 מלמ"ק לכל מטר של ירידת מפלס. הערכות חוקרי המכון הגיאולוגי, המבוססות על מדידות ישירות ועקיפות של קצב האידוי, נמוכות בשיעור של 40%-100%. חשוב לציין כי במקומות רבים צפויה ירידת מפלס מי התהום להתמתן ביחד עם ירידת מפלס הים, ואף להיפסק לחלוטין עם המשך ירידת הים ונסיגתו מזרחה. זאת כתוצאה מניתוק הרצף האקוויפרי עם הים הנסוג. ניתוק זה צפוי בשל היעלמותם של אופקי החלוקים נושאי המים מזרחה,

והשתלטות חתך חרסיתי אטום. במצב זה יתנקזו מי התהום במערכת מעיינות-חוף שמפלסם יהיה גבוה ובלתי-תלוי במפלס הים ותהליך ריקון האוגר ידעך בהדרגה.

### 5.3.2. עינות-צוקים, קנה וסמר

מבחינה כמותית, מערכת מי התהום העיקרית בצד הישראלי של ים המלח היא בתבורת-יהודה, וניקוזיה הטבעי המקורי הוא בעיקר בעינות-צוקים, קנה וסמר. מערכת זו מנוצלת במידה הולכת וגוברת במעלה הזרימה. כבר היום קיים קושי להפיק מים בגב ההר המזרחי ובשוליו, בין השאר מפאת עומק המפלסים מפני הקרקע וירידתם בגין ההפקה המקומית. ירידת מפלס הים שהתחוללה עד כה, וזו הצפויה בהמשך, יביאו ללא ספק לירידת מפלסים כוללת בכל מערך הזרימה, אמנם לא בטווח המיידית אלא רק בעוד עשרות שנים. עם זאת, אין בידינו אמצעים מכיילים שיאפשרו לאמוד איך ובאיזה קצב יגיבו המערכות הרגיונאליות לירידת מפלסים כה דרסטית. הדברים נכונים הן לגבי אקוויפר תבורת-יהודה המתנקז לים המלח ממערב וצפון-מערב והן לגבי שאר מערכות מי התהום המתנקזות לים המלח מדרום-מערב וממזרח.

עינות-צוקים (עין-פשהח) מייצגים את אזור הנביעות הגדול ביותר בצד המערבי של ים המלח. לאחר שנים של הערכות-ספיקה בלבד, בוצעו ב-2003 וב-2004 סבבי-מדידה ע"י השירות ההידרולוגי, שהעלו שפיעה שנתית בכמות של כ-65-70 מלמ"ק. יש להניח שלכמות זו נוספת עוד כמות, שאותה קשה להעריך (10%-15%) והיא מבטאת נביעות חופיות ותתי-ימיות רדודות. חסרונם של נתונים מדויקים לגבי העבר, אינו מאפשר לקבוע בוודאות אם ישנה ירידה בספיקה הכללית. עם זאת מתרחשים ללא ספק שינויים בשטח. מתקיימת נדידת נביעות כלפי דרום, המשנה באופן הדרגתי את מערך הנביעות האזורי באתר. הנביעות הניכרות המתפתחות בדרום האזור כוללות מים מלוחים המוסברים בשטיפה של אזורים שהיו ספוגים במי ים המלח במפלסים גבוהים יותר. חקירה הידרו-גיאולוגית מפורטת של עינות-צוקים, המתבצעת בעצם הימים האלה על-ידי המכון הגיאולוגי עבור נציבות המים, תסייע להעריך בהמשך את הצפוי להתרחש שם בגין ירידת מפלס הים.

בעינות קנה וסמר, אשר ספיקתם נאמדת בכ-25-30 מלמ"ק בהסתמך על מדידות השירות ההידרולוגי ב-2004, גוררת ירידת מפלס הים לירידה של מפלס מי התהום הגורמת לנדידת חלק מהמעיינות. בעינות-קנה מתרחשת הנדידה בעיקר בכיוון דרום-מזרח, בעוד שבעינות-סמר מתרחשת הנדידה בעיקר דרומה. עם השנים מסתמן גם שינוי במליחות הנביעות, שעיקרו ירידה משמעותית של הרכיב המתוק בנביעות הללו (מתחת ל-1,000 מג"ל), דבר המוסבר בנדידת הפן הביני מזרחה ואילוץ מי התהום המתוקים לשטוף אזורים שהיו ספוגים בעבר במי ים המלח. החשש

קרסטיים) המהווים סכנה לנפש ולרכוש, משבשים את מהלך החיים באזור ופוגעים בפיתוח ובבנייה (איור 5.7). חקירת הנושא, פענוח מנגנוני ההיווצרות ומיפוי האזורים המועדים להתפתחות בולענים, המוצגים במסמך מדיניות זה, מבוססים על דוחות של המכון הגיאולוגי GSI/13/2004, GSI/20/2004, GSI/21/2004 המסכמים פעילות ממושכת ועתירת עבודה ואמצעים (עשרות קידוחים, הפעלת אמצעים גיאופיזיים, צילומי אוויר והדמיות לוויין, ניסויי שדה ומעבדה, ואנליזות גיאוכימיות ואיזוטופיות וכו') שנעשתה לפי החלטת הממשלה לעניין בורות ים המלח.



**איור 5.7: בולען בחוף ים המלח ובתוכו שרידים של צינור ניטור מקדוחי החקר**  
(המקור: אבני וחבריו, המכון הגיאולוגי, GSI/18/2004)

הבולענים, שמגיעים לעומק של עד 20 מטר ולקוטר של עד 25 מטר, מופיעים במקבצים בעלי כיוון מועדף ברור, המקביל במקומות רבים למבנים הטקטוניים העיקריים של הבקע (איור 5.8).

הבולענים במישורי הבוץ נוטים להיות רדודים ורחבים (יחס גדול של קוטר/עומק) לעומת הבולענים במניפות הסחף, שהם עמוקים יותר, עם קירות זקופים ובעלי יחס קטן יותר של קוטר/עומק. בנוסף להופעת בולענים קיימת תופעה נרחבת של שקיעת הקרקע

העיקרי הוא שהמשך ירידת המפלס תגרום להמלחה נוספת של הנביעות, לירידה בספיקה ולמעבר עיקר זרימת מי התהום לאופקים עמוקים אשר יתנקזו לים בסמוך לקו החוף החדש. התייבשות הנביעות הנוכחיות ונדידתן מזרחה, עלולה לגרום לדעיכת המערכת האקולוגית הנשענת עליהם (ראו פרק 7). עם המידע הקיים כיום קשה להעריך את תגובת המעיינות לירידת המפלס ואת קצבה, אך בטווח הנראה לעין תימשך ואף תחריף המגמה הכללית המתבטאת בנדידת הנביעות והמלחתן.

