



אגף איכות מים



האוניברסיטה העברית בירושלים



אוניברסיטת בן גוריון בנגב

זיהום מי תהום והתווך הלא רווי באזור רמת השרון

איתור מקורות ופרוס המזהמים בתת הקרקע ובמי התהום במרחב
רמת השרון

דו"ח מסכם

כרך III

מוגש ע"י

מחברים: אילון אדר, רונית נתיב ז"ל, זאב רונן, עופר דהן, נעם ויסברוד, אלכס יקירביץ, רוני כשר, ענת ברנשטיין, הראל גל, מיכאל קוזניצוב, שרון שגיא

יועצים: אריה איסר – הידרוגאולוגיה
יגאל אראל - איזוטופים

רפרנט ומנחה מטעם רשות המים: שרה אלחנני

יולי 2008

דו"ח מעודכן - אוגוסט 2009

"ועדה מקצועית מלווה"

לסקר

זיהום מי תהום והתווך הלא רווי באזור רמת השרון

שרה אלחנני- רשות המים (ראש הועדה)

יצחק כפולר- תה"ל (צוות הידרולוגי ומודלים)

הילה עבו- רשות המים (צוות הידרולוגי ומודלים)

אביחי חדד- רשות המים (צוות הידרולוגי ומודלים)

גיא רשף- רשות המים (צוות הידרולוגי וסקר קרקע)

אורי מינגלגרין- מכון וולקני (צוות קרקע ומים)

עמוס בנין- האוניברסיטה העברית (צוות קרקע ומים)

עמיר אשד- משרד להגנת הסביבה (צוות קרקע ומים)

עירית הן- משרד הבריאות (צוות קרקע ומים)

הסקר לווה גם באמצעות ועדת היגוי בינמשרדית בהשתתפות נציגי הגופים הבאים : רשות המים, משרד הבריאות, משרד להגנת הסביבה, משרד הפנים, מנהל מקרקעי ישראל, רמת השרון, הרצליה, תע"ש רמה"ש, אדם טבע ודין, נציגי אקדמיה וחברי הועדות המקצועיות המפורטים לעיל.

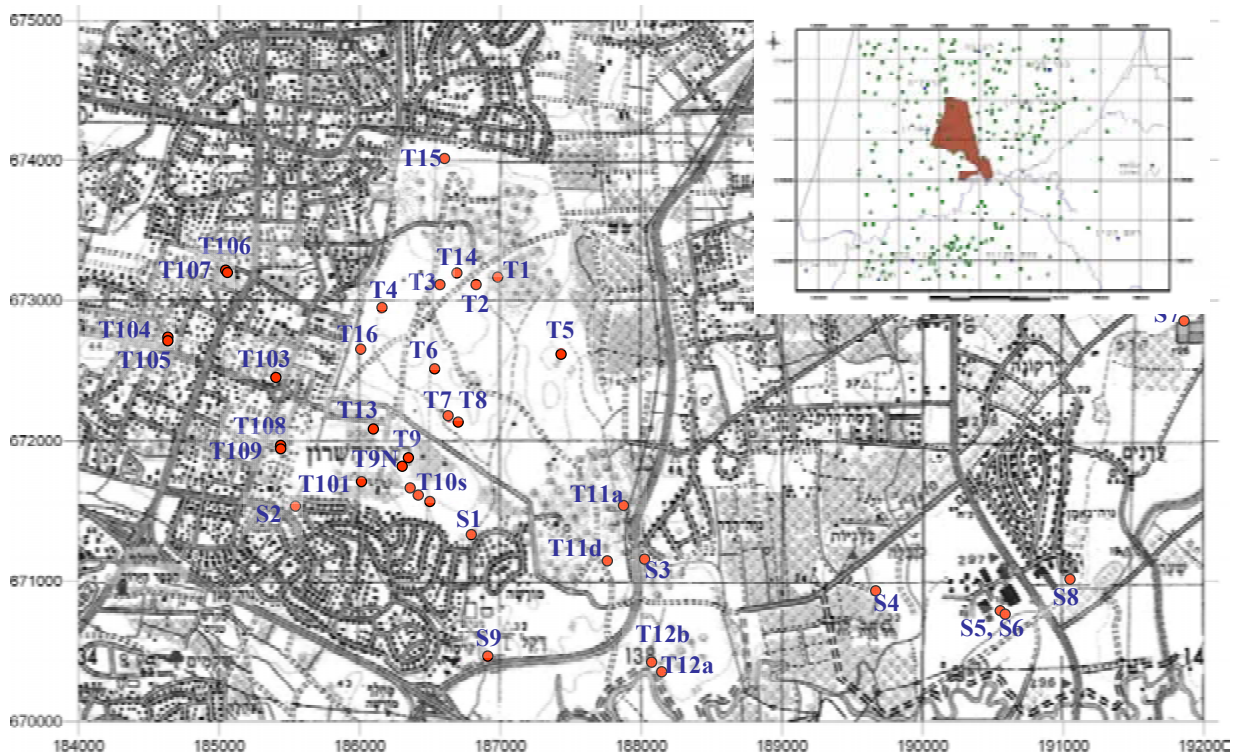
פרק 1

מודל זרימה למרחב רמת השרון

מחברים: אלכס יקירביץ, אילון אדר ומיכאל קוזניצוב

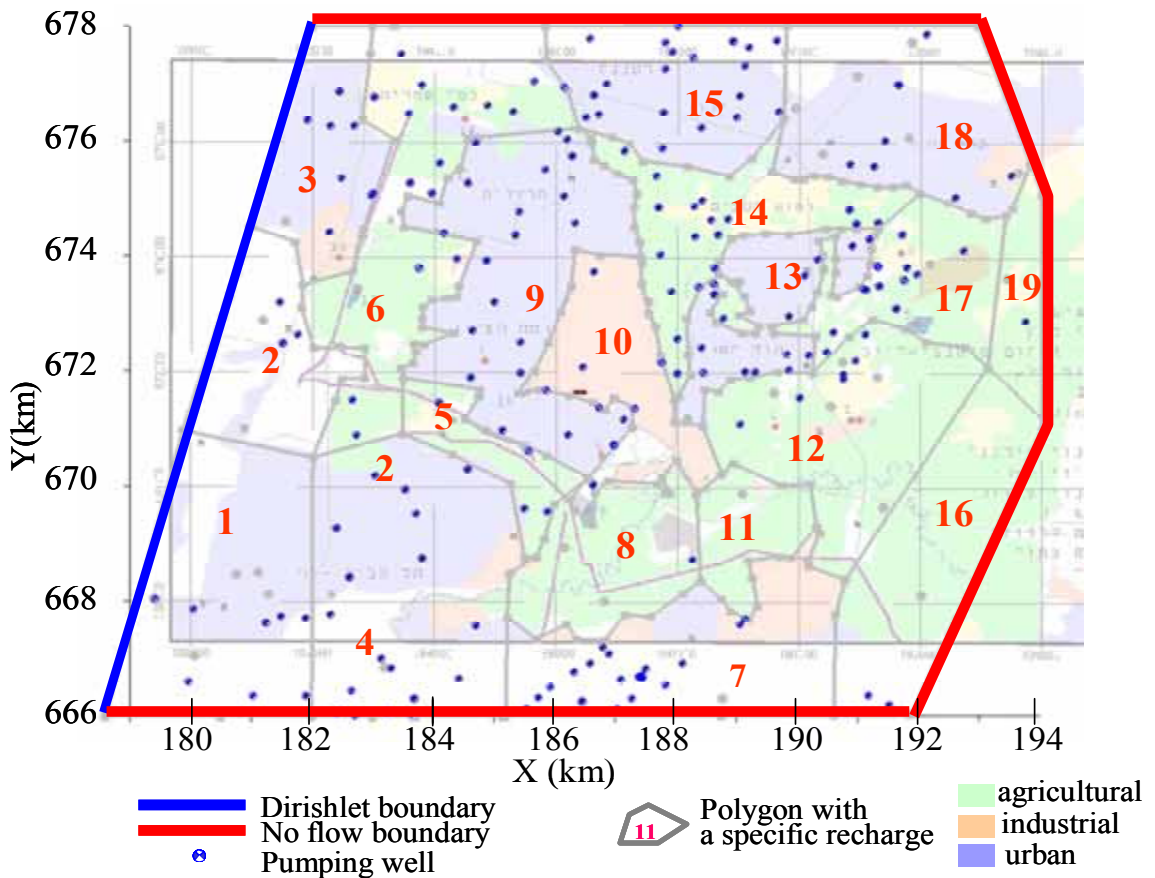
פיתוח מודל זרימה נומרי של מים ולאחר מכן (פרק 2) מודל להסעת מזהמים באקוויפר במרחב רמת השרון התבסס על תוכנת (Groundwater Modeling System) GMS 5.0 ששמה ככלי המרכזי למטרה זו. הקוד MODFLOW, חלק מחבילת ה-GMS, הוא קוד נומרי תלת-ממדי, cell-centered המבוסס על שיטת ההפרשים הסופיים (finite-difference) ומיועד לפתרון בעיות זרימה בתוך רווי. הקוד פותח עבור ה-US Geological Survey (McDonald and Harbaugh, 1988). המודל מתייחס למערכת הידרו-גיאולוגית רב שכבתית ומסוגל לקחת בחשבון את מעבר הזרימה בין השכבות השונות. לצורך בניית מודל הזרימה נעשה שימוש במידע הידרולוגי וגיאולוגי קיים המבוסס על מפות וחתכים גיאולוגיים, נתוני מפלסים היסטוריים בקידוחי שאיבה ותצפית ונתוני שאיבה היסטוריים.

מיקום שטח המודל במרחב רמת השרון ביחס למתחם התעש מוצג באיור 1.1.

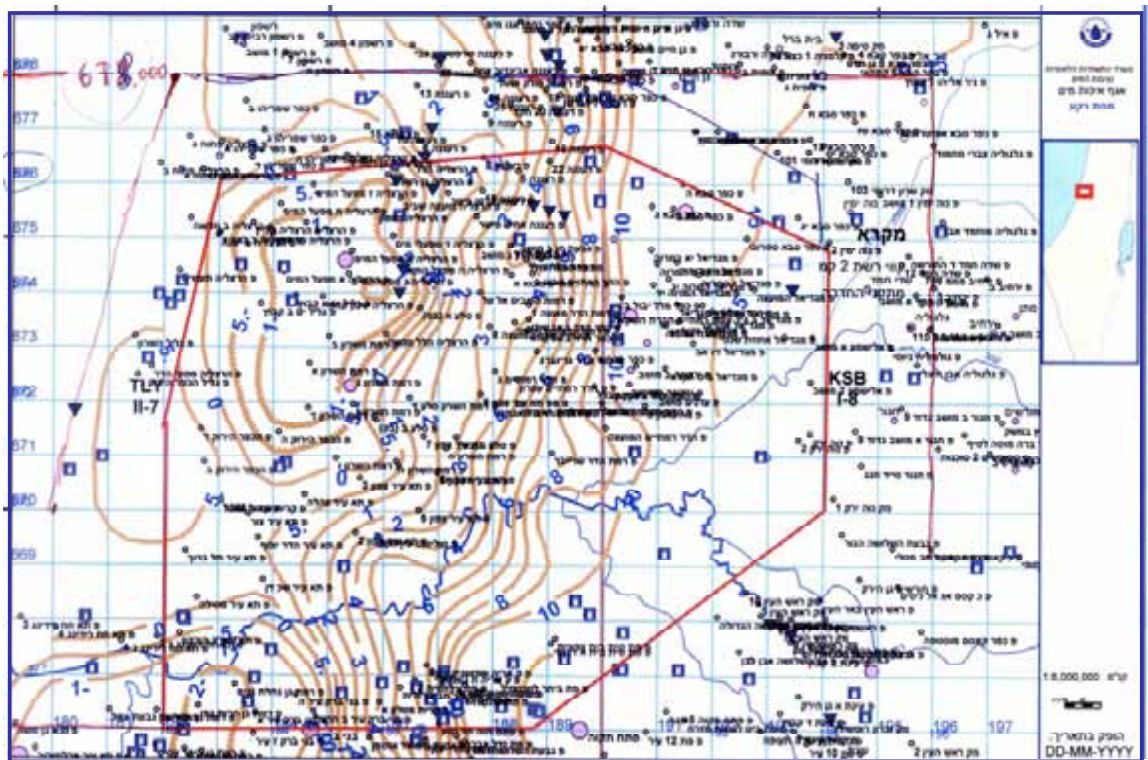


איור 1.1 מיקום וגבולות אזור הסקר ההידרולוגי ביחס למתחם התע"ש.

באיור 1.2 מוצגים גבולות המודל והגדרתם הפיזיקלית (גבולות אלו נתחמים על ידי בארות תצפית), כמו גם חלוקה לפוליגונים של שטחים על פי הערכת ערכי העשרת מי התהום מגשם מקומי. איור 1.3 מראה את תחום המודל ההידרולוגי על רקע מפלס מי התהום ב-2005. חלוקה של המודל לתאים על פי



איור 1.2: תחום וגבולות המודל ההידרולוגי על רקע שטח המחקר וקידוחי השאיבה שבו, תנאי הגבול ומצולעים שנקבעו לצורך קביעת ההעשרה האזורית לאקויפר



איור 1.3 גבולות המודל ההידרולוגי על רקע מפלס מי התהום באקויפר החוף.

הסטרטיגרפיה התלת ממדית בוצעה ברשת לא אחידה של 25,000 תאים (50, 50 ו-10 תאים בכיוונים x, y ו- z , בהתאמה). האורך האופקי של התאים (בכיוונים x ו- y , בהתאמה) הינו 260 ו-240 מ' והאורך האנכי של התאים (בכיוון z) נע בין 4 ל-16 מ', כתלות בעובי האקוויפר בנקודה. השכבה העליונה ביותר של המודל כוללת את התווך הלא רווי וכן החלק העליון ביותר של התווך הרווי, עד לגבול התחתון שנמצא כ-3 מ' מתחת למפלס מי התהום. מאפייני המסלע המרכיב את האקוויפר הוערכו בשלב ראשון עבור חמישה סוגי מסלע שונים האופייניים לאקוויפר. הפרמטרים עבורם נעשו ההערכות כללו את המוליכות ההידראולית האופקית (K_h), האנאיזוטרופיה האנכית (K_h/K_v), האגירות הסגולית (S_s), והתפוקה הסגולית (S_y).

מפות היסטוריות של אזור המחקר מראות שינויי מפלס משמעותיים בזמן, הן לאורך השנים והן לאורך עונות השנה, עובדה המחייבת סימולציות עבור תנאים של זרימה לא תמידית. סימולציות וכיול במצב של זרימה לא-תמידית מצריכים נתונים ממגוון מקורות, ביניהם נתוני שאיבות, נתוני החדרות, ערכי העשרה טבעית, נתונים על מקורות מים עיליים (נחלים) ומפלסים בקידוחי תצפית.

בניית מודל למצב לא תמידי מצריכה בדרך כלל כמות מרובה של נתונים ממקורות רבים, ביניהם פירוס בזמן של נתוני שאיבות, נתוני העשרה טבעית ומפלסים בקידוחי תצפית. נתוני הקלט כללו את שם הקידוח, הקואורדינטות של מיקום הקידוח, ומיקום המסננת. קובץ נוסף כלל את ספיקות השאיבה או נתוני המפלסים בזמן נתון. סך הכל הוזנו למודל נתונים מ-347 קידוחים: 284 קידוחי שאיבה ועוד-63 קידוחי תצפית.

לא כל הקידוחים שעבורם יש נתוני מפלס שמשו לכיול המודל. המפלסים המדודים בקידוחי השאיבה לא יכלו לשמש לצורך תהליך הכיול בשל הקפיצות החדות במפלסים עם התחלת או סיום השאיבה וכן בשל הדיוק הנמוך בסימולציה של המפלסים בקידוח תצפית שבקרבת קידוחי הפקה פעילים. הסתבר גם שהמידע הזמין על קידוחים רבים היה לא מדויק או שלא כיסה את תקופת הסימולציות כולה. לפיכך, לצורך השוואה בין מפלסים מדודים ומחושבים נבחרו רק 16 קידוחי תצפית לשמש בתהליך הכיול לקביעת הפרמטרים ההידראוליים. 5705 נתוני מפלס של 16 קידוחי תצפית שימשו לכיול המודל לתקופה 1975-1980.

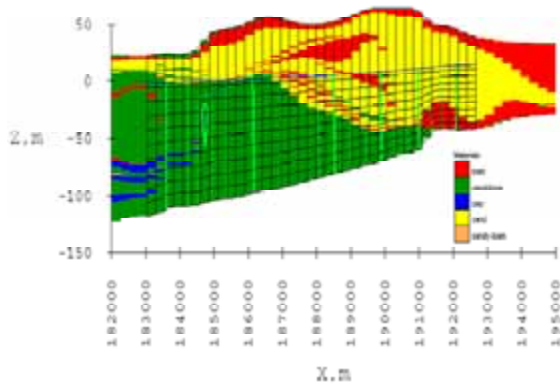
1.1 הגדרת המבנה הידרוגאולוגי של אקוויפר החוף במרחב רמת השרון

הצבת הסטרטיגרפיה

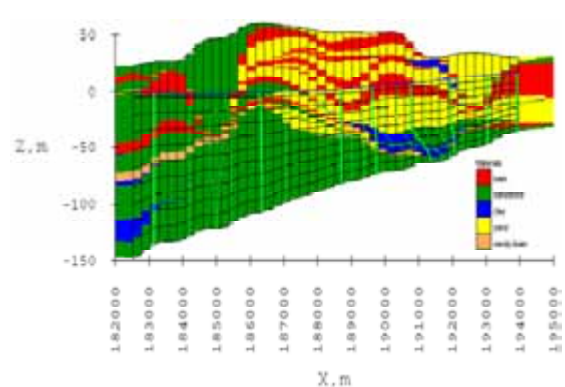
הסטרטיגרפיה של אקוויפר החוף במרחב רמת השרון ששמשה בסיס למודל הזרימה מבוססת על שבעה חתכים גיאולוגיים של שכנאי מ-1974 (אקר, 1999) שהמרחק ביניהם הוא כ-2 ק"מ. החתכים הוצמדו לטופוגרפיה של פני השטח, וכשכך נקבע המיקום המדויק של תחתית האקוויפר ומיקום שכבות המסלע שבתווך. לצורך המודל הוגדרו חמש יחידות ליתולוגיות מרכזיות המרכיבות את הסדימנטים שמעל לתחתית האקוויפר בשטח העבודה והן כוללות חול, כורכר, חמרה, חמרה-חולית וחרסית. הגבולות בין היחידות הסטרטיגרפיות שורטטו במידה מסוימת של הפשטה על בסיס החתכים הליתולוגיים שהתקבלו מכל מגוון הקידוחים באזור. חתכים לדוגמה של המודל ההידרוגאולוגי הכוללים חלוקה לתאים הידרולוגיים ואת הפרוס של חמשת הליתולוגיות המייצגות באקוויפר בכיוונים מזרח-מערב מוצגים באיור 1.4. השלד ההידרוגאולוגי המרחבי עליו מבוסס המודל הנומרי מוצג באיור 1.5. מידע זה שימש כקלט למודל HUF

(Hydrogeologic Unit Flow) של חבילת ה- GMS כפי שפורט דו"ח השנתי 2004 (נתיב ואדר, 2004 ; פרק 6, שרטוטים 13, 15 ו- 16).