### 5.3.3. מי־תהום הניזונים מאקוויפרים עמוקים

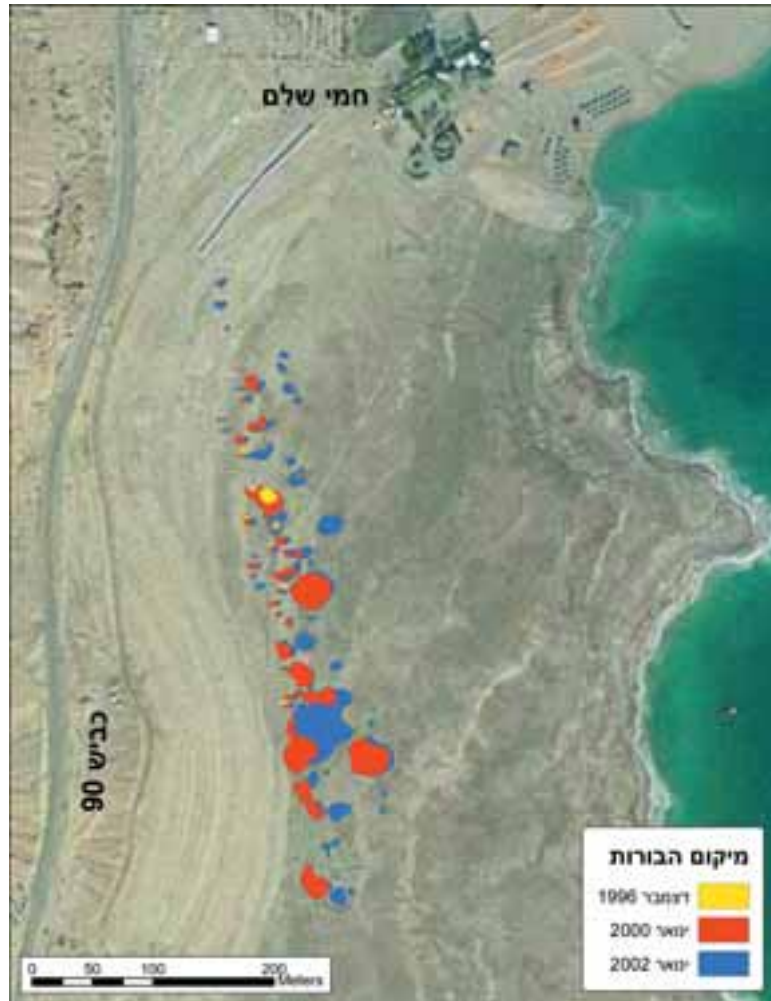
לאורך השוליים הדרום-מערביים של ים המלח ודרומה, קיימת מערכת מי־תהום באקוויפרים של חברות־היהודה ופזורה. המים באקוויפרים אלה מנוצלים במידה רבה ע"י מפעלי ים המלח ובמידה פחותה לחקלאות ולהתפלה למלונות. מקור המים הוא במערכות נרחבות המשתרעות על פני הנגב וסיני ועיקרן מים בלתי־מתחדשים. מערכות־מים אלו, להן מיתוספת גם כמות מסוימת של מים מתחדשים, מתנקזות באופן טבעי לחלקו הדרומי של אגן ים המלח, בתחום שעדיין אינו מגיב ככל הנראה לירידת מפלס הים. השאלות הקשורות בניצול מערכות־מים אלו, הן מבחינת האיזונים ההידרוגיאולוגיים והן מבחינת מדיניות התפעול והקצאת המים לשימושים השונים, אינן נידונות במסמך זה והן טעונות מחקר נוסף.

מקור נוסף למי־תהום, שאינו בעל משמעות כמותית כמשאב־מים אך יש לו חשיבות כלכלית לשימושים במרחצאות המרפא, הוא מים מלוחים וחסמים העולים מאקוויפרים עמוקים. מים אלה, בעלי ריח של מימן־גופריתי, מוכרים במספר נביעות (כגון עיך־קדם) ונשאבים בקידוחים רדודים (הקידוחים של מרחצאות חמי־עיך־גדי וחמי־שלם). ירידת המפלס באגן הצפוני ונסיגת החוף, גורמות לתזוזת הנביעות בעקבות קו החוף ואולי אף מגבירות את הנביעות התת־ימיות על חשבון הנביעות היבשתיות. ירידת המפלס עשויה לפיכך לחייב היערכות וגמישות בניצול מים אלה והתאמה לתנאים המשתנים. לא צפוי שזמינות מים אלה תרד או תיפסק.

### 5.4. התפתחות בולענים (בורות) ושקיעות־קרקע

#### 5.4.1. תיאור התופעה וסיבותיה

לאורך חופי האגן הצפוני של ים המלח, הן בצידו המערבי והן בצידו המזרחי, נוצרו בעשור האחרון מאות בולענים (בורות



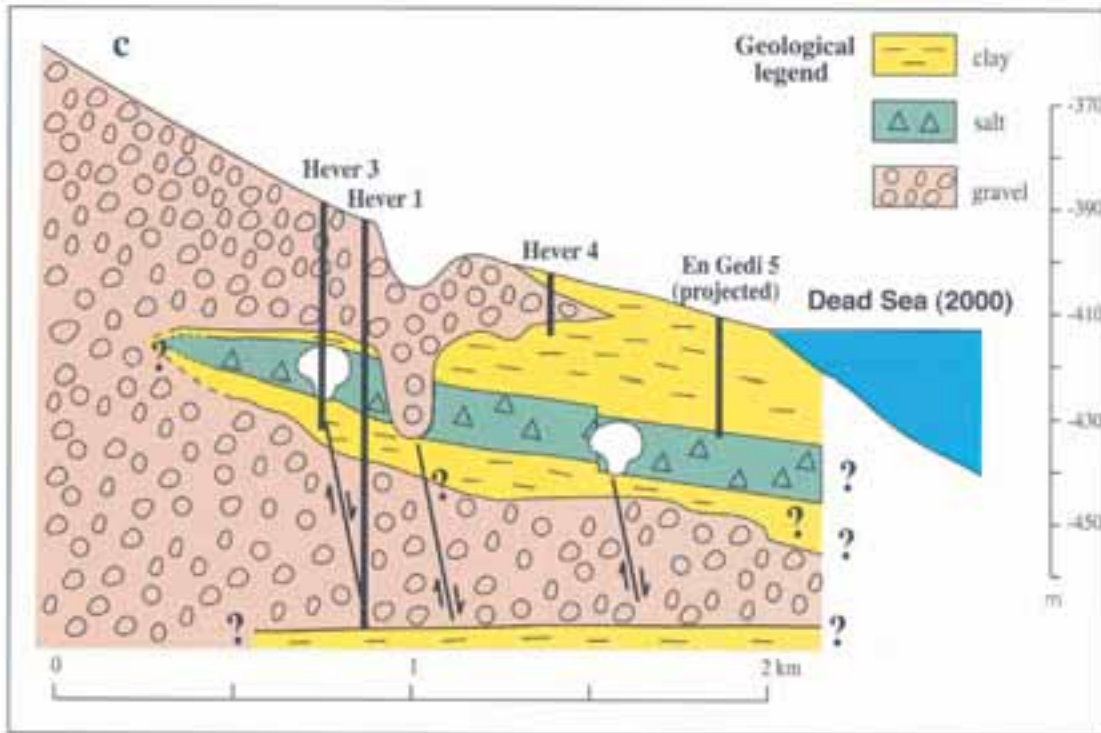
**איור 5.8: בולענים שהתפתחו לאורך ליניאמנט בין 1996 ל-2002 מדרום לחמי שלם**  
 (המקור: יחיאלי וחובריו, המכון הגיאולוגי (Current Research, 2002)



**איור 5.9: שקיעות קרקע המלוות את התפתחות הבולענים**  
 (המקור: אבני וחובריו, המכון הגיאולוגי, GSI/18/2004)

(איור 5.9) שמנוטרת בשיטה חדשנית למדידת שינויים בפני הקרקע, בחישה מרחוק על-ידי אינטרפרומטריה של רדאר (InSAR).

המנגנון הגורם לתופעות הנידונות קשור בירידה המתמשכת של מפלס ים המלח בשלושים השנים האחרונות, אשר גורמת לשינויים מהירים וחריפים בתנאים ההידרוגיאולוגיים השוררים בתת-הקרקע בקרבת החוף. עקב ירידת מפלס מי התהום והשינוי במיקום הפן הביני (ירידה ונדידה כלפי מזרח), באה שכבת מלח המצויה בתת-הקרקע (בעומק שבין 20 ל-60 מ') במגע עם מים לא רוויים במלח, ואלה גורמים להמסתה וליצירת חללים בתוכה (איור 5.10). עם הזמן קורסות תקרות החללים ובעקבותיהן קורסת מסת הסלע הבלתי-מלוכד שמעל לשכבת המלח אל תוך החללים, ועל-פני השטח נפערים בולענים. המים הלא-רוויים נעים בתוך שכבת



**איור 5.10: המסת שכבת מלח בתת הקרקע על-ידי מי-תהום לא רוויים במלח, גורמת להיווצרות הבולענים**  
 (המקור: יחיאלי וחוברין, המכון הגיאולוגי 2002, Current Research)

רוחב) והם הולכים וגדלים. המפלס בגופי-מים אלה עולה עד שהמים ניגרים מהדופן ומתנקזים אל הים.



**איור 5.11: בולען שהפך למקוה-מים**  
 (המקור: אבני וחוברין, המכון הגיאולוגי GSI/18/2004)

המלח ובסביבתה. בחלק מהאתרים נעים המים ככל הנראה דרך קווי חולשה טקטוניים, המכתיבים את ממד ההתפתחות הקווית של הבולענים (איור 5.8).

הממצאים בצד המערבי של ים המלח מראים כי עיקר תופעת הבולענים מתמקדת בקטע שמצפון לבריכות ים המלח ועד לאזור שמדרום לעינות-צוקים. בקטע זה קיימים עשרות אתרים של בולענים אשר מתפתחים, גדלים ומתמזגים במהירות רבה. מצפון לעינות-צוקים אין בולענים כלל ואילו מול הבריכות, באגן הדרומי, ישנם מעט אתרי בולענים. באתר הבולענים של נווה-זוהר, ואולי גם בשטח המפעלים, קיימת פעילות בעצמה נמוכה יחסית.

השקעים והבולענים מתמלאים לעתים במי-תהום או במי ים המלח, והופכים לבריכות קטנות. מליחות גופי-מים אלה נעה בתחום שבין מחצית המליחות של ים המלח ועד מליחות העולה על זו של ים המלח. באזורי הנביעות מנקזים שקעים אלה מים, תוך ייבוש הצומח בסביבתם, ויוצרים מקווי-מים (איור 5.11) שהגדולים שבהם התפתחו באזור עינות-סמר (עד 265 מ' אורך ו-55 מ'



בפרק התכנוני, התחום הלבן הוא שטח פוטנציאלי לפיתוח ללא מגבלות הנובעות מצפי להתפתחות בולענים.

#### המפות: שימושים ומגבלות

מומלץ כי רשויות התכנון, הרישוי ותחזוקת התשתיות (ובכלל זה מינהל התכנון, הוועדה המחוזית לתכנון ולבנייה, הוועדות המקומיות לתכנון ולבנייה, המועצות האזוריות ומע"צ) יאמצו את המפות המציגות את הצפי להתפתחות התשתית הפיסית והאזורים המועדים להתפתחות בולענים ולכשל קרקע, כמפות בסיס לכל התנהלות באזור ים המלח. חשוב להדגיש כי על סמך החלטת הממשלה אמורות מפות אלו לשמש בסיס לקביעת נהלים מחייבים לפעולות הנדסיות ולמתן רישיונות. נהלים אלה מקודמים באחריות הצוות הנדסי הפועל בעניין בולעני ים המלח לפי החלטת הממשלה. תקציר הדוח של צוות זה (מוגש לוועדת המנכ"לים לבורות ים המלח), מובא כלשונו בנספח. ראוי לציין כי לצורכי תכנון ויישום מפורטים, מתחייבת התייעצות עם המכון הגיאולוגי, העוסק בעדכון המפות ובסיס הנתונים, וזאת כדי לקבוע את מידת הסיכון בכל אתר ספציפי. בעיקר נכון הדבר לגבי קביעת הגבולות המדויקים של אזורי ההיתכנות להתפתחות בולענים ולכשל קרקעי אחר.

## 5.4.2. מיפוי אזורים מועדים להיווצרות בולענים

**קריטריונים ושיטת המיפוי:** הקריטריון המרכזי לקביעת היתכנות להתפתחות בולענים הוא קיומה של שכבת המלח, שהיא הגורם הראשוני לתופעה. קריטריונים נוספים הקשורים להיווצרות בולענים כוללים שקיעות-קרקע, הימצאות מי-תהום בעלי עומד והרכב המסוגלים לחדור ולהמיס מלח, וקווים טקטוניים שלאורכם מתפתחים הבולענים. בהסתמך על קריטריונים אלה הוגדרו ומופו שלוש רמות היתכנות, כדלקמן (איור 5.12):