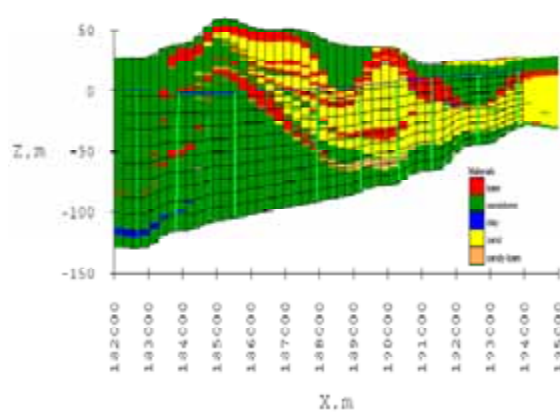
Cross-section of modeling domain at Y=676000 m



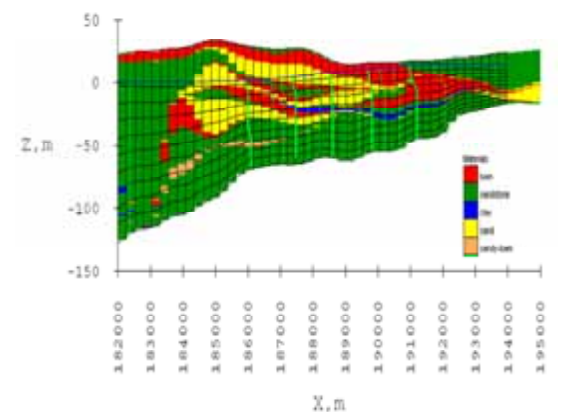
Cross-section of modeling domain at Y=674000 m



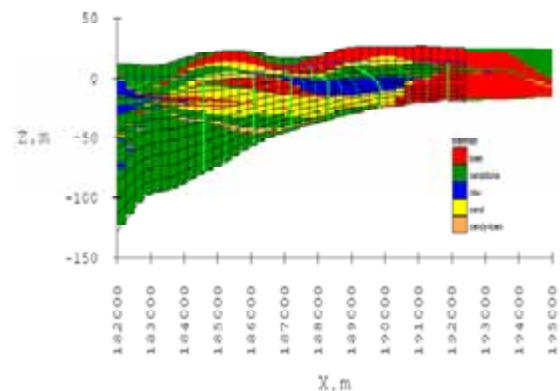
Cross-section of modeling domain at Y=672000 m



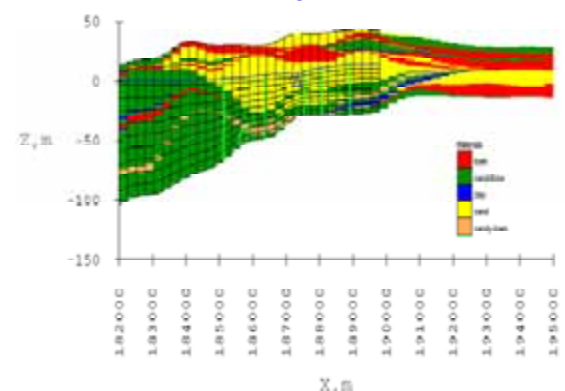
Cross-section of modeling domain at Y=670000 m



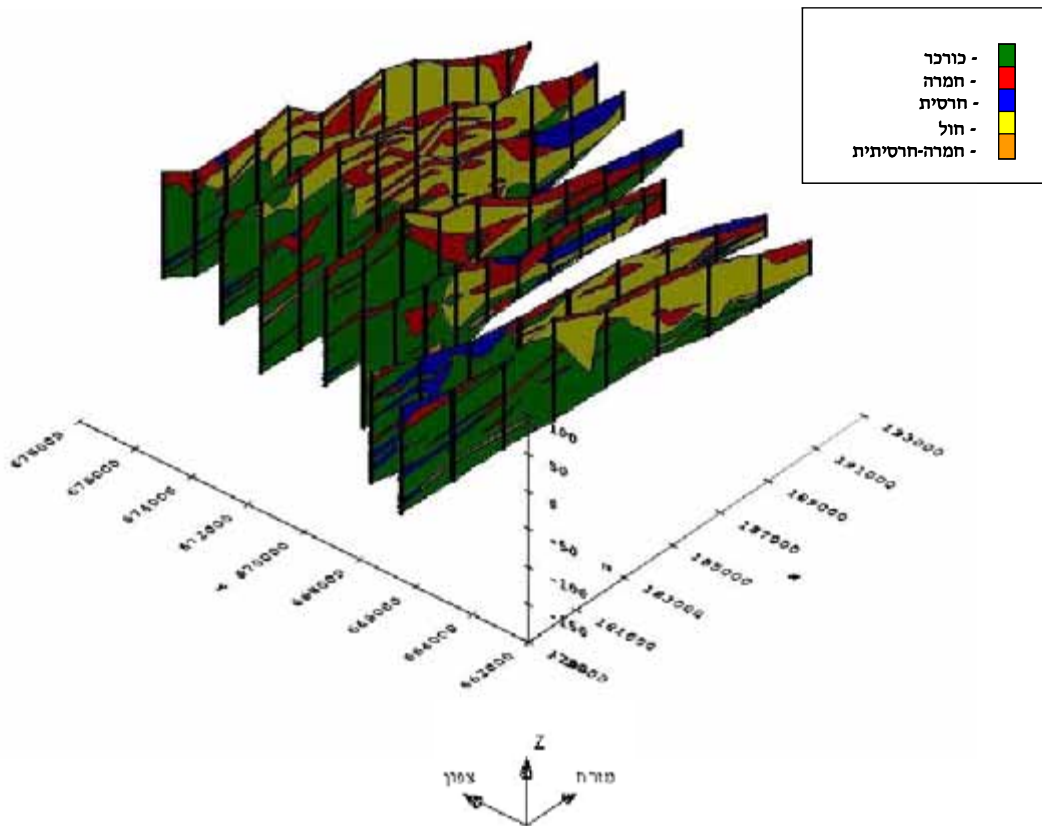
Cross-section of modeling domain at Y=668000 m



Cross-section of modeling domain at Y=666000 m



איור 1.4 חתכים הידרוגאולוגיים הכוללים חלוקה לתאים הידרולוגיים ואת הפרוס של חמשת הליתולוגיות המייצגות באקופר בכיוונים מזרח-מערב.



איור 1.5 חתכים הידרוגאולוגיים של האקוויפר במרחב רמת השרון

1.2 בניה וכיול מודל זרימה לזרימה לא תמידית במרחב רמת השרון

כיול מודל זרימה למרחב רמת השרון כלל את השלבים הבאים:

- פתרון הבעיה ההפוכה (inverse problem) להערכת הפרמטרים ההידראוליים הנ"ל ואת ההעשרה השנתית הממוצעת (על תחום המחקר כולו). פתרון זה התבסס על נתוני העומד ההידראולי של הקידוחים באזור המחקר בשנים 1975-1980.
- פתרון הבעיה ההפוכה להערכת הפרוס המרחבי של ההעשרה הטבעית השנתית על פני מרחב המחקר, בהסתמך על נתוני עומד הידראולי שנמדדו בשנים 1980-1990.
- פתרון הבעיה ההפוכה להערכת התנאים והשטף בגבולות המזרחי והמערבי של שטח המחקר, בהסתמך על נתוני עומד הידראולי שנמדדו בשנים 1980-1990.
- פתרון ישיר (direct solution) להערכת טיב הפרמטרים שהתקבלו תוך פתרון הבעיה ההפוכה (סעיף 1) בהסתמך על נתוני העומד ההידראולי שנמדדו בשנים 1980-2000.

1.2.1 הגדרת הפרמטרים ההידראוליים

הפרמטרים ההידראוליים של חמשת סוגי המסלע וכן ההעשרה השנתית הממוצעת (על תחום המחקר כולו) הוערכו בעזרת פתרון הבעיה ההפוכה (inverse problem) באמצעות PEST (Parameter Estimation Process של MODFLOW-2000), תוך שימוש בפרוס העומד ההידראולי של הקידוחים

באזור המחקר בשנים 1975-1980. תקופה זו נבחרה משום שעבור תקופה זו קיים אוסף נתונים של ומהימן של מפלסי מי תהום. לא אותרו נתונים מדויקים של הספיקות ונפחי השאיבות לפני שנת 1974. תנאי גבול Dirichlet (עומד משתנה בזמן) הוגדר במיקום של כל אחד מקידוחי התצפית. בין הקידוחים בוצעה אינטרפולציה ליניארית של נתוני המפלסים לקבלת פירוס המפלסים בזמן לאורך גבולות המודל. הפרוס ההתחלתי של המפלסים בשנת 1975 חושב על ידי אינטרפולציה ליניארית על בסיס כל קידוחי התצפית.

בתהליך הכיול שונו ערכי הפרמטרים של המודל עד למצב שבו תוצאות המודל הממוחשב תאמו לתצפיות בשטח (מפלסים מחושבים ומדודים, בהתאמה). אומדני הפרמטרים ההידראוליים לשטח המחקר שנבעו מתוך תהליך הכיול כולו מוצגים בטבלה 1. ניתן לראות בטבלה זו כי קיימת התאמה טובה בין מפלסי המים הנצפים ובין תוצאות המודל: סטיית התקן לא היתה גבוהה מ- 0.45 מ'. כמו כן, לאומדני הפרמטרים של רוב סוגי המסלע היו ערכים סבירים. הרגישות היחסית (S_{rj}) חושבה לכל פרמטר, b_j , באופן הבא:

$$s_{rj} = b_j \left[\sum_{k=1}^{N_d} \left(\frac{\partial y_k}{\partial b_j} \right)^2 / N_d \right]^{1/2} \quad (1)$$

כאשר y_k הינו ערך מחושב של הפונקציה (במקרה זה, עומד הידראולי) בנקודת התצפית k ו- N_d הוא מספר נקודות התצפית.

טבלה 1.1: הערכת הפרמטרים ההידראוליים לסוגי המסלע השונים המרכיבים את האקוויפר

Material	Parameter	Unit	Value	Relative sensitivity	95% confid. interval
Loam	Horizontal conductivity (K_h)	m/day	0.97	2.40E-05	0.63
	Specific storage (S_s)	1/m	6.27E-06	1.48E-05	1.91E-04
	Specific yield (S_y)	-	2.00E-02	3.86E-04	1.32E-02
	Vertical anisotropy (K_h/K_v)	-	6.5	3.08E-04	-
Sandstone	Horizontal conductivity (K_h)	m/day	10.7	2.02E-02	0.14
	Specific storage (S_s)	1/m	2.45E-05	3.44E-05	3.1E-4
	Specific yield (S_y)	-	0.227	2.15E-03	3.38E-2
	Vertical anisotropy (K_h/K_v)	-	8.8	9.01E-05	-
Clay	Horizontal conductivity (K_h)	m/day	1.61E-03	4.23E-03	-
	Specific storage (S_s)	1/m	5.29E-06	2.28E-04	3.3E-7
	Specific yield (S_y)	-	3.00E-02	5.24E-05	0.10
	Vertical anisotropy (K_h/K_v)	-	0.32	5.85E-04	-
Sand	Horizontal conductivity (K_h)	m/day	10.1	1.22E-02	0.67
	Specific storage (S_s)	1/m	5.17E-05	2.32E-05	9.41E-4
	Specific yield (S_y)	-	0.275	3.31E-03	3.31E-2
	Vertical anisotropy (K_h/K_v)	-	-	-	-
	Groundwater recharge	m/day	5.20E-04	2.05E-02	-

אינטרוול מובהקות של 95% חושב עבור כל פרמטר. עם זאת, עבור חלק מהפרמטרים אינטרוול זה היה גדול מאד ולכן היה חסר משמעות מבחינה פסיקלית (ולכן אינו מוצג בטבלה 1), דבר המעיד על מחסור בנתונים לכיול הפרמטר המסוים.

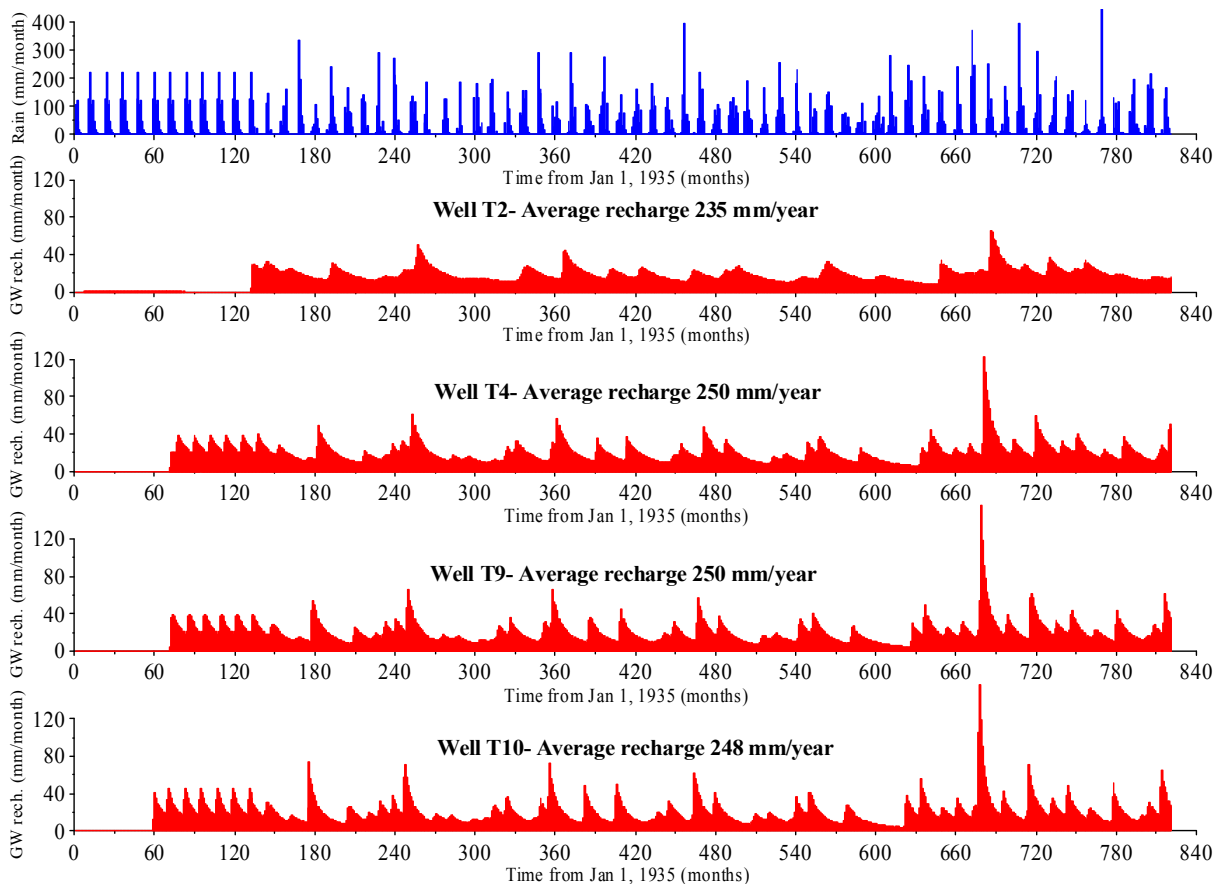
1.2.2 הערכת התפלגות ההעשרה הטבעית לאקויפר

העשרה טבעית הינו מרכיב חשוב במאזן המים המשפיע על מפלסי מי התהום והזרימה, ותלוי במשתנים רבים, ביניהם פרוס הגשם, הנגר, אידוי, טרנספירציה, עודפי השקיה, דליפות אל מי התהום ממערכות הולכה עירוניות, חקלאיות או תעשיות, פרמטרים הידראוליים של התווך, עובי התווך הלא רווי ועוד. ניתן להעריך את ההעשרה של מי התהום באופנים שונים, כתלות בסוג הנתונים הקיימים. לדוגמה: אם ידועים הפרמטרים ההידראוליים של התווך הלא רווי ומאזן המים בפני השטח, ניתן לחשב את שטף החלחול בכל נקודת עומק כתלות בזמן בעזרת משוואת Richard בנקודה מסוימת (המייצגת שטח מסוים). מאחר ולא הצלחנו לבצע עקומי תאחיזה מהימנים ולחשב מוליכויות הידראוליות של התווך הלא רווי, נעשה שימוש בנתונים סינתטיים מהספרות לצורך סימולציה של ההעשרה הטבעית. הסימולציות נעשו במטרה להעריך את השפעת הפרמטרים על החלחול ועל זמן התנועה של סמן לאורך התווך הלא רווי. משוואת Van-Genuchten-Mualem שימשה לצורך הסימולציה, תוך שימוש בפרמטרים מן הספרות עבור חול, כורכר, חמרה וחרסית. נתונים חודשיים הכוללים את פרוס הגשם בשנים 1945-1970, נגר לאורך האפיקים (שהוערך כ- 5% מסך סופת הגשם) ואופוטורנספירציה פוטנציאלית שימשו לתיאור תנאי הגבול בפני השטח. דוגמה לתוצאות הסימולציות שבוצעו עבור ארבעה פרופילים של קידוחים שנקדחו במתחם תע"ש (T-2, T-4, T-9, T-10) מוצגת באיור 1.6 (שרטוט 73 בדו"ח השנתי ל 2005; אדר ונתיב, 2005). בכל הקידוחים האלה התווך הלא רווי עבה למדי (מפלס מי התהום נמצא בעומק של 48-50 מ', כמו במרכז אזור העבודה). נמצא כי העשרת מי התהום וזמן התנועה לאורך התווך הלא רווי רגישים מאוד למוליכות ההידראולית הלא רוויה. ההעשרה השנתית הממוצעת דרך תווך חולי מגוון לאורך של כ 50 מטרים נאמדה בכ- 250 מ"מ וזמן ההשוות הממוצע של מים בקרקע הינו בקירוב 5 שנים. לעומת כ- 2 מ' בשנה שהעריכו Gvirtzman וחובריו (1986) תוך שימוש בסמן קונסרבטיבי בשכבות החוליות של התווך הלא רווי באקויפר החוף (כלומר, הזמן הממוצע לתנועה בתווך לא רווי שעוביו 50 מטר יהיה כ- 25 שנים). הרצות המודל מראות כי ע"י הפחתת המוליכות ההידראולית בתכולות רטיבות נמוכות (כאשר המוליכות ההידראולית ברוויה נותרת ללא שינוי) ניתן לקבל העשרה שנתית של כ- 150 מ"מ וזמן תנועה ממוצע של כ- 30 שנה. דוגמה זו ממחישה כיצד זמן התנועה רגיש בהרבה מערך ההעשרה למוליכות ההידראולית בשל התלות הלא ליניארית בין המוליכות ההידראולית לתכולת הרטיבות.

התפלגות ההעשרה המחושבת לאורך הזמן שימשו לסימולציות של מודל הזרימה, במטרה להעריך את השפעת ההשתנות בזמן של ההעשרה על התנודות במפלסי מי התהום. מסימולציות אלה עולה כי עבור אזורים בהם מפלס מי התהום עמוק (20-50 מ' מתחת לפני השטח) ההשפעה של התפלגות ההעשרה הטבעית בזמן נמוכה והפרמטר העיקרי המשפיע על התנודות במפלסי מי התהום בקידוחים אלה הינו השאיבות. לעומת זאת, כאשר מי התהום רדודים (בעומק של 5 עד 14 מ' מפני השטח) להתפלגות ההעשרה הטבעית בזמן עשויה להיות השפעה רבה של על מפלסי מי התהום. יש לשים לב לכך שהסימולציות בוצעו תוך הנחה שאין נתיבי זרימה מועדפים ואין אירועי גשם קיצוניים (בדומה לאלו של

חורף 1991/1992). למעשה, קיומן של שתי תופעות אלו יכול להגביר את השפעות כמויות הגשם והתפלגותן בזמן על תגובת המפלס של מי התהום.

לאור המגבלה של חסר בנתונים מדויקים להערכת ההשתנות בזמן ובמרחב של העשרת מי התהום, כויל הערך השנתי הממוצע של פרמטר זה כפונקציה של כמות המשקעים השנתית על ידי פתרון הבעיה ההפוכה של מודל הזרימה לשנים 1975-1990. במקביל, הוערכה מחדש התפוקה הסגולית (S_y) כפרמטר הרגיש ביותר במודל, יחד עם ההעשרה הטבעית. תנאי Dirichlet של עומד משתנה בזמן הוגדרו עבור הגבול עליון (פני המים) לכל מרחב המודל מתוך נתוני המפלס בקידוחי התצפית מתוך נתוני המפלס בקידוחי התצפית. שטח המודל חולק ל-13 מצולעים על מנת לקחת בחשבון את השפעת שימושי הקרקע השונים (שטח עירוני, תעשייתי וחקלאי) ולאפשר התחשבות בעובי המשתנה של מי התהום באזור העבודה. מספר המצולעים ומיקומם נקבעו בתהליך של ניסוי וטעייה. 18,265 תצפיות של מפלס מי התהום ב-16 קידוחי התצפית במהלך השנים 1975-1990 שימשו להערכת ההעשרה הטבעית (בעזרת least square optimization בקוד PEST).



איור 1.6 התפלגות כמויות הגשם ותוצאת הסימולציות הסינתטיות לחישוב ההעשרה הטבעית של מי התהום בכמה חתכי קידוחים.

כדי לקחת בחשבון את התפלגות הגשם השנתית (ולא את הממוצע השנתי של הגשם, כפי שתואר קודם), חושבה ההעשרה של כל מצולע k בשנה j באופן הבא:

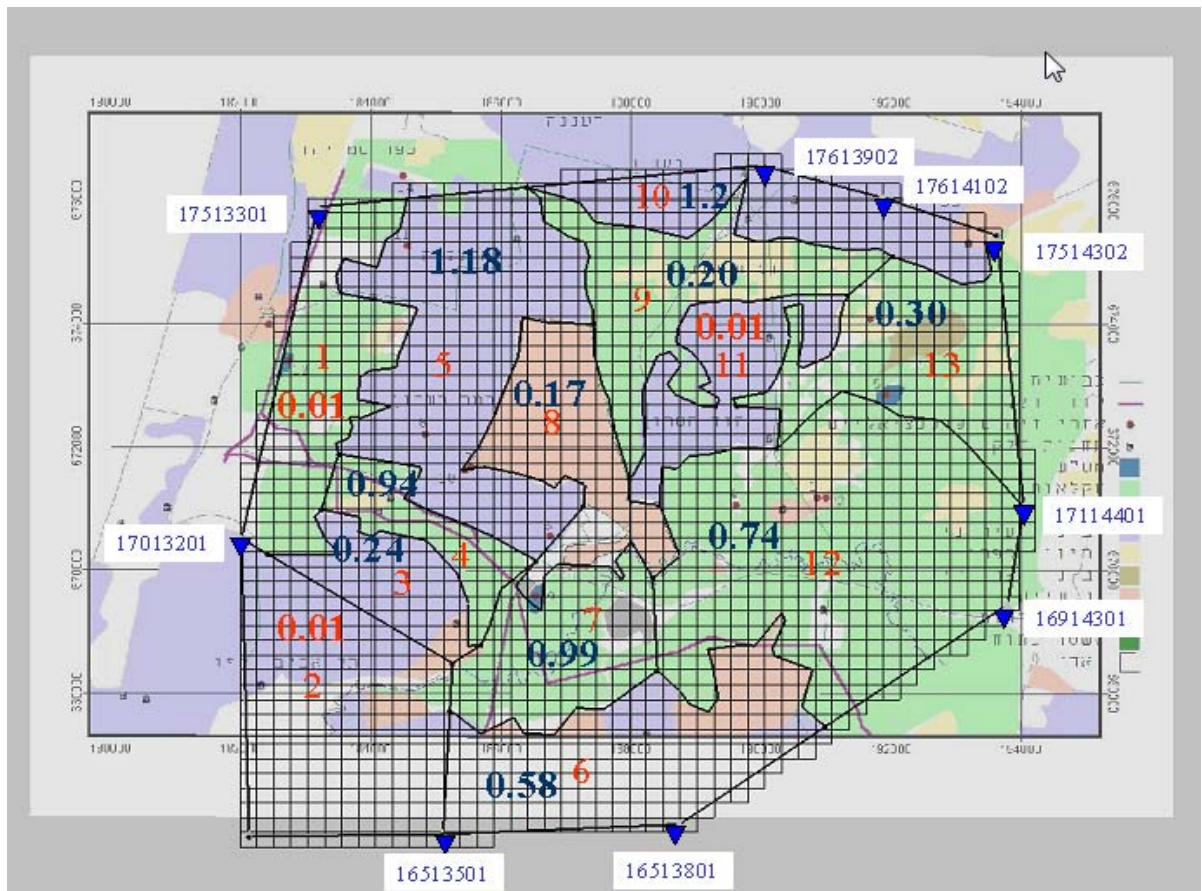
$$Rc_k^j = \beta_k Rn^j + \overline{Rc_k} \quad (2)$$

כאשר Rc_k^j הוא ערך ההעשרה (מ"מ/יום), Rn^j הוא עוצמת הגשם הממוצעת (מ"מ/יום), β_k הוא יחס ההעשרה ו \overline{Rc}_k הוא מקדם העשרה כולל, הלוּקח בחשבון מקורות העשרה נוספים לגשם (מ"מ/יום).

באופן זה, נמצאו הפרמטרים β_k ו \overline{Rc}_k (טבלה 2). ברוב השטח ההעשרה הממוצעת המחושבת נעה בתחום שבין 0.35-1.2 מ"מ ליום. ערכים גבוהים יותר מאפיינים אזורים חקלאיים ועירוניים. לעומתם, עבור שני מצולעים (7 ו-10) התקבלה העשרה כמעט אפסית. חסר בנתוני שאיבה מדויקים יכול להוות את אחת להסביר את התוצאה. ערכי ההעשרה הטבעית לכל פוליגון מוצגים על רקע מפת תכסית ושימושי קרקע באיור 1.7. ההעשרה הטבעית השנתית הממוצעת שהתקבלה במודל הינה 0.52 מ"מ/יום. יש לציין כי סטיית התקן שהתקבלה עבור הסימולציות האלה בין העומד ההידראולי המחושב לבין העומד ההידראולי הנמדד ב-16 קידוחי התצפית בשטח היתה 0.59 מ' לכלל התקופה של 1975-1990.

טבלה 1.2: הערכת ההעשרה של מי התהום (מ"מ/יום) במצולעים השונים (המופיעים באיור 1.2)

Polygon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
β_k	0.005	0.15	0.32	0.19	0.28	0.41	0.007	0.4	0.42	0.003	0.13	0.26	0.08
\overline{Rc}_k	0.008	0.21	0.46	0.28	0.41	0.59	0.01	0.58	0.6	0.005	0.19	0.38	0.12



איור 1.7 ערכי העשרה טבעית מחושבים מתוך פרוס משקעים ומפלס מי התהום

1.2.3 תנאי הגבול – הגדרת השטפים והעומד ההידראולי לאורך גבולות המודל

בשלב הראשוני לעיצוב המודל כל הסימולציות בוצעו עם עומד הידראולי משתנה (תנאי גבול Dirichlet), לאורך כל גבולות המודל. בחינת העומדים בגבולות הראתה כי ערכיהם משתנים במידה משמעותית לאורך התקופה בשל מערך השאיבות מהאקופר. הצמדות לתנאי גבול Dirichlet לאורך כל הגבולות מציבה קשיים לחיזוי עתידי מאחר וקיים קושי רב למצוא מגמה עתידית בהשתנות ערכי העומד על הגבולות. לפיכך, נשקלה האפשרות להחליף היכן שאפשר לתנאי גבול עם עומד או שטף קבועים. כיוון שמפות המפלסים לאורך התקופה והסימולציות שכבר בוצעו הצביעו על כיוון זרימה דומיננטי ממזרח למערב במקביל לגבול הדרומי והצפוני של המודל, נבחר תנאי גבול של אי זרימה (Neuman) עבור גבולות אלה. בגבול המזרחי, המערבי והדרום-מזרחי תלוי שטף המים דרך הגבול בפירוס העומד ההידראולי מחוץ לשטח המודל. לפיכך, בגבולות אלה, שונה תנאי הגבול מתנאי Dirichlet לתנאי Cauchy:

$$q_n = \Phi(H_0 - h_G) \quad (3)$$

כאשר q_n הינו השטף דרך הגבול, H_0 הינו העומד מחוץ לגבול, h_G הינו העומד בגבול ו- Φ היא ההולכה (conductance). לקביעת ערכי H_0 ו- Φ נקבעו תנאי זרימה לא תמידית לאורך גבולות המודל בשנים 1975-1990 עם צעדי זמן של 10 ימים. גבולות Cauchy חולקו ל- 5 מקטעים בגבול המערבי ו- 6 מקטעים בגבול המזרחי והדרום מזרחי (איור 1.2). לכל מקטע חושבו ערכי H_0 (שהתקבלו מאינטרפולציה לינארית), ו- Φ (קבוע) תוך שימוש ב- least square optimization (סיכום התוצאות מובאים בטבלה 3). במקביל, הותאמו הפרמטרים של ההעשרה של מי התהום לתיקון השינויים המתקבלים בשל שינוי תנאי הגבול (הערכים הסופיים מובאים בטבלה 2).

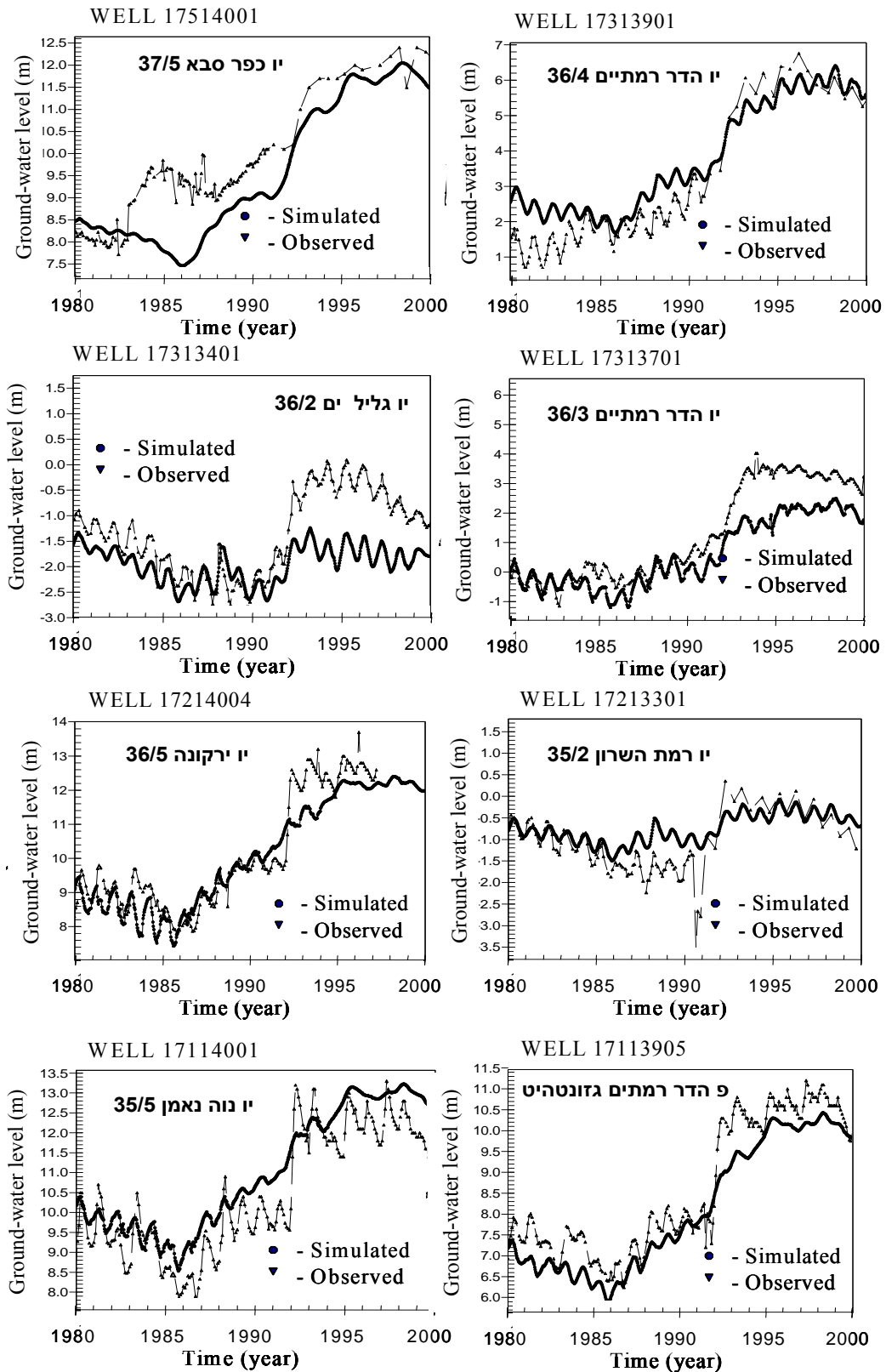
ההשפעה של החלפת תנאי גבול Dirichlet בתנאי גבול Cauchy ו- Neuman נבדקה בעזרת סימולציות של זרימה לאותו פרק זמן 1980-1990. מסימולציות הזרימה עולה כי מידת ההתאמה שבין תוצאות העומד ההידראולי המחושב ע"י המודל לכלל ערכי העומד ההידראולי המדודים במרחב פחתה, כאשר סטיית התקן עלתה מערך של 0.59 מ' לערך של 0.85 מ'. ירידה זו במידת ההתאמה ארעה בעיקר בשל העובדה שלא נלקחו בחשבון השינויים בזמן של H_0 . אולם, מדת ההתאמה במרכז שטחו של המודל (האזור בו מי התהום מוזהמים ביותר) עלתה.

טבלה 3: הערכת פרמטרים של עומד הידראולי ותולכות עבור תנאי גבול Cauchy במקטעים שונים בגבול המזרחי (E) והמערבי (W) של המודל כפי שמסומנים באיור 1.2

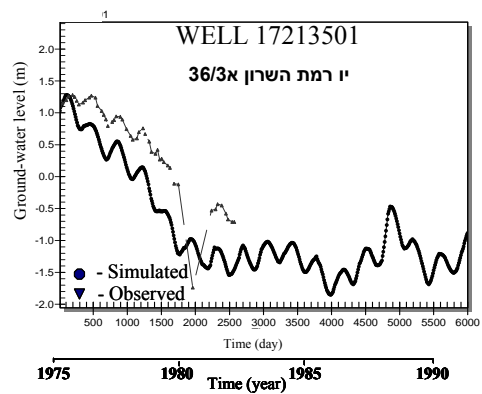
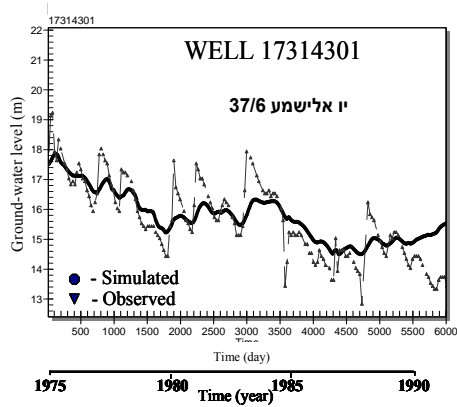
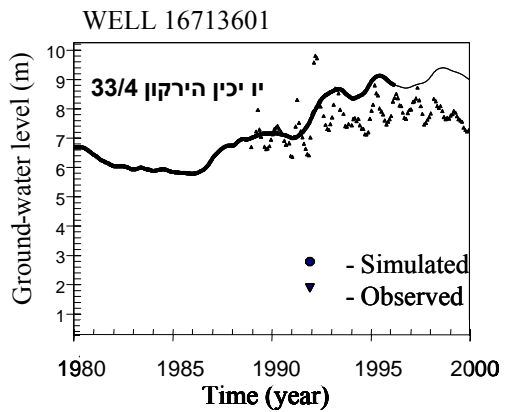
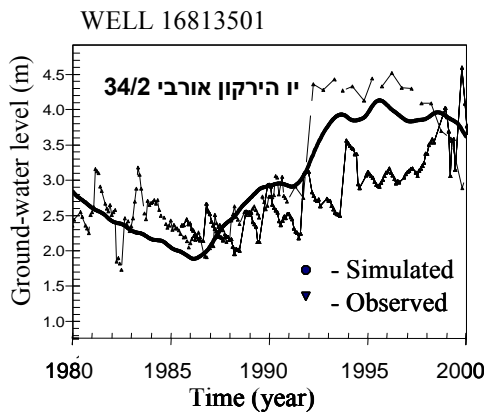
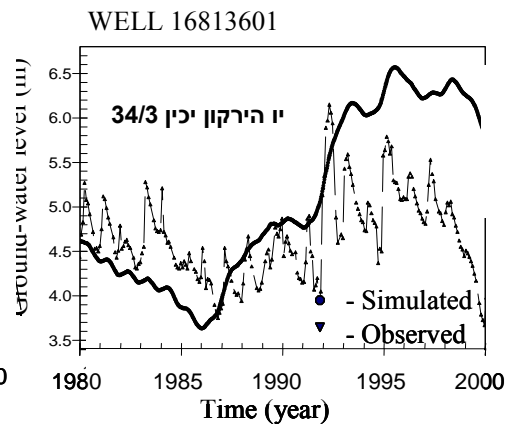
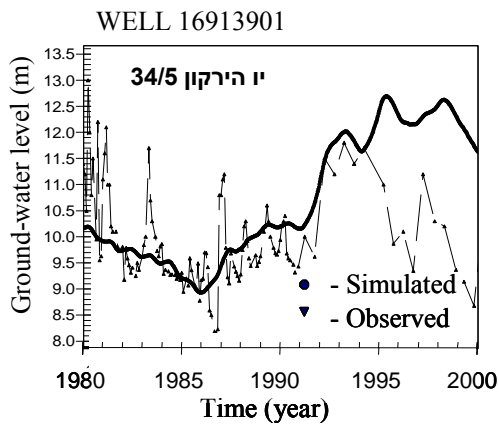
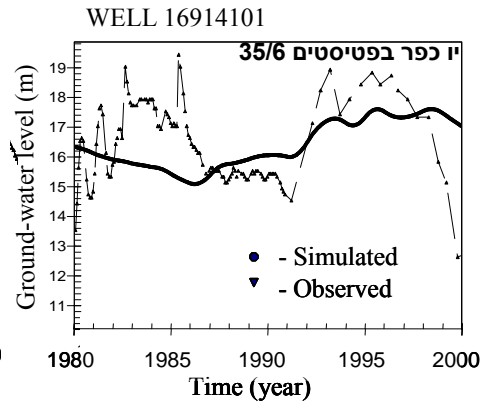
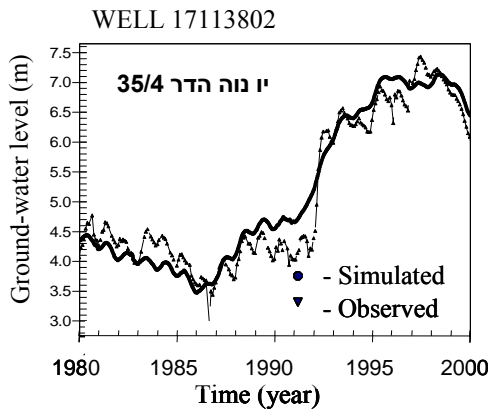
Sub-section	Head, H_0 (m)	Conductance, Φ ($m^2/m/day$)	Sub-section	Head, H_0 (m)	Conductance, Φ ($m^2/m/day$)
1E	21.4-19.0	0.018	1W	(-2.1)-0.9	0.025
2E	19.0-17.5	0.035	2W	0.9	0.021
3E	17.5-16.9	0.048	3W	0.9-1.0	0.032
4E	16.9-16.1	0.032	4W	1.0-0.3	0.032
5E	16.1-14.4	0.018	5W	0.3-(-1.9)	0.048
			6W	(-1.9)-(-1.6)	0.017

1.3 בחינת התאימות של המודל המכויל למרחב רמת השרון

לאחר איפיון הפרמטרים וכיולו של המודל לנתוני מפלס לשנים 1975-1980 (סה"כ כוילו 51 פרמטרים), נבדק טיבו של המודל המכויל באמצעות פתרון של הבעיה הישירה (direct problem) עבור הנתונים של השתנות מפלס מי התהום לתקופה של 1980-2000. התנודות של מפלסי מי תהום ב- 16 קידוחי תצפית לאורך השנים 1980-2000 מוצגות באיור 1.8. בשרטוטים אלה מוצגים גרפים של המפלסים המחושבים והמדודים. סטיית התקן שבין נתוני העומד המדודים ובין ערכי העומד המחושבים במודל גדלה עד כדי 1.3 מ' (לעומת 0.8 מ') בשל הירידה באיכות תוצאות המודל בתקופה של 1990-2000. דבר זה ארע, ככל הנראה, בשל אי הוודאות לגבי ההעשרה הטבעית שנקבעה לתקופה זו. למרות זאת הצליח המודל לשחזר את השינויים שנצפו בפועל במפלסי מי התהום ברוב הקידוחים. סטיות גבוהות יחסית התקבלו בקידוחים הממוקמים בחלק המזרחי של תחום המודל, בו מי התהום רדודים יחסית. יתכן שדבר זה נובע מכך שבמודל נעשה שימוש בערכי חדור שנתיים ולא נלקחו בחשבון שינויים עונתיים בהעשרה הטבעית. בנוסף, יתכן שההבדל נובע מכך שבמודל נעשה שימוש בנתוני שאיבות חודשיים ולא יומיים.

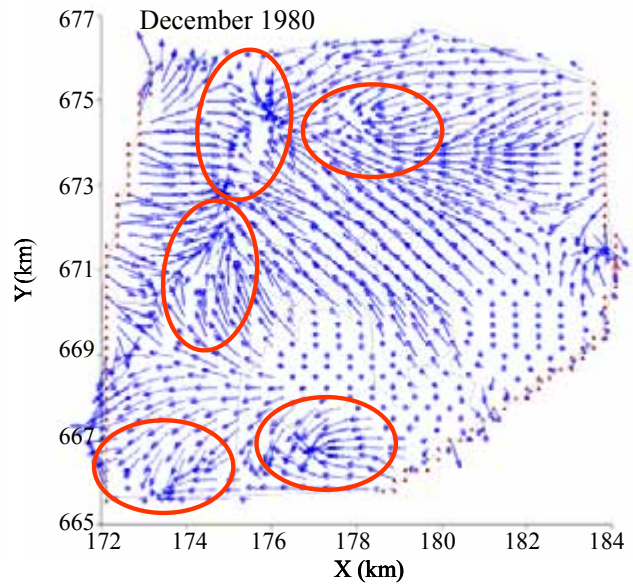
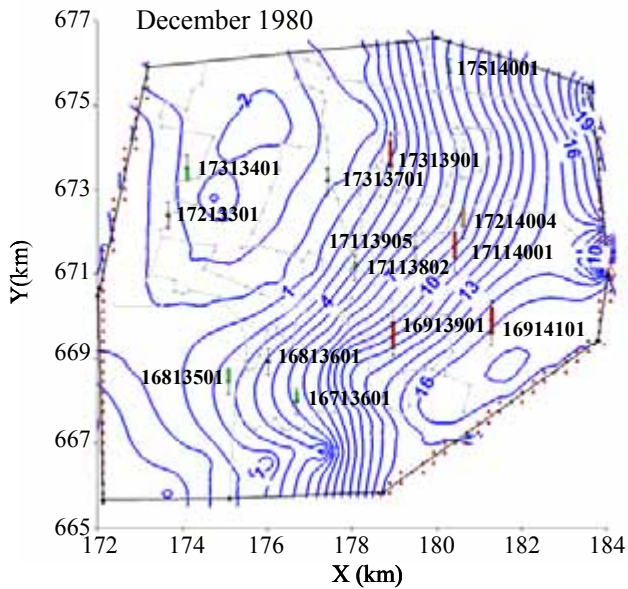


איור 1.8 מפלסי מי התהום מדודים ומחושבים מהמודל בתקופה 1980-2000

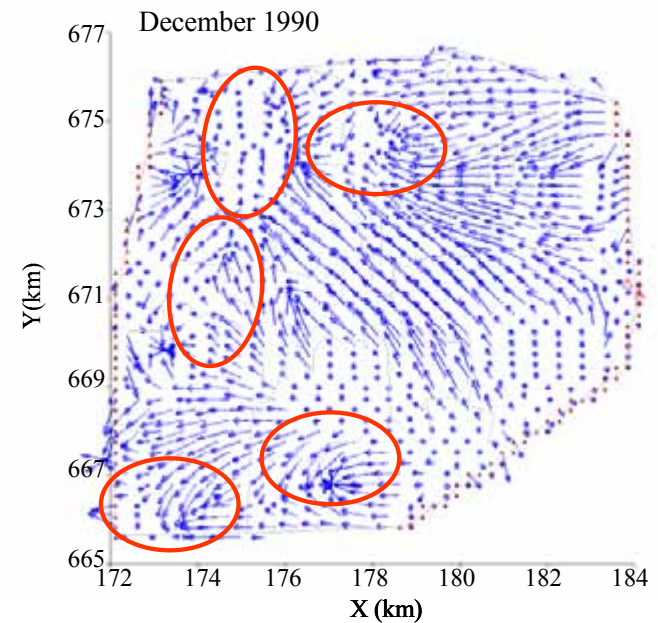
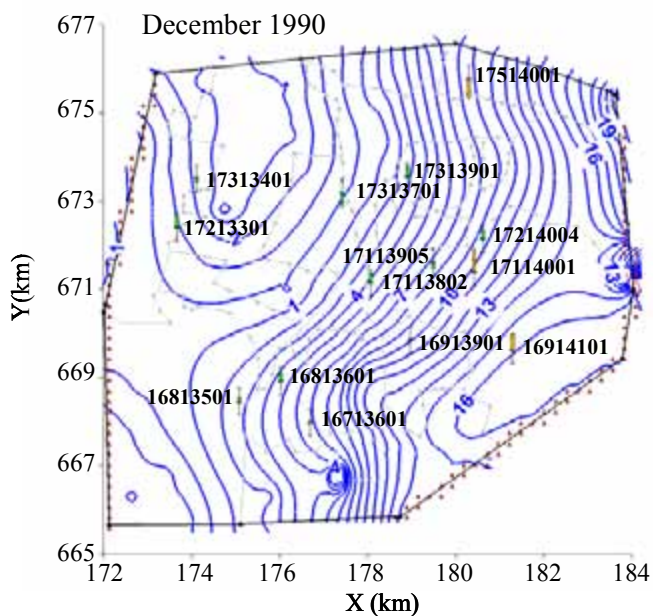