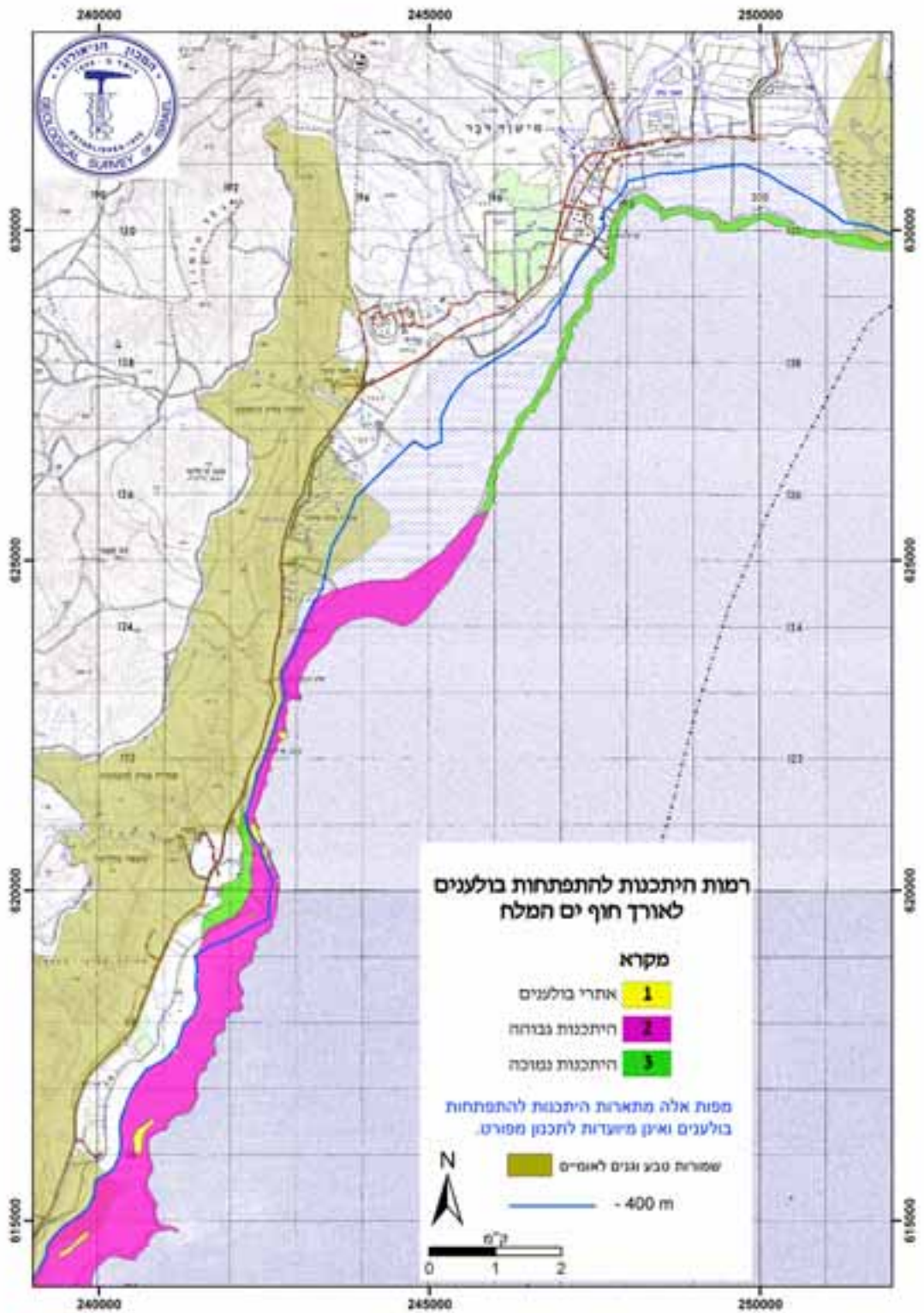
**אזור היתכנות 1:** אזור בו קיימת התפתחות ודאית של בולענים. האזור מקיף את אתרי הבולענים הקיימים ועוד תחום של 25 מ' נוספים סביבם. באתר בו הבולענים מתפתחים לאורך ציר-קווי מוגדר, גבול אזור 1 נמתח במרחק של 100 מ' מהבורות בכיוון האורך. אזור זה מסומן במפת הסיכון בצבע צהוב.

**אזור היתכנות 2:** אזור בו קיימת היתכנות גבוהה להתפתחות בולענים, בו נמצאים כל הקריטריונים הקשורים להתפתחותם. תחום אזור זה נקבע בעיקר לפי תפוצת אתרי בולענים קיימים, אזורי שקיעות-קרקע והימצאות שכבת המלח לפי נתונים מקידוחים וחתכי רפרקציה סיסמית. תחום זה כולל גם אזורים שבהם יש סבירות גבוהה לקיומה של שכבת מלח בתת הקרקע, וזאת בהסתמך על יישומם של פרמטרים מדודים במודל סדימנטולוגי-לימנולוגי שהכתיב את תפוצתה הראשונית של שכבת המלח. אזור זה, בו כאמור קיימת רמת היתכנות גבוהה להתפתחות בולענים, מסומן במפת ההיתכנות בצבע ורוד.

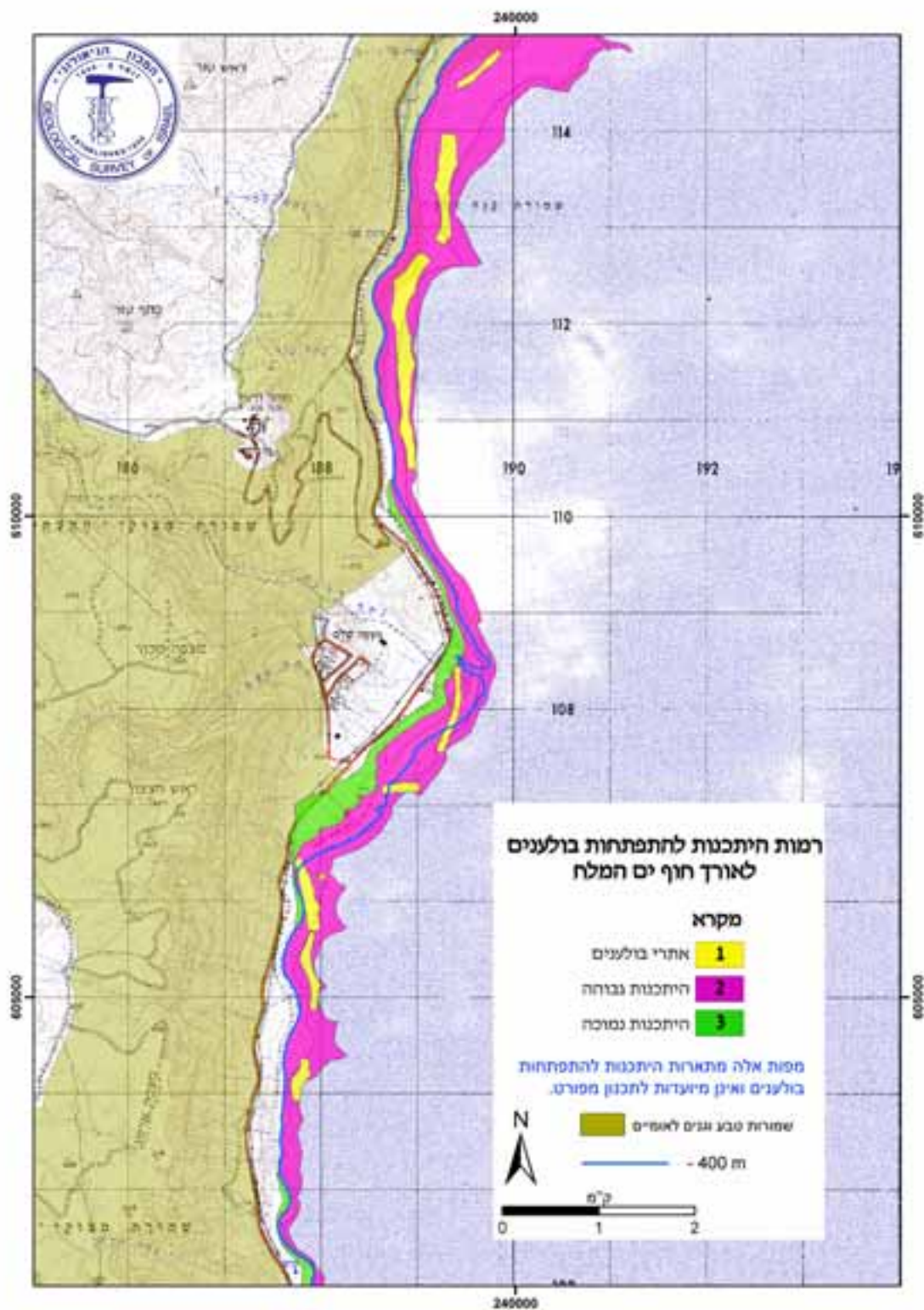
**אזור היתכנות 3:** אזור בו לא ניתן לשלול קיומם של המרכיבים הקשורים להתפתחות בולענים ובעיקר את האפשרות להימצאותה של שכבת מלח בתת הקרקע וקרבה מיידית לגבול שכבת המלח. תחום זה מסומן במפת ההיתכנות בצבע ירוק.