איור 1.8 (המשך) מפלסי מי התהום מדודים ומוחשבים מהמודל בתקופה 1980-2000

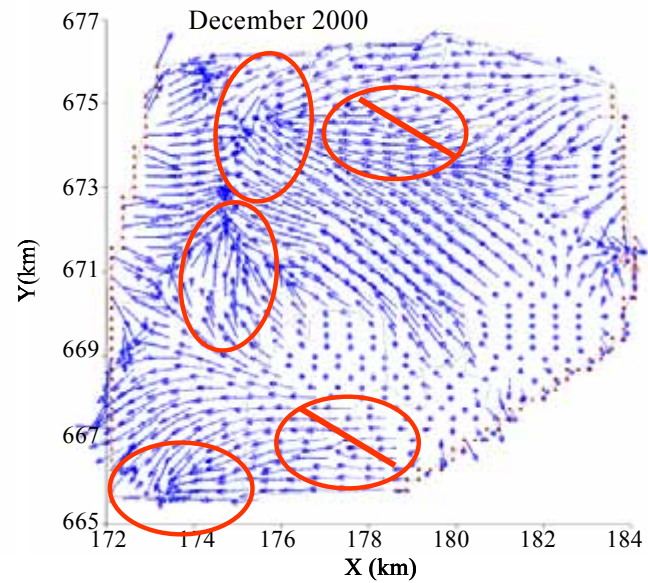
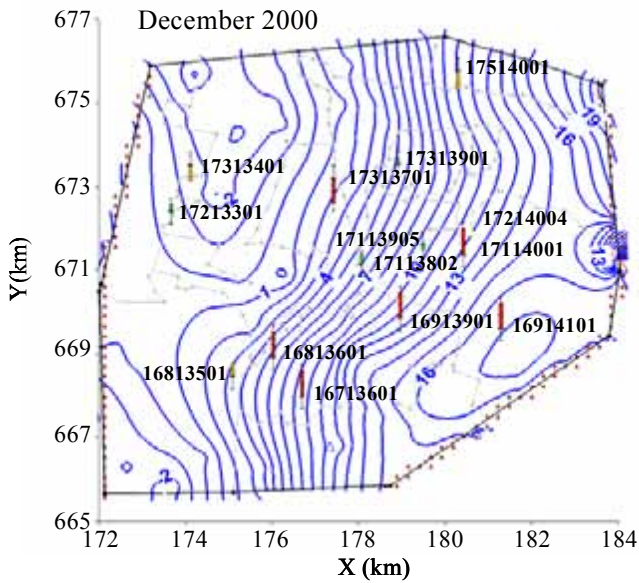
התפלגות מרחבית של מפלסי מי התהום באזור העבודה לכל עשור כפי שהתקבלו בהרצת המודל, כמו גם דגם הזרימה בחלק העליון של האקוויפר, מופיעים באיורים 1.9-1.11. יש לשים לב לכך שכיוון הזרימה של מי התהום הינו בעיקרו למערב צפון-מערב, לכיוון מכתש הידרולוגי שנוצר כתוצאה משאיבה אינטנסיבית באזור הרצליה.



איור 1.9 מפלסי מי התהום המחושבים ודגם הזרימה אל מוקדי השאיבה בחלק העליון של האקוויפר המתקבלים מהסימולציה עבור דצמבר 1980

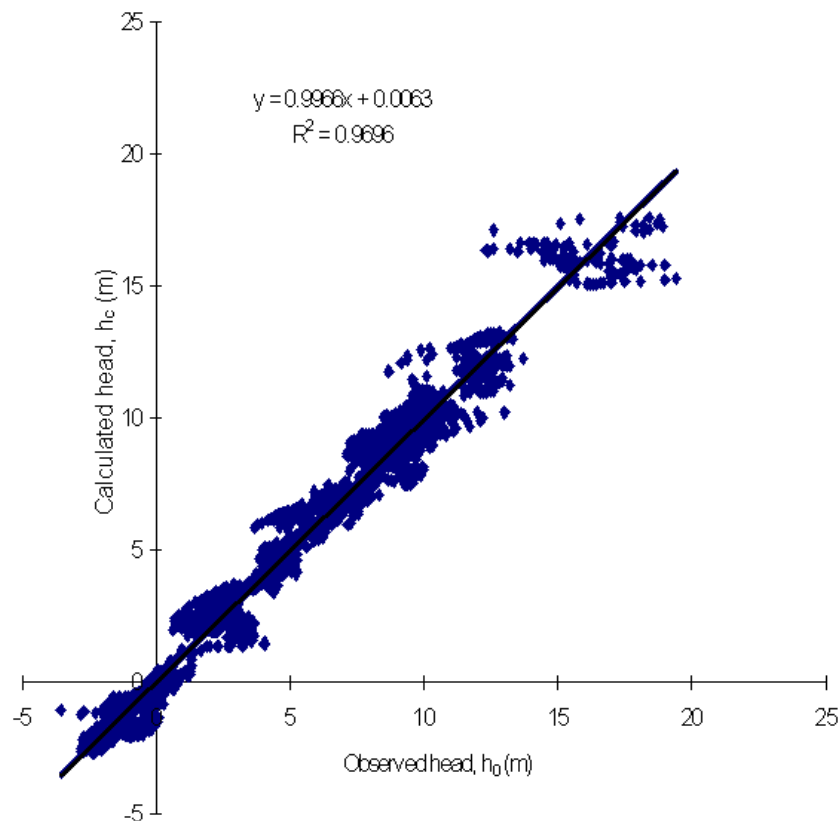


איור 1.10 מפלסי מי התהום המחושבים ודגם הזרימה אל מוקדי השאיבה בחלק העליון של האקוויפר המתקבלים מהסימולציה עבור דצמבר 1990



איור 1.11 מפלסי מי התהום המחושבים ודגם הזרימה בחלק העליון של האקוויפר המתקבלים מהסימולציה עבור דצמבר 2000

הערכה סטטיסטית לבחינת יכולות המודל נערכה במספר שיטות. איור 1.12 מציג השוואה בין הממוצע השנתי של מפלסי מי התהום המדודים והמחושבים בעזרת המודל. שרטוט זה כולל 2,734 תצפיות שנאספו מ-14 קידוחים שזהותם ומיקומם מוצגים באיורים 1.11-1.9. סטיית התקן שהתקבלה עבור ההתאמה בין הערכים המחושבים לערכים המדודים היא 0.8 מ' ומקדם ההתאמה הינו $R^2=0.97$.



איור 1.12 ערכי עומד הידראולי מחושבים כנגד ערכי עומד הידראולי מדודים

מדד ההתאמה Willmot' index of agreement (Willmott, 1981) שימש לקביעה באיזו מידה הסטיות בין המפלסים החזויים למפלסים הנצפים שסביב הערך הממוצע קרובות:

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (h_{c_i} - h_{o_i})^2}{\sum_{i=1}^N [(h_{c_i} - \bar{h}_o)^2 + (h_{o_i} - \bar{h}_o)^2]} \right\} \quad (4)$$

כאשר N הוא מספר התצפיות, h_c ו- h_o הם המפלסים המחושבים והמדודים, בהתאמה, \bar{h}_o הוא הערך הממוצע של העומד ההידראולי הנמדד. ערכו של Willmot' index נע בין 0 ל-1, כאשר 1 מציין התאמה מושלמת ו-0 מציין חוסר התאמה מוחלט. בהסתמך על תוצאות מדודות ותוצאות הסימולציות שבוצעו התקבל ערך של $d=0.985$.

קיומה של שגיאה עקבית נבדק סטטיסטית בעזרת שימוש ברגרסיה המבטאת סטיות בין ערכים נצפים וערכי סימולציה:

$$\bar{\Delta} = a_0 + a_1 \bar{h}_0 \quad (5)$$

כאשר \bar{h}_c , \bar{h}_o , $\Delta = \bar{h}_o - \bar{h}_c$, הם וקטורים של הנתונים המדודים ושל המודל בהתאמה. אם הפרמטר a_0 שונה מ-0 בצורה משמעותית, משמע קיימת שגיאה עקבית במודל. אם ערכו של a_1 שונה מ-0 משמעותית אז השגיאה המוחלטת של המודל תלויה בערכים המדודים של h_0 . בטבלה 4 מובאים הפרמטרים של משוואה (4) והמאפיינים סטטיסטיים שלהם.

טבלה 4: המקדמים של משוואה (5) והפרמטרים הסטטיסטיים שלהם

<i>Parameter</i>	Standard Error	Student's <i>t</i>	<i>t</i> _{critical}	Lower 95%	Upper 95%
a_0	0.049	1.92	1.96	-0.001	0.099
a_1	-0.042	-12.89	1.96	-0.040	-0.036

טבלה 4 מראה, ברמת מובהקות של 95%, שלמודל הזרימה אין שגיאה עקבית ממשית בהתאמה בין מפלסי מי התהום המדודים והמחושבים לאורך תקופה של 20 שנה (1980-2000). המודל הצליח לשחזר בקרוב טוב מאוד את הפרוס המרחבי של המפלסים באקוויפר החוף. לאור זאת, סביר להניח שהנגזרת של קביעת מסלולי הזרימה של מי התהום במרחב רמת השרון מייצגת גם היא את דגם הזרימות האמיתי (איורים 1.11-1.9), כשההבדלים בין הוקטורים לאורך מסלול הזרימה (קווי זרם) משקפים שינויים בספיקות, בעיקר כתלות בהבדלים ליתולוגים באקוויפר. לכן, ניתן להסיק כי מודל הזרימה שפותח נאמן למציאות ההידרולוגית וכשכך, יכול לשמש בסיס מוצק למודל ההסעה של מומסים ומוזהמים ממוקדי הזיהום שבמרחב רמת השרון.

בחינת המודל לשינוי במערך הזרימה דרך הגבול הדרומי (על בסיס מצב המפלסים הנוכחי)

בדיקת ההשערה שהגבול הדרומי הוא גבול אטום. השערה זו התבססה על תוצאות מערך הזרימה ופרוס השדה הפיזומטרי במרחב רמת השרון. הגבול הדרומי נלקח לאורכו של קו זרם ממזרח למערב שעובר במרכזם של השקעים ההידרולוגיים שנוצרו ממערך השאיבות בצפון תל אביב. אולם, בגלל הרגישות הגבוהה לאפשרות של התקדמות המזהמים לעבר מרחב תל-אביב-צפון וההשפעה של תנאי הגבול על דגם הזרימה ועל פרוס הריכוזים הצפוי, הוחלט לבחון ולנסות את המודל כך שתנאי הגבול הדרומי שנקבע כגבול אטום (תנאי גבול מסדר שני) יוסב לגבול פתוח לזרימה עם עומד משתנה במרחב כולו (ולא רק לאורך הגבול) וקבוע בזמן (תנאי גבול מסדר ראשון), כל זאת על בסיס מצב המפלסים הנוכחי. התוצאות הראו חד משמעית שגם כאשר מאפשרים תנאי גבול "חדיר" מצפון ומדרום, השדה הפיזומטרי משני עברי הגבול מכתוב מסלולי זרימה מקבילים לקו הגבול ואין מעבר מים (ומומסים) דרך מקטעי הגבול הללו. כלומר, מכל סיבה פרקטית, מדובר בגבול שאין דרכו זרימה.

1.4 תרחישים הידרולוגיים לחיזוי הפרוס המרחבי של מסלולי הזרימה במרחב רמת השרון

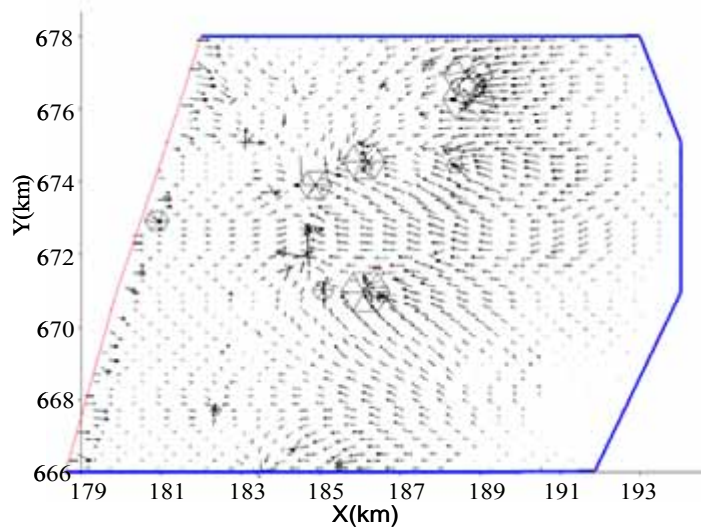
הרצות של תחזית מסלולי הזרימה באקוויפר החוף במרחב רמת השרון נערכו עבור תקופה של 26 שנים לשלושה תרחישי בסיס, כאשר ערכי העשרה ממוצעים לשנים 2001-2004 הוצבו עבור כל פולגון (טבלה 1.2; איור 1.7).

איור 1.13 מציג את דגם מסלולי הזרימה באקוויפר לתרחיש S1, כשהשאיבה מהאקוויפר במהלך השנים הבאות תמשך בשיעור דומה לזה שב-2004.

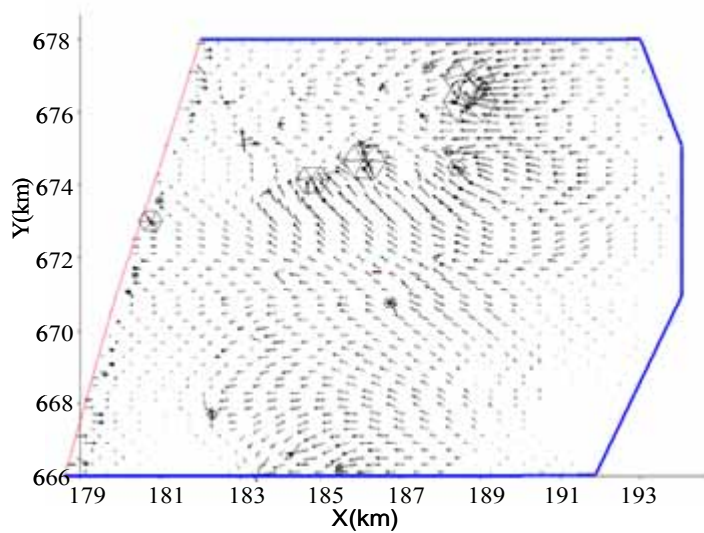
איור 1.14 מציג את דגם מסלולי הזרימה באקוויפר לתרחיש S2, כשהשאיבה מהאקוויפר במהלך השנים הבאות תמשך בשיעור דומה לזה שב-2005/6 כשמרבית קידוחי ההפקה במרחב רמת השרון ותל אביב צפון (11 קידוחים) מושבתים במהלך 26 השנים הבאות.

איור 1.15 מציג את דגם מסלולי הזרימה באקוויפר לתרחיש S3, כשהשאיבה מהאקוויפר במהלך השנים הבאות תמשך בשיעור דומה לזה שב-2005/6 כשמרבית קידוחי ההפקה במרחב רמת השרון ותל אביב צפון מושבתים, ובנוסף תופסק ההפקה גם משישה קידוחים במרחב הרצלייה במהלך 26 השנים הבאות.

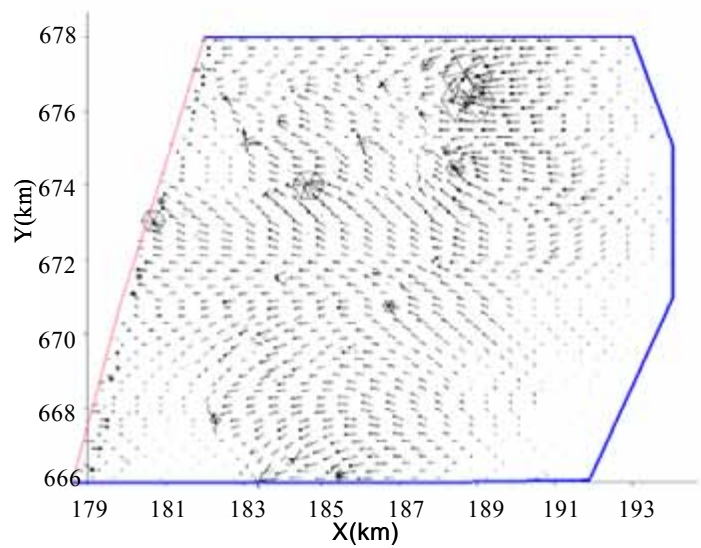
מהירות ההסעה הממוצעת בענן המזהמים היא 15-20 מ' בשנה. בתרחיש S1, מסלולי הזרימה הם מערבה לכיוון השקע ההידרולוגי העמוק של רמת השרון ומעט צפונה מערבה לשולי שקע הרצלייה. עם סגירת הבארות של רמת השרון (תרחיש S2), השקע נעלם, תוך שנים ספורות עקב העלייה במפלסי מי התהום, ומסלולי הזרימה משנים כיוון לצפון מערב לעבר שקע הרצלייה. הסגירה האפשרית של קידוחי הרצלייה (תרחיש S3) מקטינה בהדרגה את השקע ההידרולוגי באזור הרצלייה וכתוצאה מכך יהיה שינוי בכיוון מסלולי הזרימה מערבה מצפון מערב (מסלול זרימה לכיוון צפון מערב – מצב ביניים בין תרחיש S1 לתרחיש S2).



איור 1.13 תחזית פרוס שדה הזרימה לשנת 2030: על פי תרחיש S1.



איור 1.14 תחזית פרוס שדה הזרימה לשנת 2030: על פי תרחיש S2.



איור 1.15 תחזית פרוס שדה הזרימה לשנת 2030: על פי תרחיש S3.

פרק 2

מודל הסעה של מזהמים למרחב רמת השרון

מחברים: אלכס יקירביץ, אילון אדר ומיכאל קוזניצוב

לאור העובדה שלפרכלורט מקור אחד ברור ומוגדר (בניגוד לניטרט למשל) וההשתרעות המרחבית של פרכלורט ניתנת לשיוך בלעדי למקור זה, ומאחר ומדובר בתרכובת אורגנית מסיסה היכולה להיחשב כאינרטית (מבחינה כימית) בעת הזרימה במי האקויפר, הוחלט להעמיד מודל הסעה לפרכלורט כמי שמייצג מזהם בעל יכולת תנועה מהירה באקויפר ומייצג את התרחיש המחמיר ביותר בהיבט של התפשטות כל המזהמים במרחב. מאחר ופרכלורט אינו עובר כנראה עיכוב משמעותי במהלך זרימתו באקויפר, החישובים לגבי מייצגים את התרחיש הגרוע ביותר מבחינת הסעת מזהמים כאשר ריכוז נמוך ביותר של פרכלורט מחייב סגירה של בארות. בהמשך, אותו מודל הסעה עם אותם הפרמטרים הופעל לחיזוי הפרוס המרחבי לאורך 25 שנה לגבי Cr, TCE, RDX, וניטרט למרות שאינם יכולים להיחשב כמומסים משמרים כמו פרכלורט, בחינת התרחיש הגרוע ביותר בהיבט של הסעת המזהמים כאשר מקדמי האבולוציה הביו-כימית אינם ידועים בשלב הזה. מודל ההסעה הופעל עם דגש על אזור מורד הזרימה ממתחם התע"ש, זאת מאחר ואין כנראה מקורות זיהום משמעותיים של מי תהום (למעט ניטרטים) ממזרח למתחם התע"ש.

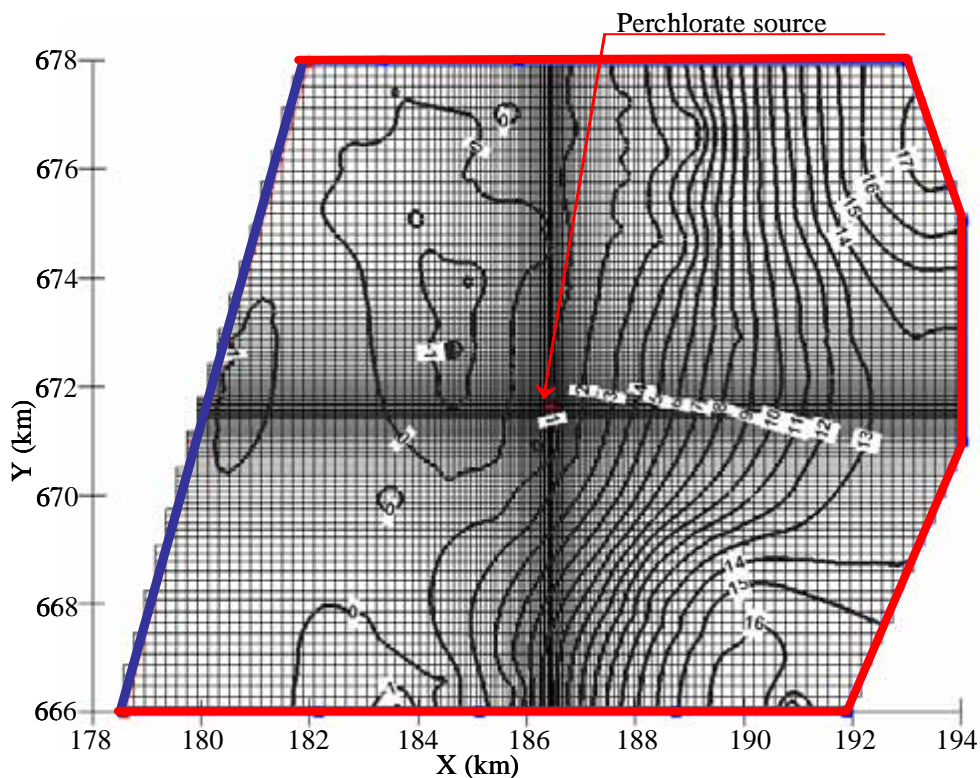
2.1 מבנה והתאמה של מודל ההסעה למרחב הזרימה באזור רמת השרון

אחת ממטרות העבודה היתה פיתוח של קוד להסעת פרכלורט וסימולציות עבור תרחישי הפקה שונים. חבילת התוכנה 5.1 - GMS שימשה כפלטפורמה מרכזית לסימולציות שיוצגו בהמשך. המודל המתמטי ששימש בהרצות אלו הוא מודל תלת ממדי מקורב המיוצג ע"י משוואת זרימה דו ממדית אופקית לכל שכבה במערכת המשוכבת עם רכיב המתאר זרימה אנכית לזרימת הביניים בין השכבות (תוך שמוש בקוד MODFLOW). הסימולציות להסעת פרכלורט נערכו בעזרת MT3DMS, הפותר משוואת אדבקציה-דיספרסיה בשלושה ממדים. המודל נבנה למומס/סמן משמר (קונסרבטיבי) כגון פרכלורט, שהוגדר כסמן שמרן באופן שספיחה או פירוק לא ישפיעו על פרוס ריכוזיו במים. אזור המודל וגבולותיו מוצגים באיורים 1.1-1.3 (כרך III, פרק 1).

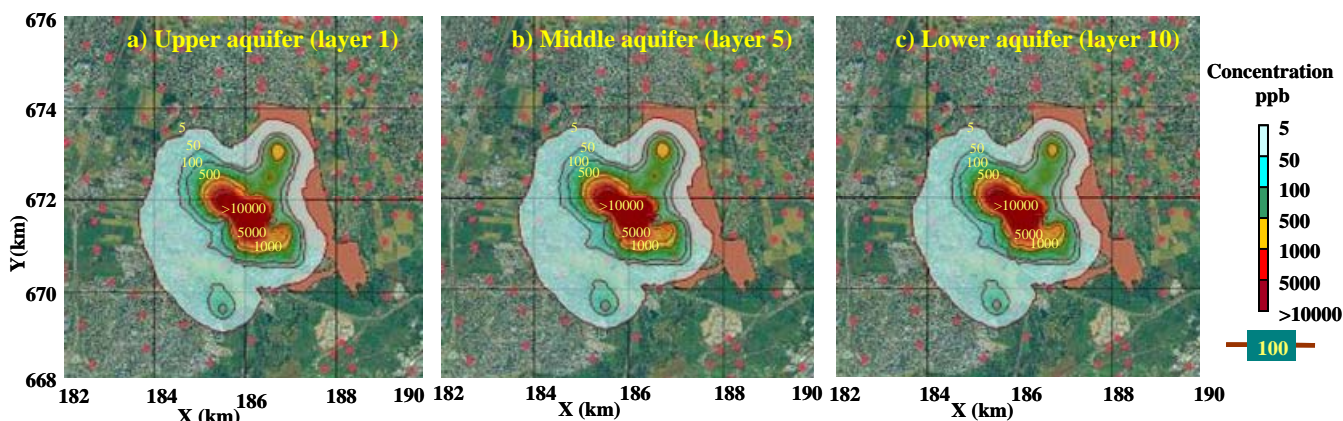
הפתרון של בעיית הזרימה וההסעה הושג בעזרת רשת תאים כשמערכת הזרימה התת-קרקעית חולקה לעשר שכבות (חלוקה נומרית). בעוד גודלם של התאים סביב מקור הזיהום היה 25X25 מ', הממדים האופקיים של התאים הרחק מן המקור היו 200 X 200 מ'. הקטנת גודל התאים סביב המוקד לעומת גודלם בהליך הכיול של מודל הזרימה (16X260X240) נועדה לאפשר חיזוי מדויק יותר של ערכי המזהמים המומסים במוקדי הזיהום בושולי עננת המזהמים. זאת מבלי לגרוע מיציגותם של ערכי החידור (העשרה) ופרוס המוליכויות ההידראליות כפי שחושבו והוערכו מתוך מודל הזרימה. הקטנת גודלם של התאים לא אמורה לשנות באופן משמעותי את גודלם של ערכי החידור והמוליכויות ההידראליות שחושבו לתאים גדולים יותר ביחס לצפיפות מצאי הנתונים הקיים במרחב רמת השרון. מקור הזיהום ומוקד הספקת הפרכלורט הוגדר בבריכת מפעל מלבין בתע"ש בשטח כולל של 10,000

מ"ר (איור 2.1) והונח כי פרט מאזור זה, נכון להיום, אין הזנה של פרכלורט עם המים המחלחלים לאקוויפר מכל מקור אחר (תשומות עם ריכוז אפס של פרכלורט). הפרוס התלת ממדי של פרכלורט במי התהום (לראשית שנת 2005) הוערך ע"י אינטרפולציה על פי קריגינג של ערכי פרכלורט כפי שנמדדו בקידוחי הניטור וההפקה שבמרחב רמת השרון (איור 2.2).

היסטורית הזיהום באתר אינה ידועה בבירור, ולכאורה, הזיהום החל עם ראשית שנות ה-50. כמו כן יש לציין כי אין בידינו גם נתונים על השאיבות ההסטוריות באזור העבודה לפני 1974. לפיכך אין דרך לשחזר את ענן הזיהום בעזרת סימולציות מדויקות. עם זאת, הורצו סימולציות של התפתחות ענן המזהמים במהלך 50 שנים (מ-1955 ואילך) תוך שימוש בנתוני שאיבה והעשרה שחלקם סינתטי (מ-1955 ועד 1980) וחלקם "אמיתי" (מ-1981 ואילך). ליתר דיוק, בעוד ש 25 השנים הראשונות הורצו על בסיס נתונים דומים לאלו שנמדדו מ-1980, 25 השנים הבאות הורצו על נתונים מדודים. בחרנו ב-1980, משום שבשנה זו נמצא שהשאיבה התאזנה ע"י ההעשרה, כך שמשטר הזרימה היה קרוב למאוזן (steady state).



איור 2.1: פרוס מרחבי של מפלס מי התהום (2005-6) ורשת התאים עבור סימולציה של הסעת פרכלורט בשיטת הפרשים סופיים.



איור 2.2 פירוס התחלתי של פרכלורט (חל"ב) כפי שחושב על בסיס הניטור מ-2005 (a) באופק העליון של האקוויפר, שכבה 1, (b) באופק התיכון של האקוויפר, שכבה 5, ו (c) באופק העמוק ביותר של האקוויפר - שכבה 10.

2.2 הגדרת הפרמטרים של מודל

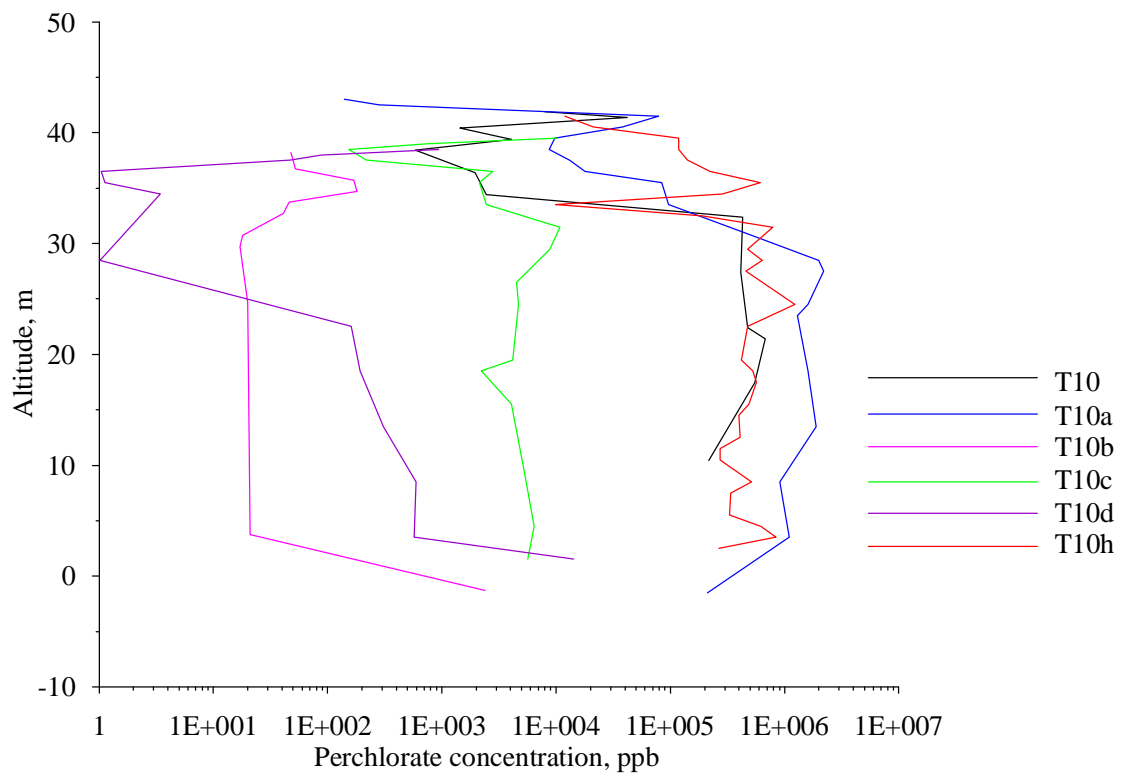
פירוס ההעשרה הטבעית לאקוויפר חושב מתוך סימולציה של נתוני משקעים ושאבות של מי תהום ביחס להתפלגות מפלס מי התהום באקוויפר במהלך של 25 שנה (1945-1970). תוצאות הליך הכיול נבחנו ונבדקו ביחס להתפלגות המפלסים ב 15 השנים הבאות (1975-1990; כרך III, פרק 1.2.2; טבלה 2 ואיורים 1.4 ו 1.5). התנאים ההידראולים לאורך הגבולות נלקחו מתוך מודל הזרימה, ואילו הפרוס המרחבי של פרכלורט ב 2005-4 נלקח כתנאי התחלה לצורך חיזוי הפרוס המרחבי של פרכלורט במרחב רמת השרון במהלך 25 השנים הבאות. חישוב ערכי נקבוביות ודיספרסיביות נעשה מתוך ניסוי עוקבים שבוצעו בשני קידוחי ניטור שבמוקד הזיהום המרוחקים 3 מ' האחד מהשני. חשוב לציין, שפרמטרים אלו נכונים רק לאזור בו נעשו הניסויים. יחד עם זאת, מתוך היכרות עם הליתולוגיה במרחב המודל נתן לשער שערכים אלו מייצגים חלקים ניכרים במרחב. מחוסר תנאים מתאימים לא ניתן היה לבצע את אותם הניסויים בשאר המרחב. ערכי הדיספרסיות לאורך ובניצב למסלול הזרימה (קווי הזרם) הוערכו מתוך אנליזת רגישות של תוצאות המודל והתאמתם לפרוס הפרכלורט ב-2005.

2.2.1 אומדן השטף אנכי של פרכלורט בתשטיפים מהקרע אל מי התהום באזור המקור

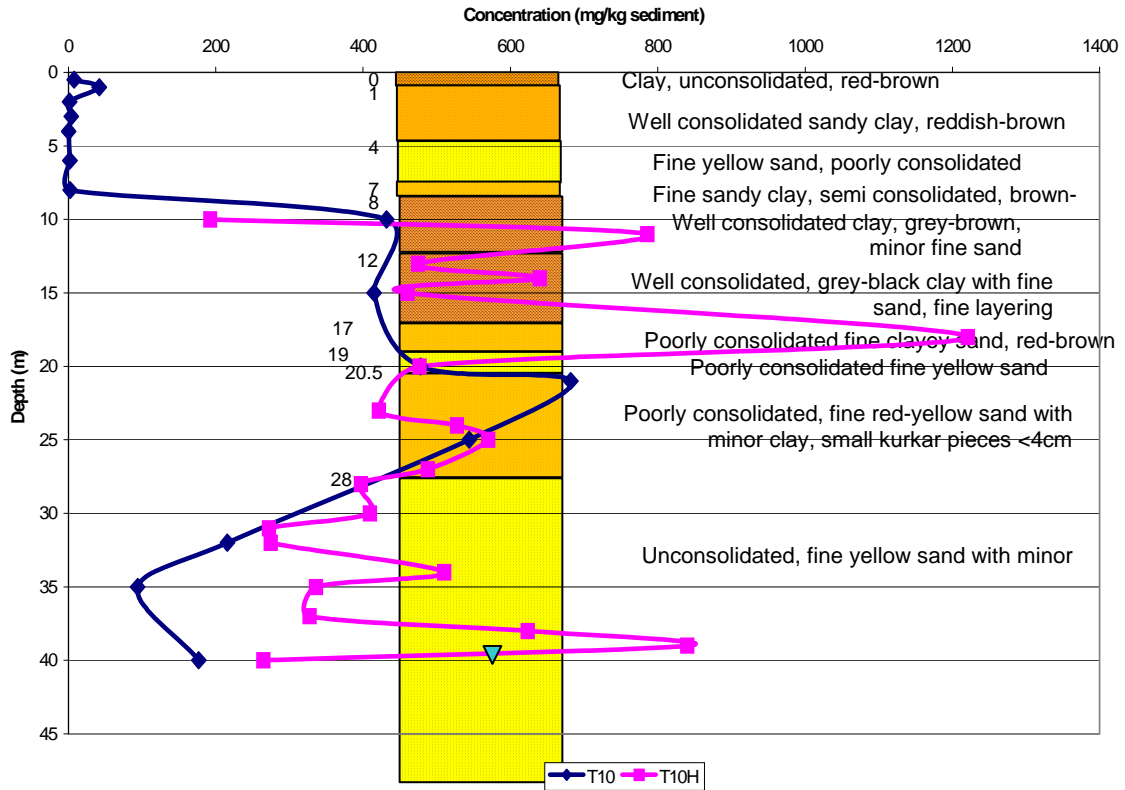
המודל משלב הסעה ושטיפה של פרכלורט מהתווך הלא רווי. לצורך זה נעשו בדיקות להערכתה של המוליכות הלא רוויה והנקבוביות בתווך הלא רווי. המוליכות הלא רוויה והמוליכות ברוויה נקבעו במעבדה על דוגמאות של סדימנטים מייצגים (חולות וחרסיות) מן הקידוחים שנקדחו בבריכות החלחול שבאתר מלבין. הנקבוביות הוגדרה במעבדות המכון הגיאולוגי על אותם סדימנטים. זרימה, שטיפה והסעה של פרכלורט מתוך התווך הלא רווי אל האקוויפר מברכות האיגום הישנות שבאתר מלבין חושבה מתוך מודל הסעה חד ממדי לקצבי חילחול וגשם ממוצע לאזור.

תנאי הגבול למים המחלחלים באזור המקור הוגדרו כפונקציה של הזמן. הריכוז חושב בעזרת פירוס הפרכלורט בתווך הלא רווי וסימולציות חד ממדיות בתנאי זמן משתנים (transient) של זרימת מים והסעת המזהם בתווך משוכב לא רווי. הסימולציות נערכו עבור פרופיל הריכוזים של הפרכלורט בתווך

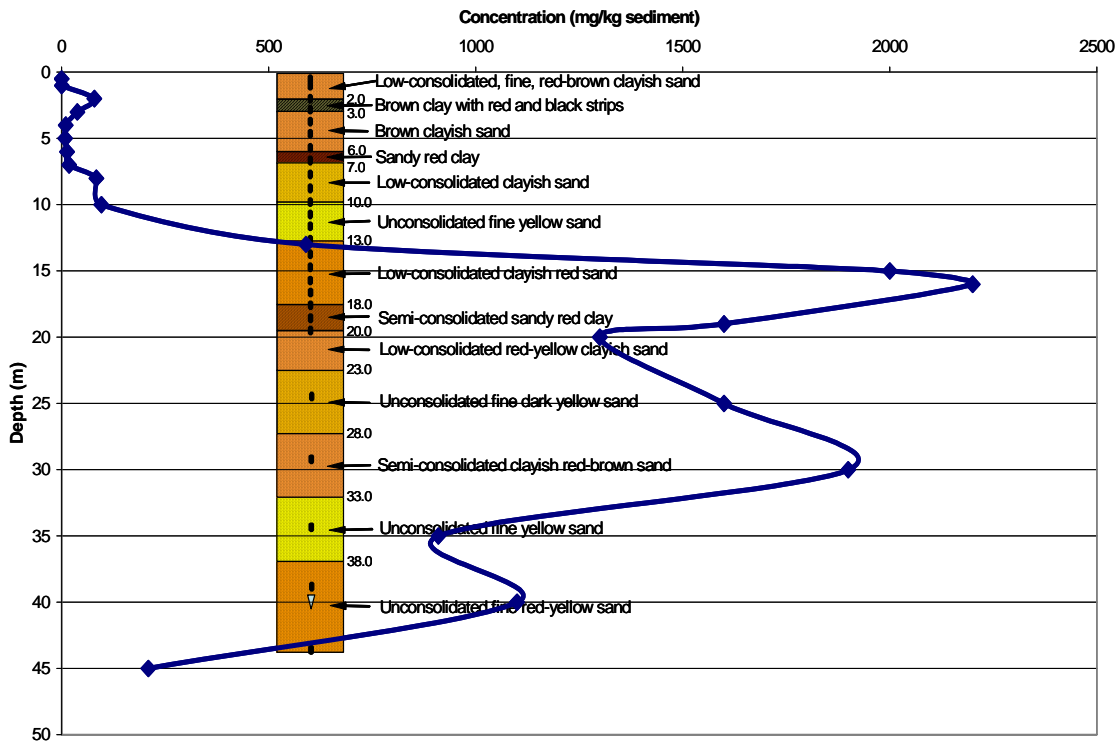
הלא רווי בקידוחי הניטור בברכות "מלבין" כמוצג באיור 2.3, ואילו תאור פרופיל מייצג של פרכלורט לאורך עמודת הקרקע מוצג על רקע החתך הליתולוגי המיצג על פי קידוח TH10 מתואר באיור 2.4.



איור 2.3 פירוס הריכוזים של פרכלורט בתווך הלא רווי כפי שנמצא בשישה קידוחי ניטור בברכות "מלבין"



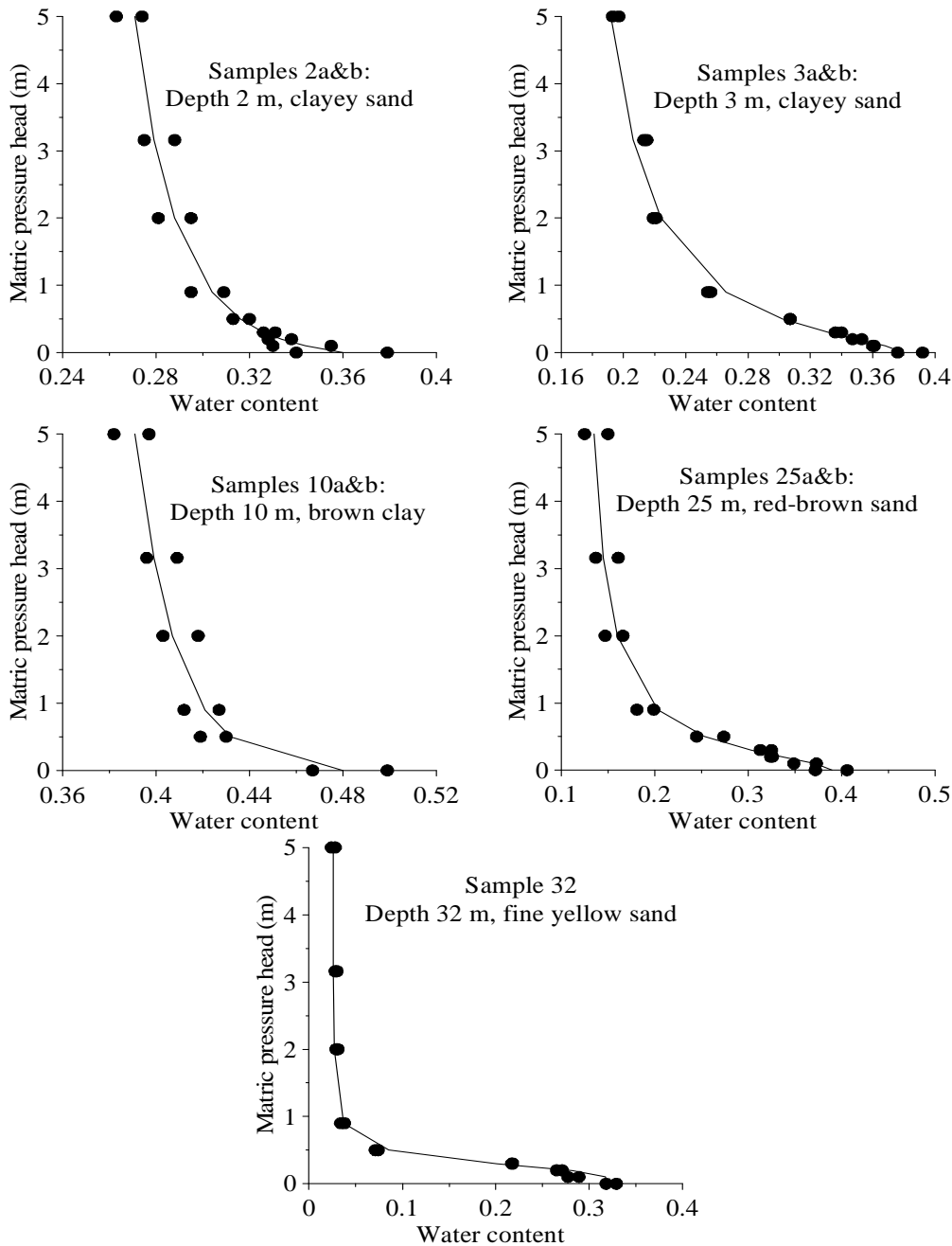
איור 2.4 פרוס הפרכלורט בקרקע ביחס לחתך הליתולוגי של קידוח T10 ו T10H



איור 2.4 (המשך) פרוס הפרכלורט בקרקע ביחס לחתך הליתולוגי של קידוח T10A

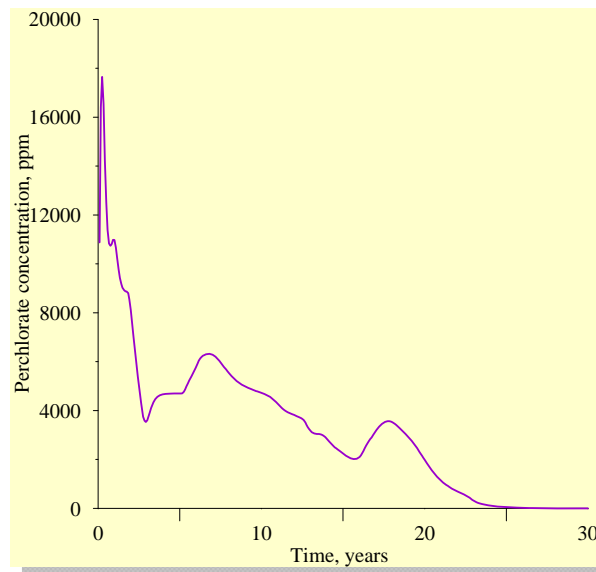
אומדן הערכים של הפוטנציאל המטריצי לסוגי קרקע שונים

עקומי התאחיזה של סדימנטים לא מופרים שנאספו מן השכבות השונות בקידוח זה נמדדו במעבדה בעזרת קופסת חול/קאולין של Eijkelkamp Agrisearch Equipment על סדימנטים לא מופרים שנאספו מן השכבות השונות בקידוח T10H. הנתונים שנמדדו הותאמו בעזרת מדדים של (Van Genuchten, 1980). המוליכויות ההידראוליות של הסדימנטים הלא רוויים חושבו בעזרת הגישה של ון גנוכנטן-מועלם עבור תקופה של 30 שנים ומתוארים באיור 2.5.