במפת ההיתכנות מוצגים שלושה מרכיבים נוספים, וזאת כדי להעמיד את ממדי התופעה בהקשר המרחבי:

1. קו גובה 400-: קו זה (לפי רובד ה-DEM של המרכז למיפוי ישראל) מייצג בקירוב את הגבול המערבי של אזורי ההיתכנות לבולענים ואת הגבול המזרחי המותר לפיתוח לפי התקנות הקיימות (העומד על 390.5- מטר).
2. תחום שמורות הטבע: שמורות הטבע באזור (מסומנות בצהוב-כתום) כוללות את רוב שטח מצוק ההעתקים וכן אתרים בחוף ים המלח ובעיקר נאות-חוף.
3. תחום לבן: אזור הנתחם במזרח בגבול אזורי ההיתכנות להתפתחות בולענים ובמערב בגבול שמורות הטבע. כפי שמוצג

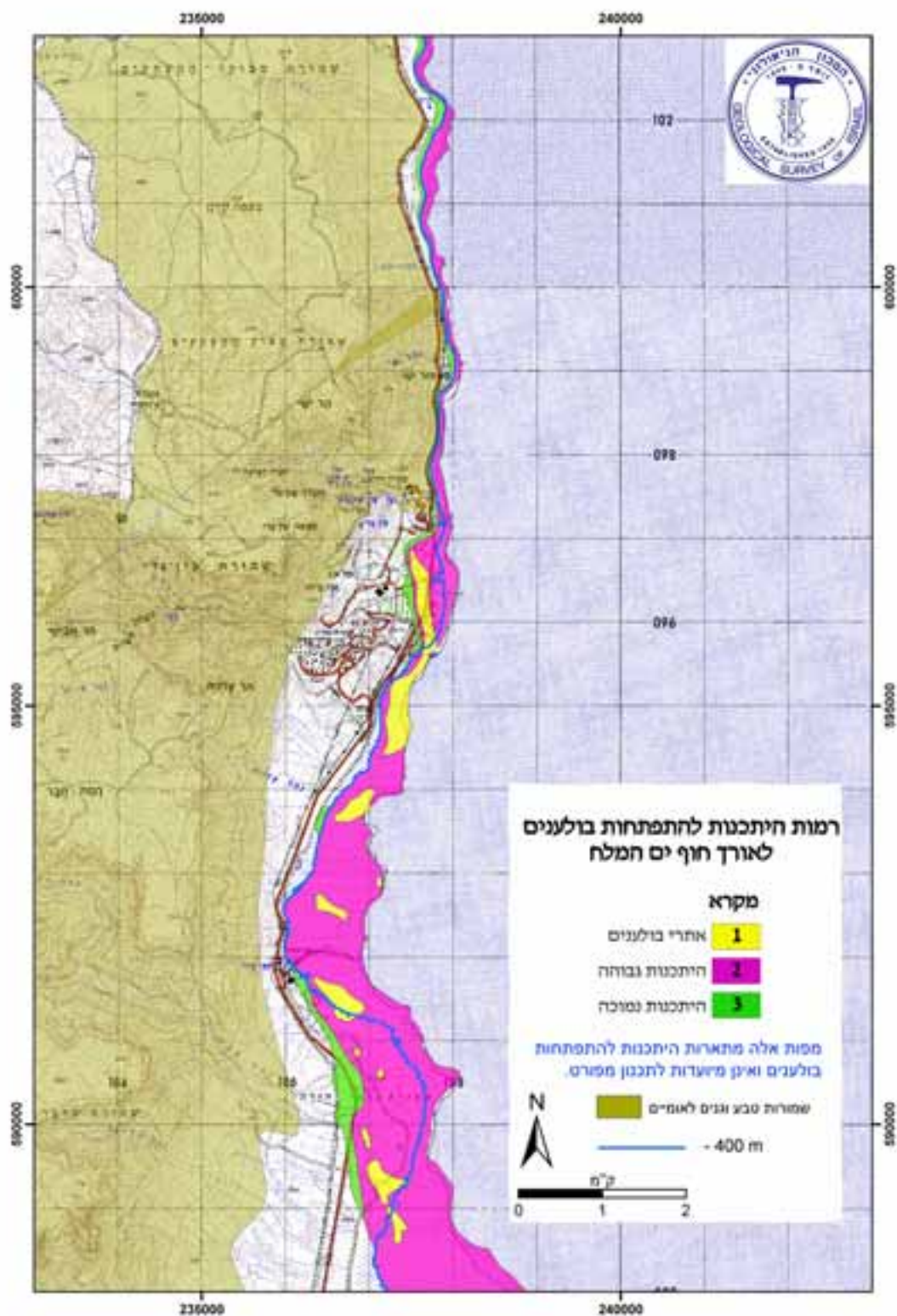


איור 5.12 א: מיפוי רמות היתכנות להתפתחות בולענים לאורך חופי ים המלח. התחום הלבן הוא שטח פוטנציאלי לפיתוח, ללא מגבלות הנובעות מצפי להתפתחות בולענים (המקור: אבסון וחוברין, המכון הגיאולוגי, GSI/13/2004)