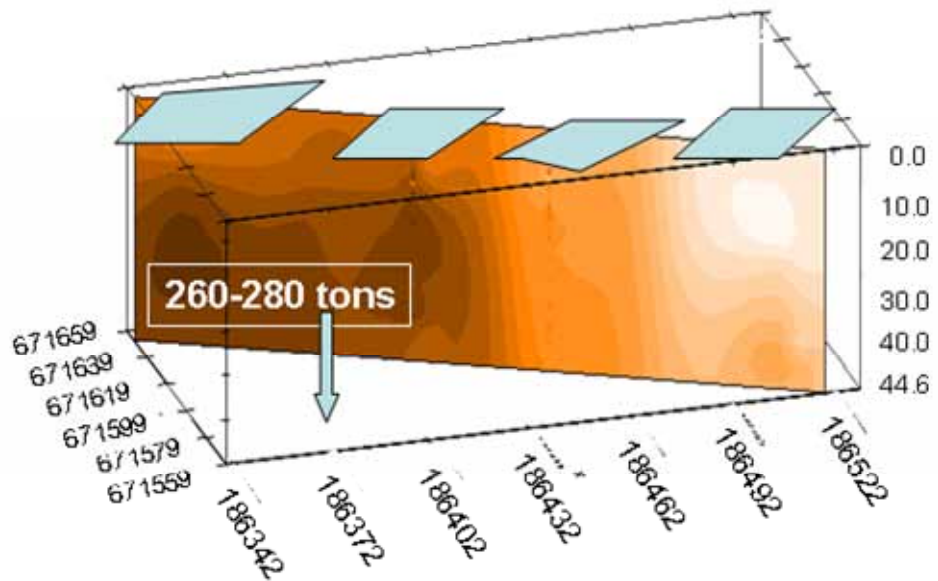
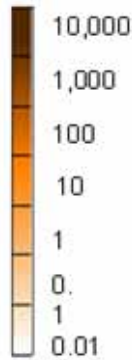
איור 2.5 עקומי תאחיזה מדודים (נקודות) ומתאמים בעזרת מדדים של Van Genuchten (1980) של סדימנטים מאופקים שונים בתווך הלא רווי של קידוח T10H.

בכל התרחישים שבהם אין טיפול או כיסוי של התווך הלא רווי באזור "מלבין", נלקחה בחשבון תרומה של פרכלורט מתוך התווך הלא רווי על פני כל המרחב של "מלבין" על פי תוצאות המודל הסעה חד ממדי שחזה את קצב השטיפה של פרכלורט מתוך חתך התווך הלא רווי אל מי התהום. איור 2.6 מתאר את תוצאות המודל להשתנות ריכוז הפרכלורט במים שמחלחלים ומעשירים את מי התהום באזור מתחם "מלבין". המודל חוזה שכל מסת הפרכלורט הנמצאת בתוך הקרקע באזור מלבין תישטף לתוך מי התהום במהלך שני העשורים הקרובים כך שבעוד 24 שנים התרומה מהתווך הלא רווי תהיה זניחה לחלוטין. לעומת זאת, בכל התרחישים בהם נבדקה ההשפעה של איטום פני השטח במתחם מלבין - (RP-(X-1) ו S(X-1)) הנחנו "אפס" דליפה של מי קרקע מזוהמים כבר מהשלב ההתחלתי. זאת מאחר ואין נתונים מספקים לביצוע סימולציה עדכנית לחישוב הניקוז של מי הקרקע תחת חיפוי מלא. בהנחה שרכוז הפרכלורט בפרופילים שבאזור קידוח T-10 מייצגים את הריכוזים מתחת לכל בריכות האיגום באזור המקור בשטח כולל של 10,000 מ"ר, מסה כוללת של כ 260-280 טון זמינה ויכולה להישטף למי התהום במהלך 25 שנים הבאות (איור 2.7). עקום הפריצה באיור 2.6 שמש כתנאי גבול למודל ההסעה התלת ממדי בתאי המקור בשכבה העליונה של המודל (בפני המים!).



איור 2.6 תוצאות המודל לריכוז הפרכלורט בתשטיפי מי הקרקע שמחלחלים אל מי התהום באזור מתחם "מלבין".

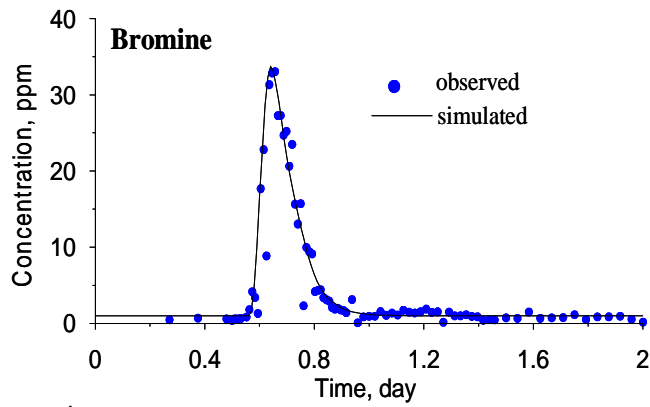
**Perchlorate
Concentration (mg/kg)**



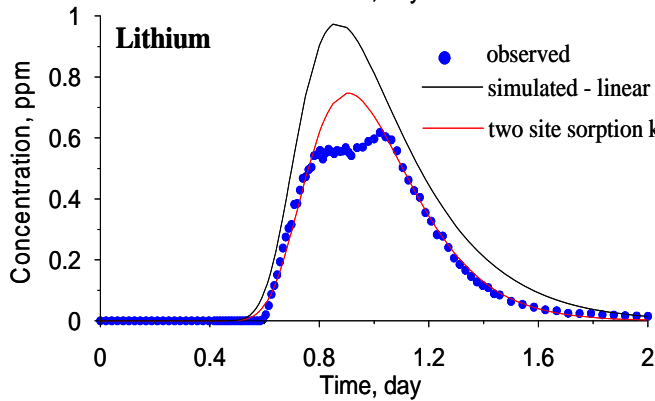
איור 2.7 סכמה להמחשת אוגר הפרכלורט בחתך הקרקע ולעומק התווך הלא רווי.

2.3.2 בחינה וקביעת ערכי דיספרסיה

מבחן השפעה הידראולי עם סמנים בוצע בקידוחי T10 בברכת האיגום 2 שב"מלבין" לאומדן הנקבוביות וערכי דיספרסיות. התוצאות שהושגו מברום, ליתיום ויורנין מוצגות באיור 2.8. הנקבוביות האפקטיבית הממוצעת שנקבעה לכל שכבות האקויפר היתה 20% (0.2). סימולציות קודמות של הסעת מזהמים באקוויפר החוף (EWRE, 1997; Golder Associates, 2003) עשו שימוש בדיספרסיות הידרודינמית של 5 מ' לפורמציה חולית ויחס דיספרסיות רוחבית לאורכית של 0.1. עם זאת, להבנתנו צורת ענן הזיהום והפירוס של הריכוזים ב-2005 אינם יכולים לייצג ערכי דיספרסיות כה נמוכים. מניתוח הנתונים של מקרו-דיספרסיה עולה (לדוגמה Gelhar, 1986; Neuman, 1990) כי הדיספרסיות האורכית צריכה להיות בשיעור של כ-100 מ' ואולי גדולה יותר (איור 2.9).



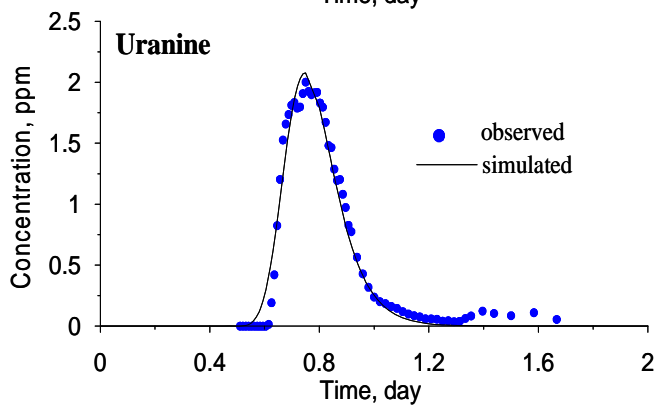
Effective porosity $n_e=0.163$
 Longitudinal dispersivity $a_L=0.01$ m



Reversible: $\rho_b \frac{\partial S}{\partial t} = \beta \left(C - \frac{S}{K_d} \right)$

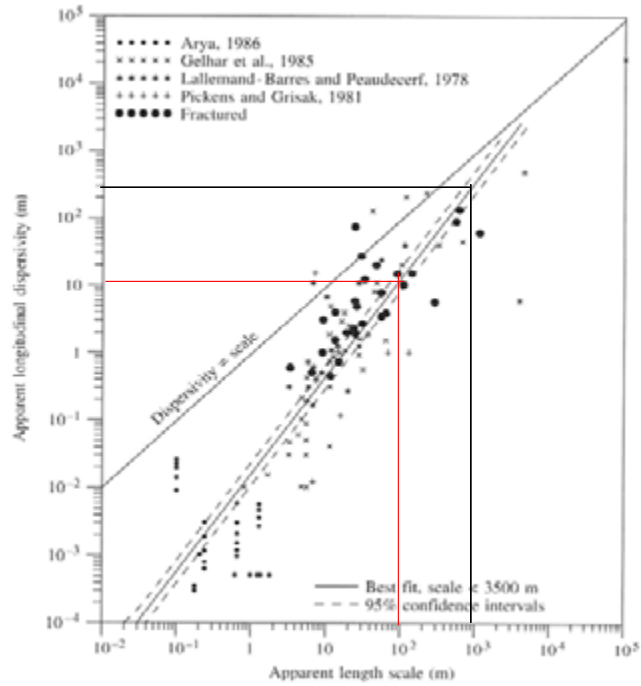
Effective porosity $n_e=0.2$
 Longitudinal dispersivity $a_L=0.02$ m
 $\beta=0.35 \text{ day}^{-1}$, $K_d=0.012 \text{ L/kg}$

Irreversible: $\frac{\partial S}{\partial t} = -\lambda S$
 $\lambda_s = 2 \text{ day}^{-1}$



Effective porosity $n_e=0.185$
 Longitudinal dispersivity $a_L=0.01$ m

איור 2.8 חישוב הנקבוביות וערכי הדיספרסיה מתוך ניסוי סמנים במבחן השפעה בברכה 2 ב"מלבין".



איור 2.9 דיספרסיביות מייצגת ביחס למימד אורך מייצג במודל הזרימה (מתוך Neuman, 1990)

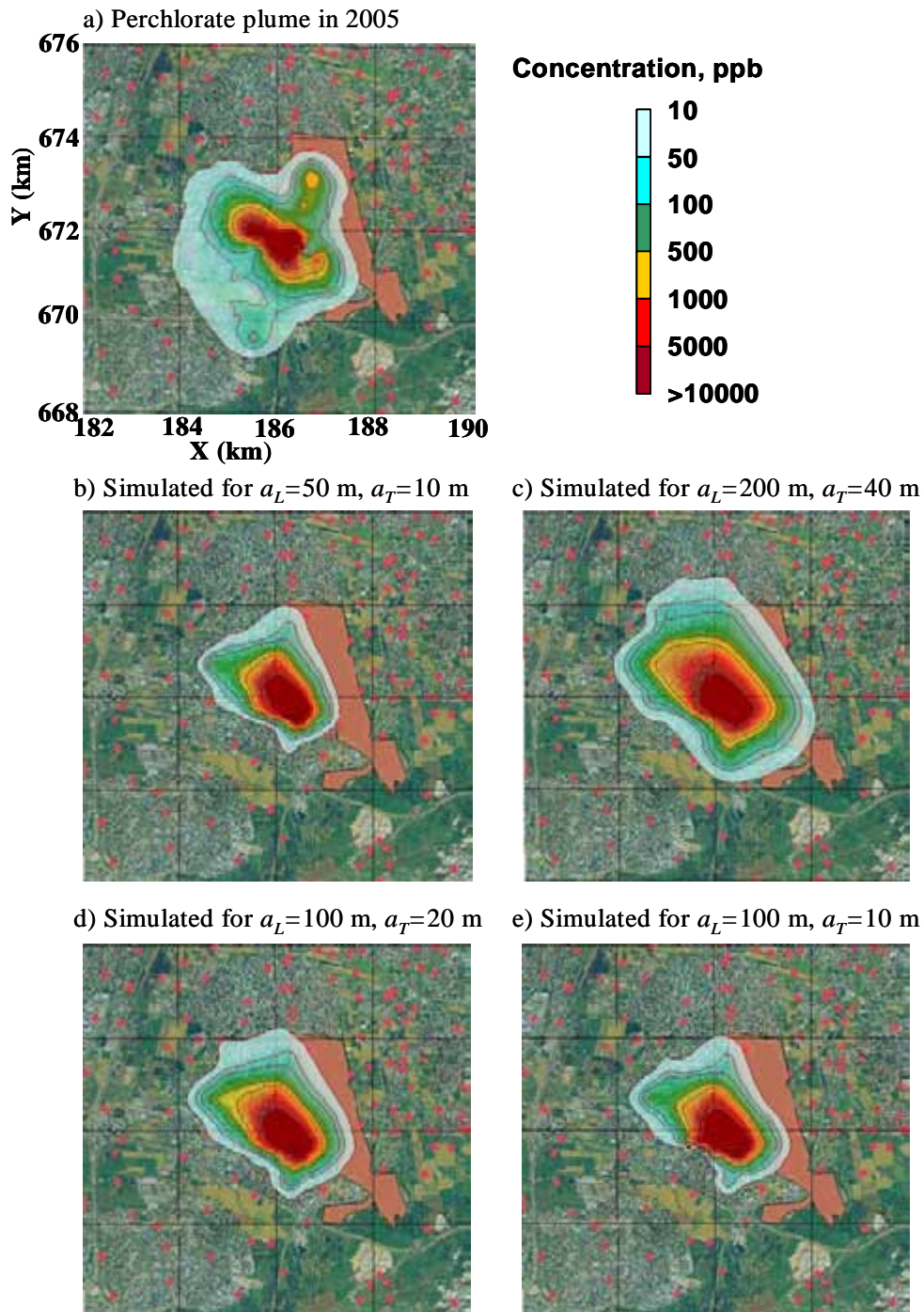
בחינת רגישות המודל לנקבוביות אפקטיבית ולדיספרסיביות אורכית ורוחבית

נקבוביות אפקטיבית של $\alpha_1/\alpha_t = 0.1; 0.2$ על בסיס תרחיש מס' 2 ונקבוביות אפקטיבית של 0.15 על בסיס תרחיש מס' 2 (תרחיש 8 מקורי)

כיווני הזרימה, וכך גם ההסעה של המזהמים היו ברוב התקופה לכיוון צפון מערב לתוך השקע ההידרולוגי של רמת השרון, כמודגם ע"י התפשטות הריכוזים של פרכלורט באיור 2.2. עם זאת, נראה שבתקופה מסוימת היתה גם התפשטות של ענן המזהמים בניצב לכיוון הזרימה, אם כי בריכוזים נמוכים, אך עדיין משמעותיים. זאת על בסיס העובדה שכ-1 ק"מ מצפון מזרח לענן המזהמים הראשי נצפה אזור עם ריכוזי מזהם גבוהים (עד 1000 חל"ב) ללא מקור מזוהה מובהק (איור 2.2). תצפית זו ניתן לפרש כזרימה של מי תהום לאותו כיוון בעבר כתוצאה משאיבות מסיביות מצפון למתחם תע"ש (ואז היחס בין הדיספרסיביות הרוחבית לאורכית יכול להיות גדול מ-0.1). על מנת לבדוק סברה זו בצענו שלוש הרצות לתקופה 1955-2005 תוך שימוש בדיספרסיביות אורכית של 50, 100 ו-200 מ'. באופן שהיחס בין הדיספרסיביות האופקית הרוחבית והאופקית האורכית היה 0.2, בעוד היחס בין הדיספרסיביות האנכית לאורכית היה 0.02 (בגלל קני"מ אנכי קטן יותר). סימולציות נוספות הורצו עם דיספרסיביות אורכית של 100 מ' ויחס בין רוחבית לאורכית של 0.1. במצב זה הוגדר ריכוז פרכלורט אפסי בכל מקום פרט לאזור המקור (שטח מלבני של 200 X 50 מ'), שם הוגדר ל-300,000 חל"ב במשך 50 שנים.

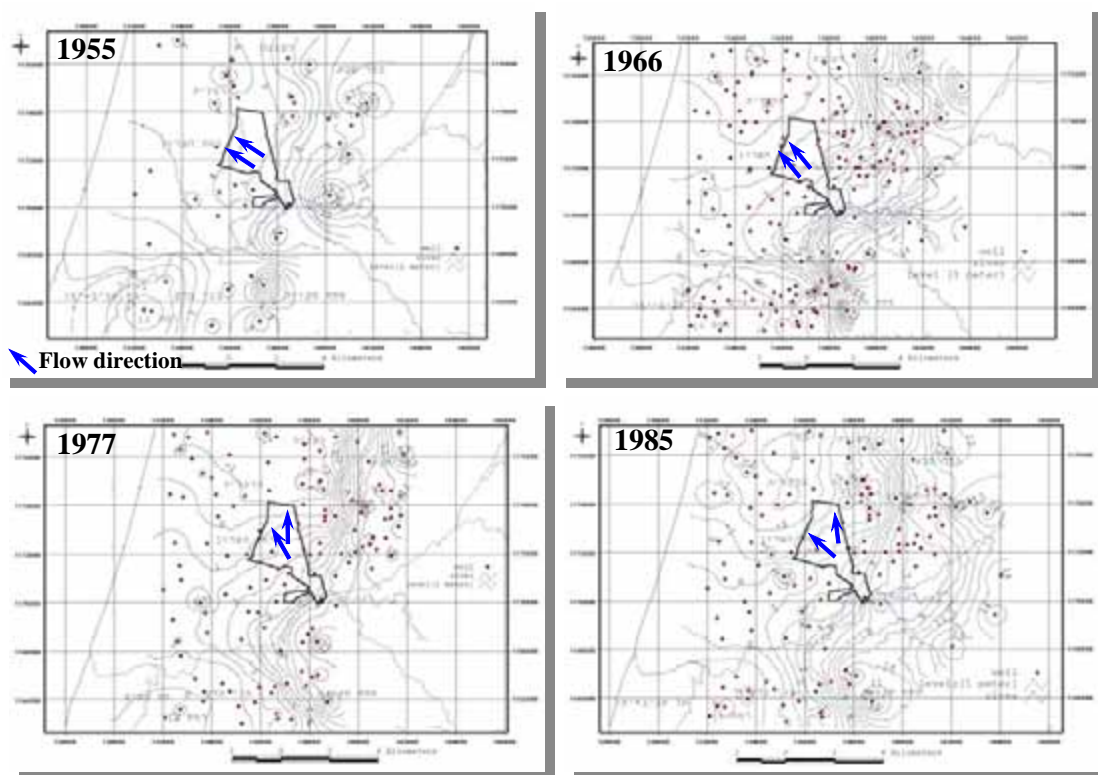
פרוס עננת הזיהום בפרכלורט לערכי דיספרסיביות שונים מוצגים באיור 2.10. בעוד הדיספרסיביות האורכית של 50 מ' ורוחבית של 20 מ' הוליכו לענן מזהמים קטן בהרבה מזה שנצפה (איור 2.10b), במקרה של דיספרסיביות אורכית של 200 מ' ורוחבית של 20 מ', ענן המזהמים המחושב מתאים יותר לזה שנצפה בשטח, עם כי הריכוזים בענן המזהמים גבוהים ב-500 חל"ב מאלו שנצפו בפועל (הפרש נמוך

יחסית לערכים של עשרות ואף של מאות חל"ב שנצפו במוקד כתם הזיהום). דיספרסיביות אורכית של 100 מ' מדמה טוב יותר את החלק המרכזי של ענן המזהמים, אולם ההתפשטות המרחבית שלו קטנה מזו שנצפתה (איורים 2.10c ו-2.10d). יש לציין כי בשום מקרה לא ניתן היה לדמות את פירוס המזהמים לצפון מזרח ולדרום מערב בעת ובעונה אחת ולא ניתן להסביר את ולדמות את התפשטות הפרכלורט צפונה מאתר מלבין ע"י ערכי דיספרסיה מעודכנים ולא ע"י מסלול זרימה מועדף לאורך ליתולוגיה עם מוליכות הידראולית גבוהה (כגון לאורך רכסי הכורכר שכיוונם הכללי הוא מדרום מזרח לצפון מערב).



איור 2.10. השוואה בין פרוס ריכוזי הפרכלורט על פי תוצאות הניטור ב-2005 (a) והריכוזים המדומים בסימולציות השונות (b עד e) לערכים משתנים של דיספרסיביות.

מאחר ולא ניתן להסביר ע"י הדיספרסיביות את התפשטות הפרכלורט לאורך הזרוע הצפונית, בחנו שנית את פרוס המפלסים ופרוס השאיבות מאז שנות החמישים במטרה לבחון ולשחזר את השינוי בזמן של השדה האיזומטרי ומסלולי הזרימה באקויפר. משחזור של מפות המפלסים על בסיס נתוני מפלס מבארות תצפית, משקעים ונתוני שאיבות היסטוריים נמצא שניתן להסביר את נדידת עננת הזיהום של פרכלורט לכיוון צפון, לפחות לתקופה של כחמש שנים (ואולי יותר). איור 2.11. מתאר את מפות המפלסים מאז שנות ה-50 ודגמי זרימה במהלך 25 השנים הראשונות של ההרצות. כפי שניתן לראות באיור 2.11c ו 2.11d, בשנים 1977-1985 קיים מסלול של זרימת מי תהום לכיוון צפון ממתחם התע"ש כתוצאה משאיבות מסיביות באותן שנים באזור רמות השבים, מערב הוד השרון, גבעת חן ורעננה שיצרו מכתש הידרולוגי בצפון מתחם התע"ש. כתוצאה מכך התאפשר נתיב זרימה צפונה מדרום התע"ש שהסיט מזהמים ממוקד הזיהום צפונה בדומה לתפרוסת המזהמים במצב הנוכחי. ריכוזי פרכלורט באזורים אלה נמוך יחסית, דבר התומך קביעה של פירוס הפרכלורט באזור העבודה ישנו מקור אחד ויחיד. השוואה בין ענני הזיהום שנצפו לבין אלו שהופקו ע"י הסימולציות מובילה למסקנה כי ערכי הדיספרסיביות האורכית והרוחבית הם בסדר גודל של 100 ו-20 מ', בהתאמה, ולאור זאת אלו הערכים שישמשו ברוב ההרצות לתחזית פרוס המזהמים במרחב תוך בחינת יציגותם של הפרמטרים האלה בעזרת אנליזת רגישות.



איור 2.11 השתנות כווני זרימת מי תהום דרך מתחם התע"ש לשנים 1955, 1966, 1977 ו 1985.

שכוב והפרדה על בסיס של ריכוזי פרכלורט בין תת האקויפר העליון לתחתון בשוליים הדרום מזרחיים של עננת המזהמים באזור שבין הקידוחים תל אביב צפון 7 ו S-1 לאזור קידוחי עיר צפון 6 ו 6א.

שני מקבצים של קידוחים: רדוד ועמוק, ממוקמים בשוליים המזרחיים – והדרום מזרחיים ובמעלה הזרימה של עננת המזהמים. הקידוחים עיר צפון 6 ו 7 שואבים מתת האקויפר העמוק, ואילו מים

מהקידוחים S1, ועיר צפון א6 מייצגים האקוויפר העליון. טבלה 2.1 מציגה את הריכוזים של פרכלורט כנגד מיקום המסננות בקידוחים באזור תל אביב צפון 7. בעוד שבקידוחים הרדודים בהם המסננת ממוקמת בתת האקוויפר העליון נצפו ריכוזי פרכלורט גבוהים (2445–3,300 מיקרוגרם לליטר ב S-1 ; ו-270 מיקרוגרם לליטר בעיר צפון א6), בקידוחים העמוקים בהם המסננת ממוקמת באמצע ובתחתית האקוויפר נמדדו ריכוזים נמוכים יחסית של פרכלורט (10-12 מיקרוגרם לליטר בעיר צפון 7 ו-2 מיקרוגרם לליטר בלבד בעיר צפון 6).

טבלה 2.1 ריכוזים של פרכלורט ומיקום המסננות בקידוחים באזור תל אביב צפון 7

קידוח	עומק מסננת (מ)	ClO_4 (ppb)	תת אקוויפר
קידוח S-1	45-55	2445-3300	עליון
עיר צפון 7	65-120	10-12	תחתון
עיר צפון 6 א	43-58	270	עליון
עיר צפון 6	68-114	<2	תחתון

העובדה שנמצא גרדיינט כה חריף בין קידוחי עיר צפון 6 ל-7, והעובדה שבעיר צפון 7 שממוקם במעלה הזרימה (הנוכחי) ביחס לאתר מלבין ושנמצאו ריכוזים משמעותית של פרכלורט לעומת עיר צפון 6, מעידים שהקידוח ממוקם בשוליים הדרום מזרחיים של כתם הזיהום ושהזיהום בפרכלורט בעומק האקוויפר שבאזור עיר צפון 7 נובע כתוצאה משעור ההפקה ההיסטוריים שמשכו רכיבי זרימה גם לדרום מזרח לכיוון קידוח עיר צפון 7. מאחר ומיקום הקידוחים הנ"ל נמצא בשולי המוקד המזוהם ובמעלה הזרימה, אנו מניחים שהספיקות לאורך קווי הזרימה האופקיים בשכבות העליונות של האקוויפר הן מהירות, וכשכך הן מסיתות את תשטיפי הפרכלורט שמחלחלים מתוך התווך הלא רווי אל מורד הזרימה כבר בשכבות אלו. ולכן, בשולי כתם הזיהום שבמעלה הזרימה, תת האקוויפרים היותר עמוקים נמצאים מחוץ (או בשולי) העננה המזוהמת.

לצורך הרצת המודל תחת אילוצים אלו, וכדי לדמות את המצב ההתחלתי כפי שהיה ב 2005/6, מנענו במודל במכוון דיספרסיה אורכית ($\alpha=0$) במעלה הזרימה ממזרח לקו אורך 187, כך שערכי הפרכלורט ממזרח לקו אורך 187 לא יעלו על 10ppb. במצב זה, הצלחנו לגרום לכך שהמודל משחזר את הערכים המדודים בשולים המזרחיים של האקוויפר הן לקידוחים רדודים (עם זיהום ניכר) והן לקידוחים עמוקים (עם זיהום מופחת).

כאשר מתבוננים בהשתנות הריכוזים עם הזמן בקידוחים שבשולי המוקד המזוהם וכאשר מדובר בסקלה אזורית עם ערכי דיספרסיות של 100 – 1000, אין חשיבות רבה לעובדה אם קידוח עיר צפון 7 שואב מהעומק או לא. בפועל מתקבל אותו הפרופיל ריכוזים עם או בלי עיר צפון 7. המסקנה המתבקשת היא שלערכי הדיספרסיה שמוצבים במודל ההסעה, חשיבות מכרעת במיוחד באזורים שבהם מתקיים שיפוע גדול במפל הריכוזים (גרדיינט ריכוזים תלול)

אי לכך וברמת הנתונים הנוכחית, קבענו את תנאי ההתחלה לריכוזים של הפרכלורט החל מתת אקוויפר 5 (שכבה 5) ומטה (עד לשכבה 10) ל 10 מיקרוגרם לליטר באזור תל אביב צפון 7, ו-0 מיקרוגרם לליטר

באזור שממזרח לקו אורך 187 ובתנאי שערכי הדיספרסיה במודל ההסעה יהיו נמוכים יחסית (בין 10 ל 20), למרות שמדובר במודל אזורי בסקלה של קילומטרים ולא במאות מטרים כמתחייב מערכי דיספרסיה כה נמוכים.

יחידות צעדי הזמן בתהליך החיזוי של השתנות הריכוזים במרחב במהלך השנים הבאות

בתהליך החיזוי של פרוס המזהמים במרחב ובזמן עם תוכנת GMS, צעדי הזמן מחושבים מתוך "מס. קורנט" (Courant Number). "מס. קורנט" הוא חסר ממד והוא המנה שבין אורכו של מסלול הזרימה למהירות הזרימה בתא מוכפלת בצעד הזמן Δt . לכל תא במרחב המודל מחושב מסלול הזרימה ומהירות הזרימה הממוצעת לאורך מסלול זה. אורכו של המסלול נגזר מתוך השתרעות המשטח הפיזומטרי. מהירות הזרימה בתא מחושבת מתוך הגרדיינט של המשטח הפיזומטרי בעבור מוליכות הידראולית ונקבוביות אפקטיבית הנתונים לכל תא במרחב (תוצר של כיוול מודל הזרימה). במהלך ההרצה ובכל איטרציה, התוכנה מחשבת "מס. קורנט" לכל תא ובוחרת את צעד הזמן הגדול (מתוך כל התאים) שיתן "מס. קורנט" קטן מאחד. הרציונאל הוא להשתמש בצעדי זמן גדולים ככל שניתן כדי להשיג התכנסות מהירה לפיתרון. יחד עם זאת אסור שצעד הזמן יהיה כזה שהחלקיק המומס יעבור מרחק הגדול מאורך מסלול הזרימה בכל תא שהוא. תוכנת GMS כוללת רוטינה שמעדכנת ובוחרת צעד זמן גדול ככל הניתן לכל איטרציה כך שה (Courant Number) יהיה קטן מאחד.

2.3 תרחישים אפשריים לשיקום אקויפר החוף במרחב רמת השרון

מודל ההסעה שימש לבחינת חלופות של משטרי הפקה מגוונים לטיפול ושיקום של מי תהום ממוקד כתם הזיהום בשילוב עם תרחישים מגוונים של שאיבות וטיפול מקידוחי הפקה קיימים וחדוש אפשרי של ההפקות מקידוחים שזוהמו והושבתו במהלך השנים האחרונות במרחב רמת השרון וצפון תל אביב. אחת החלופות בחנה גם את האפשרות שההפקה תופסק גם מקידוחי הרצלייה בנוסף להשבתת הקידוחים הנוכחית ברמת השרון וצפון תל אביב.

בתרחישים המפורטים בהמשך, נבחנה גם ההשפעה של שאיבות מתוך מוקד עננת הזיהום לצורך שיקום אפשרי של האקויפר על ההיקף וההשתרעות של עננת הזיהום במהלך השנים החל מ-2007 ועד ל-2030. נקודת המוצא היא המצב הנוכחי שבו כל קידוחי רמת השרון שהפיקו בעבר וכך גם קידוחי צפון תל אביב: עיר צפון 2, 6, 6 א ו 7 אינס פעילים. לעומת זאת, נמשכת השאיבה בהיקף הפקה זהה לזה של 2004 בקידוחי ההפקה של הרצלייה וכך גם בצהלה ועיר צפון 3. בכל התרחישים שיפורטו להלן מדובר על בחינת ההשפעה של קידוחי הפקה שימוקמו בתוך ובשולי מוקד הזיהום על קצב השתנות פרוס המזהמים במרחב. הבחינה נעשתה ביחס למצב קיים (תרחיש מס' 2) שבו כל קידוחי ההפקה ברמת השרון ותל – אביב צפון מושבתים (המצב הנכון לשעה זו). בנוסף נבחנה ההשפעה על קצב השתנות פרוס המזהמים למצב שבו גם קידוחי הרצלייה מפסיקים לשאוב (תרחיש 3). כל אחד מתרחישים אלו נבדק גם למצב שבו אוטמים את פני השטח במוקד הזיהום שבאזור מפעל "מלבין" כדי למנוע המשך חלחול מים עם תוספת של פרכלורט אל תוך מי התהום.

2.3.1 תרחישים של חידוש הפקת מי התהום במרחב רמת השרון וטיפול לסילוק המזהמים ללא שאיבות לשיקום במוקד כתם הזיהום במתחם התע"ש

תרחיש S1

בתרחיש זה מערך שאיבות ההפקה ממי התהום זהה לזה שהיה ב-2004: הפקה מלאה מקידוחי הרצלייה, ישנה עדין הפקת מי תהום חלקית במרחב רמת השרון כאשר הקידוחים רמת השרון א, ב, ד, ה ו-ו וקידוחי צפון תל-אביב שואבים ממי אקויפר החוף. תרחיש S-1 זהה ל S1 אך מניח שע"י איטום בריכות האיגום באתר "מלבין" יפסקו התשטיפים של פרכלורט אל מי התהום מתוך האוגר הקיים של פרכלורט בחתך הקרקע.

תרחיש S2 (חלופת האפס)

תרחיש המייצג את המצב הקיים שבו ב 2005/6 הופסקה הפקת מי התהום בכל הקידוחים ברמת השרון וממרבית הקידוחים בצפון תל אביב. תרחיש S2-1 זהה ל S2 אך מניח שע"י איטום בריכות האיגום באתר "מלבין" יפסקו התשטיפים של פרכלורט אל מי התהום מתוך האוגר הקיים של פרכלורט בחתך הקרקע.

תרחיש S3

התרחיש מדמה מצב שבו ב 2005/6 הופסקו השאיבות גם בקידוחי הרצלייה בנוסף לסגירת הקידוחים ברמת השרון וצפון תל אביב. תרחיש S3-1 מניח שאין חילחול וזיהום של מי התהום מפרכלורט מחתך הקרקע שב"מלבין".

תרחיש S4 (זהה לתרחיש S3-1)

תרחיש S5 - חיזוי תפרוסת המזהמים כתלות באפשרות להפחתת נפחי ההפקה העתידיים מאקויפר החוף.

התרחיש מדמה מצב שבו ב 2005/6 הופסקו השאיבות גם בקידוחי הרצלייה בנוסף לסגירת הקידוחים ברמת השרון וצפון תל אביב (כמו S3), אך ב 2010 יחודשו השאיבות עם ספיקה כוללת שקטנה ב 26% באזור הרצלייה וספיקה כוללת נמוכה ב 51% מקידוחי תל אביב צפון.

תרחיש S6 – חיזוי הפרוס עתידי של פרכלורט כאשר ערכי החדור יפחתו ב-20% לעומת המצב המשוער שקיים היום ושימש אותנו במודל הזרימה עד ל-2004.

התרחיש מדמה מצב שבו ב 2005/6 הופסקו השאיבות גם בקידוחי הרצלייה בנוסף לסגירת הקידוחים ברמת השרון וצפון תל אביב (כמו S3), אולם ההעשרה לאקויפר תפחת במהלך השנים הבאות ב 20%.

תרחיש S7

תרחיש 7 דומה בבסיסו לתרחיש S2, המייצג את המצב הקיים שבו ב 2005/6 הופסקה הפקת מי התהום בכל הקידוחים ברמת השרון ומרבית הקידוחים בצפון תל אביב וקידוחי ההפקה בצפון, באזור הרצלייה שואבים כרגיל. החל מ-2008 חוזרים חלק מקידוחי צפון תל-אביב לשאיבה עם תפוקה של 0.2 מיליון מטרים מעוקבים בשנה מתל אביב צפון 7, ו ל-0.5 מיליון מטרים מעוקבים בשנה מכל אחת מהבארות תל אביב צפון 2, 3, 6, ו 6א. תרחיש S7-1 מניח שבעקבות האיטום של הברכות שב"מלבין", פסק החילחול והזיהום של מי התהום מפרכלורט מתוך חתך הקרקע.

תרחיש S8

תרחיש 8 דומה בבסיסו לתרחיש S2, המייצג את המצב הקיים שבו ב 2005/6 הופסקה הפקת מי התהום בכל הקידוחים ברמת השרון ומרבית הקידוחים בצפון תל אביב. קידוחי ההפקה באזור הרצלייה שואבים כרגיל. החל מ-2008 חוזרים (כמו ב S7) חלק מקידוחי צפון תל-אביב לשאיבה עם תפוקה של 0.2 מיליון מטרים מעוקבים בשנה מתל אביב צפון 7, ו ל-0.5 מיליון מטרים מעוקבים בשנה מכל אחת מהבארות תל אביב צפון 2, 3, 6, ו 6א. בנוסף, מחדשים את ההפקה גם מ קידוחי רמת השרון בהיקף שאיבות שהיה ב 2004. תרחיש S8-1 מניח שבעקבות האיטום של הברכות שב"מלבין", פסק החילחול והזיהום של מי התהום מפרכלורט מתוך חתך הקרקע.

2.3.2 תרחישים לשיקום מי התהום במוקד כתם הזיהום במתחם התע"ש.

תרחיש RP1

התרחיש מבוסס על נפח ופרוס הפקת מי התהום במרחב רמת השרון כפי שהוא קיים מאז 2005 ועד היום כאשר קידוחי ההפקה באזור רמת השרון וצפון תל-אביב סגורים (תרחיש S2). בתרחיש זה אמורים להפיק כ-100 מטרים מעוקבים מים בשעה לצורך טיפול והשבה משני קידוחי הפקה: באזור סלע ב' שבמוקד הזיהום ובאזור רמת השרון ז' בחלקו המערבי של מוקד הזיהום. בסך הכל מדובר בהפקה של 200 מ³/שעה של מי תהום ממוקד הזיהום לצורך טיפול. תרחיש RP1-1 בודק את אותם הנתונים למצב שבו אוטמים את השטח המזוהם שבסמוך לאתר "מלבין" למניעת המשך השטיפה של פרכלורט מתוך התווך הלא רווי.

תרחיש RP2

תרחיש זה מבוסס על מצב השאיבות הקיים (תרחיש S2) כאשר ספיקות ההפקה משני הקידוחים שבאזור סלע ב' ורמת השרון ז' הוכפלו לכ-200 מטרים מעוקבים לשעה מכל קידוח. סה"כ הפקה של 400 מטרים מעוקבים לשעה לצורך טיפול והשבה. תרחיש RP2-1 בוחן את אותם הנסיבות למצב שבו אוטמים את פני השטח למניעת המשך חידור של פרכלורט מתוך הלא רווי.

תרחיש RP3

תרחיש זה מבוסס על מצב השאיבות הקיים נכון להיום (תרחיש S2) כאשר בנוסף מפיקים 400 מטרים מעוקבים לשעה לצורך טיפול והשבה אבל מ-4 בארות הפקה (ולא מ-2 בארות כמו ב-5.1 – RP2)

שפזורות לאורך ציר מוקד הזיהום באזור הקידוחים: רמת השרון ז', סלע ב', T101 ו-T10. ב RP3-1
אנו בוחנים את אותם הנסיבות למצב שבו נפסקת התרומה של פרכלורט מתווד הרווי לאחר שאוטמים
את פני השטח.

תרחיש RP4

תרחיש זה מבוסס על ההנחה שב-2007 נפסקת ההפקה גם מקידוחי הרצלייה בנוסף לסגירת קידוחי
ההפקה ברמת השרון וצפון תל-אביב (תרחיש 3) לצורך מניעת ההתפשטות שלעננת הזיהום לעבר
הרצלייה. בתרחיש הנוכחי ההפקה לצורך טיפול ושאיבה היא בספיקות של 400 מטרים מעוקבים לשעה
מ-4 בארות הפקה לאורך ציר המוקד של פרוס המזוהמים בדומה ל-5.3 (שאיבה והפקה ברמת השרון
ז', צלע ב', T101 ו-T10).

ב RP4-1 נבחנת ההשפעה של איטום פני השטח ומניעת המשך חדירת מזהמים מהתווד הלא רווי אל תוך
מי התהום.

תרחיש RP5

תרחיש זה דומה ל- RP3, אולם הפעם שאיבות ההפקה לצורך טיפול והשאיבה הן מ-4 בארות בספיקה
כוללת של 400 מטרים מעוקבים לשעה (100 מכל הבאר) שפזורות על פני מרחב כתם הזיהום ולא רק
לאורך ציר מוקד הזיהום (רמת השרון ז' T13 (במקום סלע ב'), T13 (במקום T101) ו-T10). מטרת
התרחיש לבחון את מדת ההשפעה לפיזור קידוחי ההפקה בתוך ושולי עננת המוקד שבו אוטמים את פני
השטח באזור מלבין.

2.3.3 תרחישים משולבים של שאיבות לשיקום במוקד הזיהום במתחם התע"ש תוך חידוש הפקה
חלקית של מי תהום במרחב רמת השרון וצפון תל אביב

תרחיש RP6

בתרחיש RP-6, מתבצעות שאיבות לטיפול ושיקום מתוך מוקד הזיהום משני קידוחי הפקה: האחד
בקרבת סלע ב' והשני באזור "מלבין" ב-T10 (למשל) בספיקה כוללת של 400 מ³/שעה (200 מ³/שעה
מכל אחד משני הקידוחים הני"ל). בתרחיש זה במקביל להפקה הנמשכת מקידוחי הרצלייה, חוזרות חלק
מבארות ההפקה של רמת השרון (בארות רמת השרון א, ב, ד, ה ו-ו) להפיק מי תהום לטיפול בספיקות
שהיו נהוגות עד לסגירת הקידוחים ב-2004. במקביל, נמשכת ההפקה מקידוח הרצלייה אך קידוח תל
אביב (עיר צפון) סגורים למעט אזור צהלה והכפר הירוק.