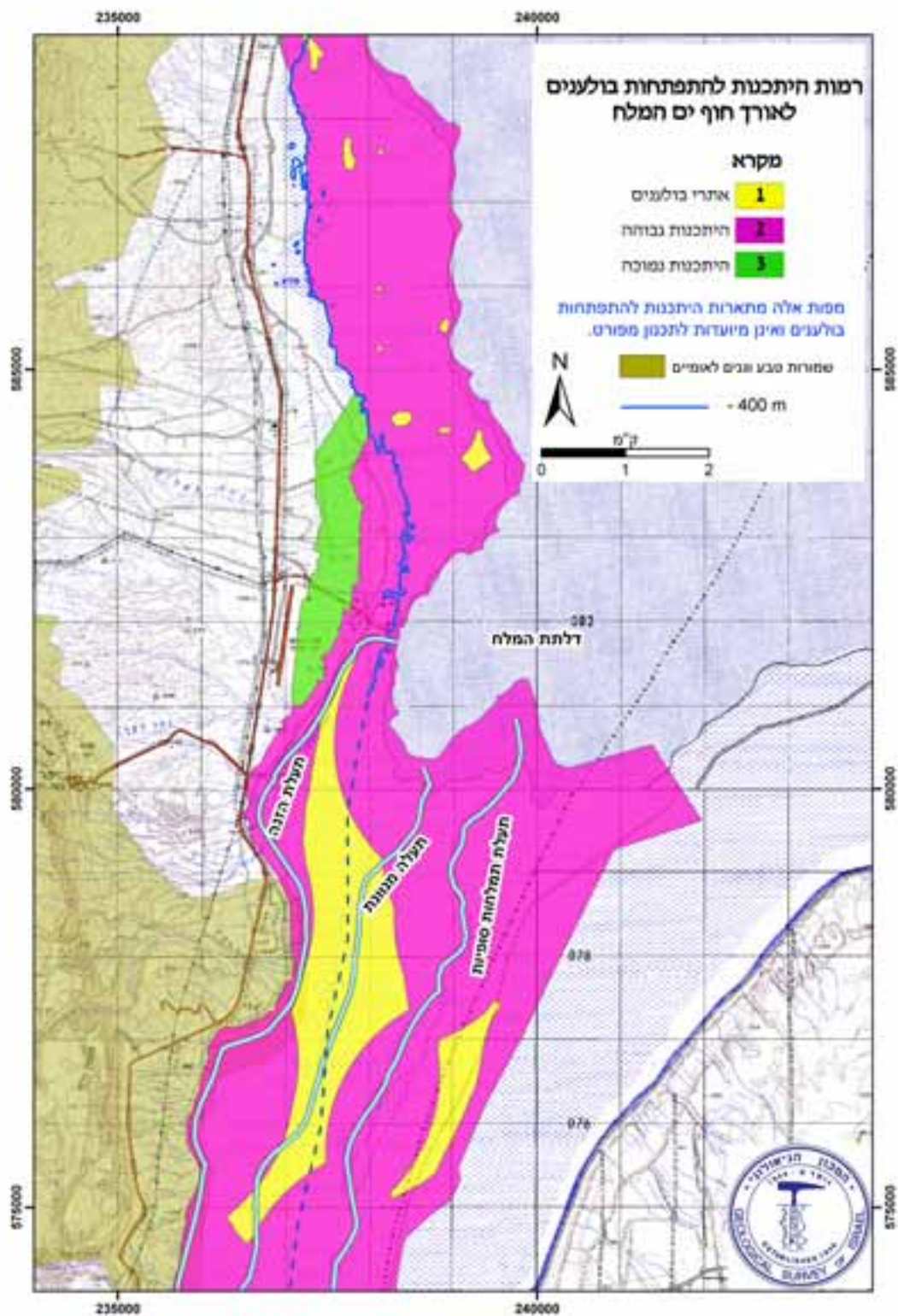


איור 5.12.ב: מיפוי רמות היתכנות להתפתחות בולענים לאורך חופי ים המלח. התחום הלבן הוא שטח פוטנציאלי לפיתוח, ללא מגבלות הנובעות מצפי להתפתחות בולענים (המקור: אבלסון וחוברין, המכון הגיאולוגי, GSI/13/2004)



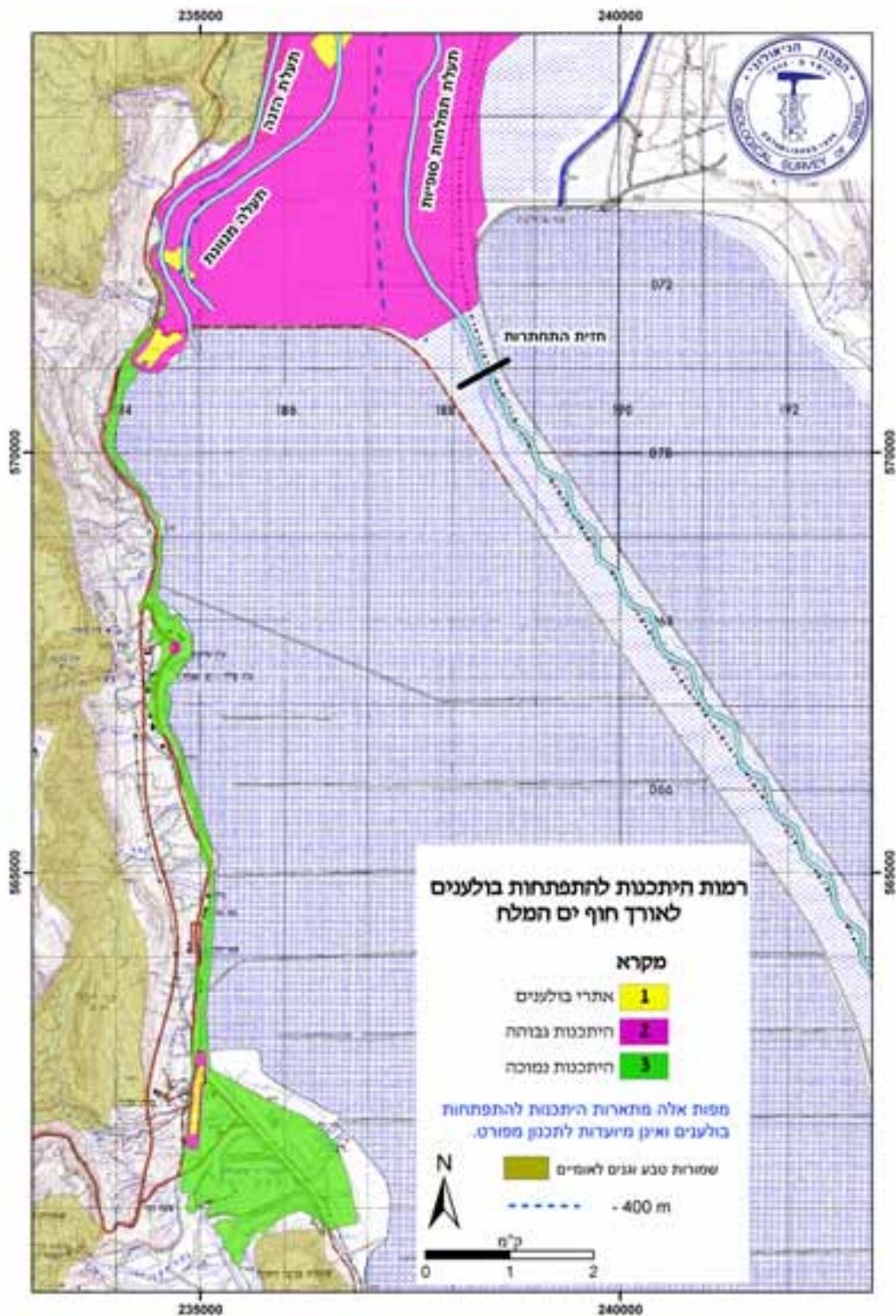


איור 5.12: ג.מ.פי רמות היתכנות להתפתחות בולענים לאורך חופי ים המלח. התחום הלבן הוא שטח פוטנציאלי לפיתוח, ללא מגבלות הנובעות מצפי להתפתחות בולענים (המקור: אבליסון וחוברין, המכון הגיאולוגי, GSI/13/2004)



איור 7.5.12: מיפוי רמות היתכנות להתפתחות בולענים לאורך חופי ים המלח. התחום הלבן הוא שטח פוטנציאלי לפיתוח, ללא מגבלות הנובעות מצפי להתפתחות בולענים (המקור: אבלסון וחוברין, המכון הגיאולוגי, GSI/13/2004)





איור 5.12: מיפוי רמות היתכנות להתפתחות בולענים לאורך חופי ים המלח. התחום הלבן הוא שטח פוטנציאלי לפיתוח, ללא מגבלות הנובעות מצפי להתפתחות בולענים (המקור: אבלסון וחוברין, המכון הגיאולוגי, GSI/13/2004)

## 6.1. בריכות האידוי כגורם מרכזי באגן

### 6.1.1. נפחי שאיבה ותפעול המערכת

באגן הדרומי של ים המלח נמצאות בריכות האידוי של המפעלים הכימיים הישראליים והירדניים, הפועלים במתכונת דומה. שני המפעלים שואבים את מי ים המלח מדרום האגן הצפוני ומזרימים אותם דרומה, דרך תעלות הזנה פתוחות, לבריכות האידוי שבאגן הדרומי. תחנת השאיבה הישראלית P88 נמצאת ממזרח למצדה, בעוד שהתחנה הירדנית פועלת ממול, על חופו של חצי-אי-הלשון. ירידת מפלס ים המלח מקשה על השאיבה ומחייבת להעתיק מדי פעם את תחנת השאיבה בעקבות ירידת המפלס. תחנה P88 היא התחנה השלישית שהקימו מפעלי ים המלח. תחנת השאיבה הראשונה, P7, יצאה לחלוטין משימוש והיא "תלויה באוויר". תחנה P8 ממשיכה לתפקד באופן חלקי, אולם היא צפויה לצאת מכלל שימוש בתוך זמן קצר. תחנה P88 תוכל לתפקד עוד כעשור שנים ובמפעלי ים המלח כבר מתכננים את תחנת השאיבה הבאה.

חומר הגלם המשמש את המפעלים הכימיים לייצור האשלג הוא המינרל קרנליט ( $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ ). בתהליך האידוי של מי ים המלח שוקע תחילה מלח בישול (הליט) ורק במליחיות גבוהה יותר מתחיל לשקוע הקרנליט (אגב המשך שקיעת ההליט). המפעלים הכימיים עושים לפיכך הפרדה בין בריכות המלח, בהן שוקע ומצטבר מלח בישול, שאינו "נקצר", לבין בריכות הקרנליט, שאותן "קוצרים". עיקר ההליט בבריכות של מפעלי ים המלח שוקע בבריכה מספר 5 (הבריכה הצפונית ביותר) בקצב של כ-20 ס"מ בשנה. כתוצאה מכך קטן נפח המים התפעולי בבריכה ולכן נדרשים המפעלים להגביה את הסוללות סביב הבריכה כדי שניתן יהיה להעלות את מפלס המים. להעלאת מפלס המים בבריכה יש השלכות ישירות על המלונות שנבנו לחופה.

התמלחת המרוכזת מבריכות המלח מוזרמת ל"בריכות הטרקלין" שבדרום האגן הדרומי, בהן מתחילה שקיעת הקרנליט. משם מועברת התמלחת הלאה, לבריכות הקרנליט המופעלות בטור, כך שמליחות התמלחות עולה מבריכה לבריכה. קציר המלחים מבריכות הקרנליט (שם שוקעים קרנליט, הליט ומעט מאד גבס) נעשה באמצעות דוברות השואבות את המלחים למפעלים באמצעות צינורות צפים הנגררים אחריהן. הקרנליט שנקצר משמש גם את מפעל המגנזיום, ואילו התמלחות מהבריכות משמשות גם

את מפעלי הברום ומפעל פריקלס. התמלחות המרוכזות ביותר מבריכת האידוי האחרונה, הנקראות "תמלחות סופיות", נשפכות אל מעבר לסכר המזרחי של הבריכה. כאן עובר המשכו של ערוץ נחל ערבה, הנתחם בסוללות של שני המפעלים. בערוץ זה זורמות התמלחות הסופיות צפונה, בחזרה לים המלח. התמלחות הסופיות מהמפעל הירדני מוזרמות אף הן לאותו ערוץ, וליים המלח מגיעות תערובות משני המפעלים. מבחינה כימית, התמלחות הסופיות הן תמלחות כמעט נקיות של קלציום ומגנזיום-כלוריד, וזאת לאחר שמרבית יוני הנתרן והאשלגן שהיו במי ים המלח המקוריים שקעו עם המלחים בבריכות האידוי. מליחות התמלחות הסופיות גבוהה ביותר וצפיפותן עומדת על כ-1.35 גרם/סמ"ק. ערבוב התמלחות הסופיות במי ים המלח מלווה בשקיעה מסיבית של מלח היוצר דלתה של מלח בדרום ים המלח. שקיעה זו היא תוצאה של ערבוב בין שתי תמלחות הרוויות ביחס להליט, אך בעלות הרכב כימי שונה.

עיקר תהליך השקעת המלחים שתואר לעיל, מתרחש בחודשי הקיץ החמים, כאשר קצב האידוי גבוה. בחודשי החורף, כאשר האידוי נמוך, אין כמעט שאיבה של מי ים המלח או שחרור של תמלחות סופיות. בתהליך האידוי שתואר לעיל מתאדים בערך כ-50% מנפח המים שנשאבו מים המלח, והיתרה מוחזרת לים. מפעלי ים המלח שואבים מדי שנה כ-250-300 מלמ"ק ומחזירים לים כ-125-150 מלמ"ק. המפעלים הירדניים פועלים בתפוקה של כ-2/3 מזו של מפעלי ים המלח ולכן נפחי השאיבה שלהם ונפח התמלחות הסופיות המוזרמות על-ידם בחזרה לים המלח קטנים בהתאם. בסך הכול מסתכם האידוי בבריכות האידוי של המפעלים הכימיים הישראליים והירדניים בכ-250 מלמ"ק לשנה. בשטחו הנוכחי של ים המלח שקול אובדן נפח זה לירידת מפלס של 35-40 ס"מ.

### 6.1.2. יחסי הגומלין שבין תפעול הבריכות למלונות החוף

מלונות ים המלח נבנו לחופה של בריכה מס' 5. הבריכה נועדה כאמור לשקע הליט (מלח בישול) שהוא תוצר-לוואי בלתי-רצוי הנוצר בתהליך האידוי. שימור נפח המים בבריכה הוא חיוני להבטחת כושר הייצור של המפעלים, ולכן מוגבהות הסוללות מעת לעת ומפלס הבריכה מועלה, כפיצוי למלח המצטבר על הקרקעית. על-פי מפעלי ים המלח ודוח בן-גון (ראו פרק 6.1.3),

נמוכות העלויות הכרוכות בהגבהת הסוללות מעלויות סילוק המלח מקרקעית הבריכה.

המפלס העולה בבריכה מאיים על המלוונות הסמוכים לחוף והוא גרם למחלוקת שהגיעה לדיון משפטי. הפתרון שהוצע בדבר הקמת חיץ בין מפלס הבריכה הגואה לבין המלוונות, יצר מצב שבו המים בבריכת האידי גבוהים מנדבכים נמוכים של המלוונות. ככול שתימשך עליית מפלס המים בבריכה, תעלה חומרת האיום ותעלה היתכנות הנזק האפשרי כתוצאה מכשל הנדסי או מקריסת החיץ ברעידת אדמה. מול האיום שנוצר עקב תפעול הבריכות, יש לזכור את התלות של המלוונות במפעלי ים המלח, משום שבלא תפעול הבריכות לא תהיה למלוונות סמיכות לחוף ים (בריכה) (איור 6.1). העלייה של מפלס המים בבריכות האידי מהווה איום גם על קטעים מכביש 90 ולאחרונה חויבו מפעלי ים המלח להגביהו.



**איור 6.1: המלוונות לחוף בריכה מס' 5**  
(צילום: עמיר אידלמן)

עד כה עלתה קרקעית הבריכות בכ-7.5 מ' ובשנת 2030, שנת תפוגת זיכיון מפעלי ים המלח, צפויה ההתרוממות המצטברת להגיע לכ-13 מ'. החשיבות הכלכלית של המפעלים והתעסוקה הרחבה שהם מספקים, מאפשרים להניח כי המשך פעילותם, כולל המפעל הירדני, תימשך גם לאחר תום תקופת הזיכיון. למרות זאת יש להתייחס לאפשרות, הרחוקה אמנם, שהמפעלים יושבתו וכל מערך תפעול הבריכות יופסק. במצב זה תיהפכה הבריכות בהדרגה, כולל בריכה מס' 5 אשר לחופה שוכנים מלוונות ים המלח, למלחות ומשטחי-מלח. הפסקת הייצור במפעלים תאט כאמור את קצב ירידת המפלס באגן הצפוני של ים המלח בכ-35 ס"מ בשנה. במצב כזה יתאפשר חידוש הדרגתי של ניקוז מיישטפונות נחלים אל תוך האגן הדרומי – ניקוז הנמנע כיום על-ידי המפעלים. בהתחלה ייקלטו מרבית מי הישטפונות במלחות ולא יגיעו אל האגן הצפוני, אולם המשך ירידת המפלס באגן הצפוני יערער

בהדרגה את מבנה המלחות ומשטחי המלח, ועם הזמן הם יתקזזו לאגן הצפוני. בתנאים אלה צפוי כי האגן הדרומי ינקז יותר מי תהום מהשוליים, וכתוצאה מכך יגבר בהדרגה תהליך היווצרות הבולענים באזור.

### 6.1.3. פתרוונות מוצעים

הטיפול בבעיית יחסי הגומלין בין הבריכות למלוונות נבחן בתוקף החלטות ממשלה ובמסגרת ועדות שונות (כולל ועדת בן-נחון) באחריות משרד התשתיות הלאומיות ומשרד התיירות. הפתרוונות הנבחרים כוללים שינוי במבנה בריכה 5 ויצירת לגונה נפרדת בצידה המערבי, עם מפלס קבוע שאינו מאיים על המלוונות. פתרון זה, המשולב גם בשינויים תפעוליים של מערך הבריכות על-ידי המפעלים, כולל גם בקשות להקמת בריכת-אידי נוספת (בריכה 6) מצפון לבריכה 5. מול פתרון זה נבחנת חלופה אחרת, שבה תופעל מערכת לסילוק המלח המצטבר מבריכה 5 כולה ("חלופת הקציר"). שתי החלופות דורשות השקעות ניכרות ביותר ונראה כי האפשרות הראשונה זולה משמעותית, אף כי יש בה פתרון רק עד לתום תקופת הזיכיון (2030) ולאחר מכן יידרש הפתרון של סילוק המלח המצטבר. ב-29.7.04 התקבלה החלטת ממשלה המטילה על משרד התיירות לבצע בדיקת היתכנות ל"חלופת הלגונה" ובמקביל לחזור ולבחון את חלופת ה"קציר" וכן חלופה לשינוי מיקומם של המלוונות בקו המים.

במקביל נעשה מאמץ לטפל בבעיית הנוכחיות של הצפת מתקני המלוונות המצויים בקדמת קו החוף, שיימשכו בכל מקרה עד ליישום פתרון כולל (2007?). המאמץ מתמקד ביצירת חיץ יעיל להפחתת החלחול התת-קרקעי מתחת לסוללות ההגנה על בתי המלון ושאיבת מי התהום ליד המלוונות, להורדת מפלסם אל מתחת לסף נדרש. ראוי לציין עוד כי לאור ההשקעות הניכרות הנדרשות בכל מקרה לייצוב המצב באזור הבריכות ובהתחשב במצב הכללי באגן ים המלח, מקדם מינהל מקרקעי ישראל בחינה של עיבו מלוונות באזור זה.

## 6.2. התפתחות בולענים באגן הדרומי

קצב התפתחות הבולענים באגן הדרומי נמוך באופן משמעותי מזה שבאגן הצפוני. בכל האגן הדרומי (מדרום לגבול הצפוני של בריכה 5) מופיע בולען בערך אחת בשנתיים, ובשנה האחרונה הואץ הקצב לשלושה בולענים בשנה. לעומת זאת, באגן הצפוני מופיעים 150-200 בולענים בשנה, בארבע השנים האחרונות.

ההבדל בהתפתחות בולענים בין האגן הדרומי לצפוני נובע מהבדלים טבעיים בין האגנים ומהבדלים הנובעים מקיומן של בריכות האידוי של מפעלי ים המלח. כאמור, הגורם המרכזי להיווצרות הבולענים הם מי התהום, אשר בעקבות ירידת המפלס מגיעים אל שכבות מלח תת־קרקעיות וממיסים אותן. באזור הסמוך מדרום־מערב לים המלח קיימת מערכת מי־תהום בחבורות־יהודה ובפורנוב, המתנקזות באופן טבעי לים המלח. הניצול האינטנסיבי של מי־תהום אלה בשורה של קידוחי־הפקה מפחית ואף מונע כנראה ניקוז מים משמעותי לעבר ים המלח.

לעומת זאת, בקטע המרכזי־צפוני של האגן הדרומי (מצפון להר סדום ועד לדרום הלשון) נראה שיש ניקוז מי־תהום משכבות אלו לסדימנטים של המיליון, ודרכם לאגן הצפוני. מערכת מים פעילה זו, הכוללת ככל הנראה תת־אקוויפרים אחדים, חסומה באופקיה העליונים על־ידי בריכות האידוי ומוטה כלפי צפון. מצב זה מביא ככל הנראה לשטף מוגבר של מי־תהום בגבולה הצפון־מערבי של הבריכה וגורם להתפתחות בולענים נמרצת באזור הגבול הצפוני של בריכה 5. גם הבולענים המעטים־יחסית שנוצרו באזור המפעלים ובנווה־זוהר, מיוחסים לפעילות מי־תהום אלה, המתנקזים לאגן הצפוני של ים המלח באופקים תחתונים, שאינם חסומים על־ידי הבריכות.

חשוב לציין שבמסגרת חקירת הבולענים מושם הדגש על האזור שמצפון לבריכות האידוי. הנקודה הדרומית ביותר בה נלמד תת הקרקע באמצעות קידוחים וסקרים גיאופיזיים, היא נווה־זוהר, ולא נאסף מידע על אזור המפעלים ובריכות האידוי. יחד עם זאת יש לקחת בחשבון את האפשרות שהקצב האיטי של הופעת הבולענים באגן הדרומי עשוי להשתנות בעקבות ירידה נוספת של מפלס הים באגן הצפוני ובעקבות האצת זרימת המים באקוויפרים בתת הקרקע של הבריכות.