תרחיש RP7

בתרחיש זה מתרחבת ההפקה של מי תהום לטיפול והשאיבה במרחב רמת השרון מתרחבת גם לקידוחי
תל-אביב צפון. תרחיש RP7 בוחן את השיפור ברמת הזיהום ובהשתרעותו של ענן המזהמים אם
במקביל להפקה הנמשכת מקידוחי הרצלייה וחידוש ההפקה ברמת השרון, מחדשים את השאיבות גם

בעיר צפון 2, 3, 6, א6. החל מ 2007/8 קידוחים אלו יפיקו כ- 0.5 מיליון מטרים מעוקבים לשנה כל אחד בנוסף לחידוש ההפקה מרמת השרון וטיפול ממוקד במרכז כתם הזיהום בשיעור כולל של כ 400 מ³ שעה.

תרחיש RP8

בתרחיש זה ישנה הפקה לטיפול והשאיבה מהמוקד בספיקה כוללת של 400 מטרים מעוקבים לשעה מ- 2 קידוחים (רמת השרון ז' וסלע ב'; 200 מטרים מעוקבים מכל אחת) והפקה לטיפול והשבה רק מקידוחי תל-אביב עיר צפון. תרחיש RP8 בוחן את האפשרות שרמות הזיהום במרחב רמת השרון לא מאפשרות הפקה לצרכים עירוניים ולכן, במקביל להפקה הנמשכת מקידוחי הרצליה בהיקף השאיבות של 2004, ולהליך שאיבות השיקום במרכז כתם הזיהום מתלווה הפקה מקידוחי צפון תל אביב (תל אביב צפון 2, 3, 6, א6) בהיקף של M0.5 מטרים מעוקבים בשנה מכל אחד מהקידוחים.

תרחיש RP9

תרחיש RP9 דומה לזה של RP6 ובו חן את הפרוס המרחבי וקצב ההשתנות הריכוזים של פרכלורט במהלך 30 שנים הבאות במוקד אך השאיבה לטיפול והספקה במוקד במתחם התע"ש הוגדלה לכדי ספיקה מצטברת של 600 מ³/שעה מארבע בארות הפקה לאורך ציר כתם הזיהום. בנוסף מפעילים ארבע בארות הפקה ברמת השרון (רמת השרון א', ב', ד', ו-ה') בספיקות שהיו נהוגות ב-2004.

תרחיש RP10

בתרחיש RP10 בודקים את תפוסת הפרכלורט בדומה ל-RP9 עם שאיבה מוגדלת לטיפול והספקה במוקד במתחם התע"ש בספיקה מצטברת של 600 מ³/שעה מארבע בארות הפקה לאורך ציר כתם הזיהום ובתוספת שאיבות הפקה ברמת השרון (רמת השרון א', ב', ד', ו-ה') בספיקות שהיו נהוגות ב-2004) ומקידוחי תל-אביב עיר צפון (2, 3, 6, א6) עם ספיקה כוללת של כ-0.5 מיליון מטרים מעוקבים בשנה מכל קידוח מכל ארבעת הקידוחים.

תרחיש RP11

ב תרחיש RP11 השאיבה בשנת 2008 תחודש רק בחלק מקידוחי תל אביב צפון: TV2, TV3, TV6, TV7, TV6a; עם הפקה של כ-0.5M מ³/שנה מכל אחת מהבארות למעט 0.2M מ³/שנה מ-TV7. הטיפול במי התהום שבמוקד יחל רק ב-2012 לאחר תכנון והקמת מערך שאיבה וטיפול במזהמים. הטיפול במוקד הזיהום יהיה דומה למה שכבר נבחן בתרחיש הפקה קודם, (RP3) כאשר השאיבה תתבצע מארבע בארות הממוקמות לאורך ציר כתם הזיהום בפרכלורט (RH7, Sela B, T101, T10W) בספיקה של כ-100 מ³/שעה מכל אחת מהבארות הנ"ל.

תרחיש RP12

על פי התרחיש RP12 השאיבה של מי תהום להפקה וטיפול תחודש בשנת 2008 מקידוחי צפון תל אביב (TV2, TV3, TV6, TV6a, TV7); עם הפקה של כ-0.5M מ³/שנה מכל אחת מהבארות למעט 0.2M

מ³/שנה מ-TV7) וגם בחלק מקידוחי רמת השרון (לא כולל את RH3 ו-RH5) שיפיקו את אותן ספיקות כפי ששאבו ב-2004, לפני שנסגרו בשנת 2005. הטיפול במי התהום שבמוקד יחל רק ב-2012 לאחר תכנון והקמת מערך שאיבה וטיפול במזהמים. הטיפול במוקד הזיהום והשיקום יהיה דומה למה שכבר נבחן בתרחיש הפקה קודם, (RP3) כאשר השאיבה תתבצע מארבע בארות הממוקמות לאורך ציר כתם הזיהום בפרכלורט (RH7, Sela B, T101, T10W) בספיקה של כ-100 מ³/שעה מכל אחת מהבארות הנ"ל.

פרק 3

חיזוי פרוס של פרכלורט באקויפר החוף לתרחישים נבחרים של הפקת מי תהום במרחב רמת השרון ללא שאיבות לשיקום וטיפול במוקד כתם הזיהום

מחברים: אילון אדר, אלכס יקירביץ ומיכאל קוזניצוב

בפרק זה מוצגות תוצאות מודל ההסעה על פי פרוס מרחבי של ריכוזי הפרכלורט ופרוס שאיבות ההפקה ל-2004 (תרחיש מס' S1). על פי תרחיש זה ב-2004 ישנה עדין הפקת מי תהום חלקית במרחב רמת השרון כאשר הקידוחים רמת השרון א', ב, ד', ה' ו- ו' וקידוחי צפון תל-אביב שואבים ממי אקויפר החוף. כמו כן חושב פרוס ריכוזי פרכלורט למצב שבו הופסקו השאיבות והפקת מי התהום מכל קידוחי רמת השרון וממרבית קידוחי תל-אביב צפון (כמו תל אביב צפון 2, 6א, ו-7) (תרחיש S2). על פי תרחיש זה ממשיכים בהפקה סדירה מקידוחי הרצלייה מצפון מערב למתחם התע"ש, ומקידוחים נבחרים בצפון תל אביב בדרום מערב.

תרחישים S1 ו-S2 שימשו אותנו לצורך בנייה והתאמת מודל הזרימה למצב פרוס הפרכלורט בשנים 2004-5. התרחישים הללו שמשו גם כמסד לבחינות הרגישות של המודל לפרמטרים הידרולוגיים – הידראוליים נבחרים. בהמשך, תרחיש S2, שמייצג את מצב האקויפר בשנים 2005-2006, משמש גם כבסיס להשוואה בין התרחישים השונים לפרוס המרחבי, מסלולי התקדמות וקצב התנועה של פרכלורט לעשרים וחמש השנים הבאות.

3.1 תחזית הידרולוגית ופרוס פרכלורט לתרחישים S1, S2, S3

איור 3.1 מציג את העומד הפיזומטרי הצפוי בעוד כ-25 שנים באקויפר העליון בשלוש חלופות תפעול של האקויפר במרחב רמת השרון:

תרחיש S1 מדמה מערך שאיבות ההפקה ממי התהום זהה לזה שהיה ב-2004: הפקה מלאה מקידוחי הרצלייה, ישנה עדין הפקת מי תהום חלקית במרחב רמת השרון כאשר הקידוחים רמת השרון א, ב, ד, ה ו- ו' וקידוחי צפון תל-אביב שואבים ממי אקויפר החוף. תרחיש S-1 זהה ל S1 אך מניח שע"י איטום בריכות האיגום באתר "מלבין" יפסקו התשטיפים של פרכלורט אל מי התהום מתוך האוגר הקיים של פרכלורט בחתך הקרקע.

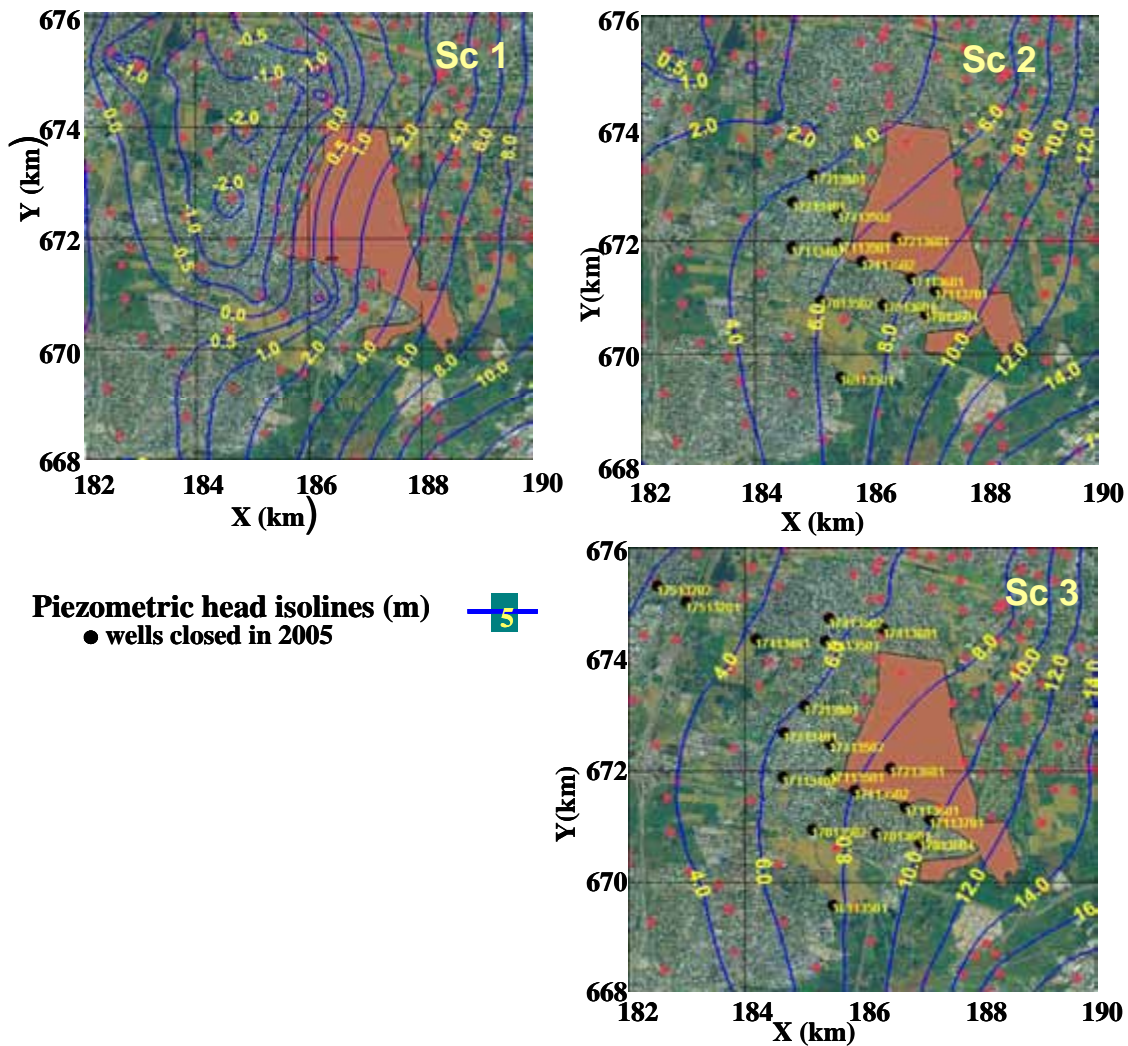
תרחיש S2 מייצג את המצב הקיים שבו ב 2005/6 הופסקה הפקת מי התהום בכל הקידוחים ברמת השרון וממרבית הקידוחים בצפון תל אביב. תרחיש S2-1 זהה ל S2 אך מניח שע"י איטום בריכות האיגום באתר "מלבין" יפסקו התשטיפים של פרכלורט אל מי התהום מתוך האוגר הקיים של פרכלורט בחתך הקרקע.

תרחיש S3 מדמה מצב שבו ב 2005/6 הופסקו השאיבות גם בקידוחי הרצלייה בנוסף לסגירת הקידוחים ברמת השרון וצפון תל אביב. תרחיש S3-1 מניח שאין חילחול וזיהום של מי התהום מפרכלורט מחתך הקרקע שב"מלבין".

על פי תרחיש S1, אילו לא היו נפסקות השאיבות באזור צפון-תל-אביב ורמת השרון שקע הרצלייה היה מתרחב ומתאחד עם השקע ההידרולוגי של רמת השרון כאשר המפלסים באזורים נרחבים היו יורדים למעלה משנח מטרים מתחת לפני המים.

בהנחה שמשטר ההפקות של מי התהום באזור הנהוג כיום יישאר ללא שינוי (תרחיש S2), השקע ההידרולוגי של רמת השרון נעלם עם רכיבי זרימה ברורים לצפון מערב לכיוון שדה השאיבות של הרצלייה. ממרכז רמת השרון ודרומה, קווי הזרם הם לכיוון מערב עם רכיבי זרימה לדרום מערב, לכיוון צפון תל אביב.

Piezometric head in 2030, Upper aquifer



איור 3.1 תחזית העומד הפיזומטרי הצפוי בעוד כ-25 שנים באקוויפר העליון בשלוש חלופות תפעול של האקוויפר במרחב רמת השרון: S1, S2, ו-S3.

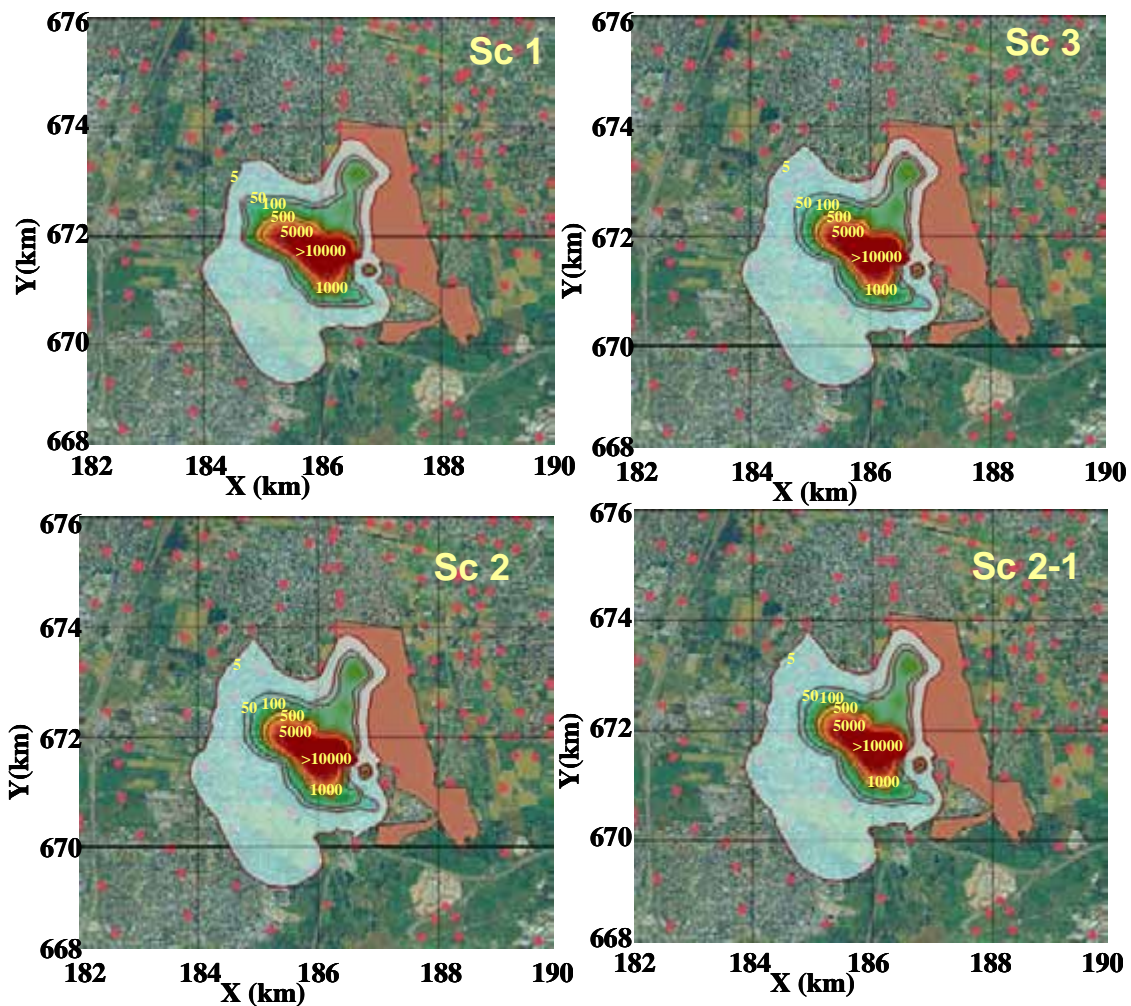
איורים 3.2, 3.3, ו-3.4 מציגי את הפרוס המרחבי הצפוי של פרכלורט לתרחישים הללו בשנים 2010, 2020, ו-2030 בהתאמה. בשלושת האיורים האחרונים מוצגת התפרוסת המרחבית של הפרכלורט גם לתרחיש S2-1 שעל פיו יעשה ניסיון לאטום ולנתק את התוודך הלא רווי (את חתך

הקרקע המזוהם (בפרכלורט) ממי התהום ובכך למנוע את המשך כניסת התשטיפים מזוהמים אל אקויפר.

השוואה בין תרחיש S2 ל S2-1 ממחישה שבמצב הנוכחי כאשר לא מחדשים את שאיבות ההפקה ולא מקימים מערך שאיבות לשיקום במוקד הזיהום, ההשפעה של האיטום של הבריכות הישנות באתר מלבין היא שולית עם שיפור מזערי באזור מוקד הזיהום בלבד. באיור 3.4 ניתן לראות את הפרוס הצפוי של הפרכלורט בעוד 25 שנה ביחס לפרוס הפרכלורט באקויפר ב-2005/6.

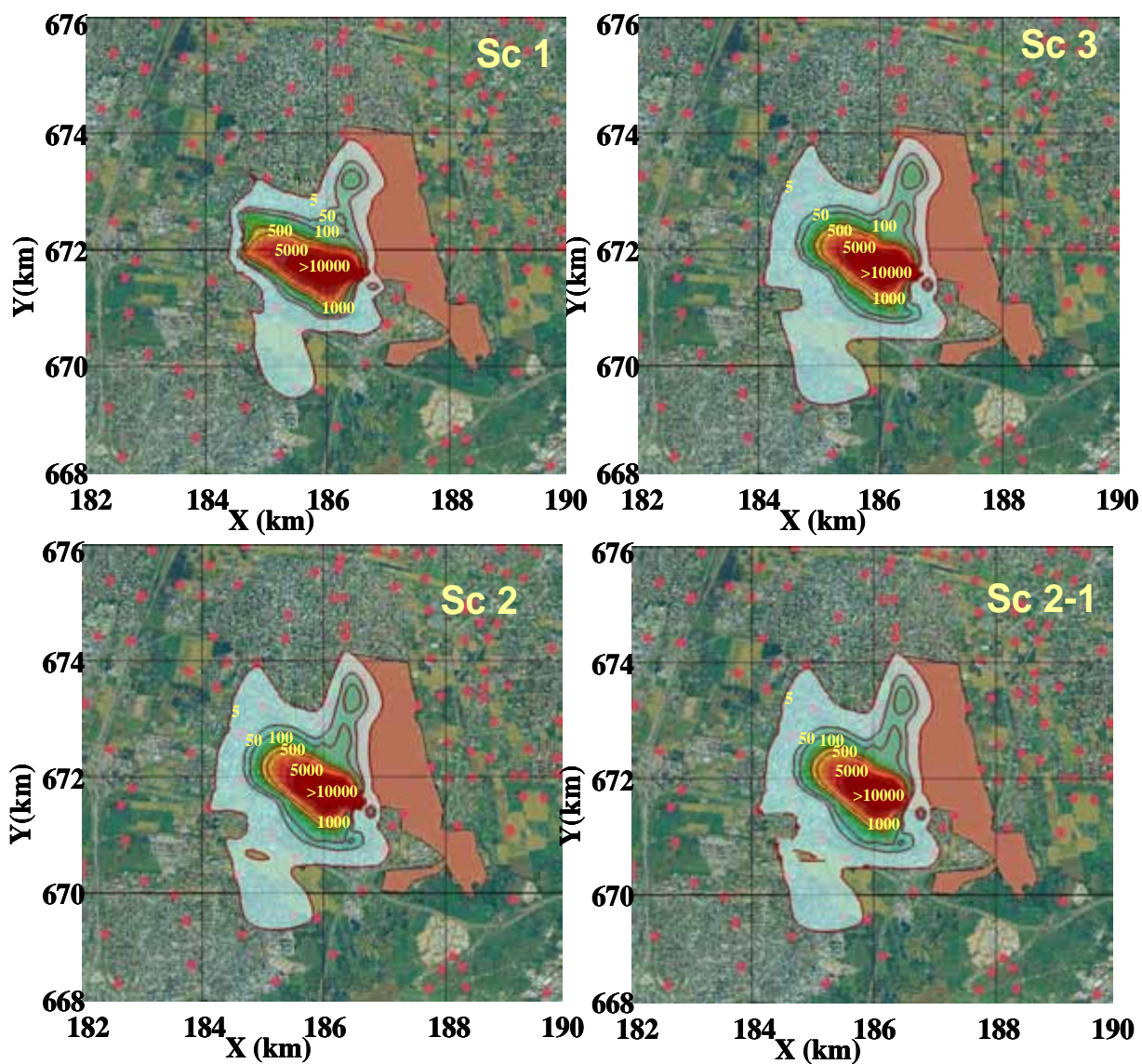
השוואה בין הצפוי על פי תרחיש S2 למצב כיום מראה בברור שבמצב של "שב ואל תעשה" שולי הזיהום יתפוגגו (עם ובלי כיסוי הבריכות הישנות באתר מלבין). יחד עם זאת מוקד השטח המזוהם יתרחב מערבה וצפונה תוך זיהום כל חתך האקויפר, אם כי בריכוזים יותר נמוכים כתוצאה ממהול עם מי העשרה וזרימות של מים נקיים ממזרח.

Perchlorate concentration in 2010, Upper aquifer



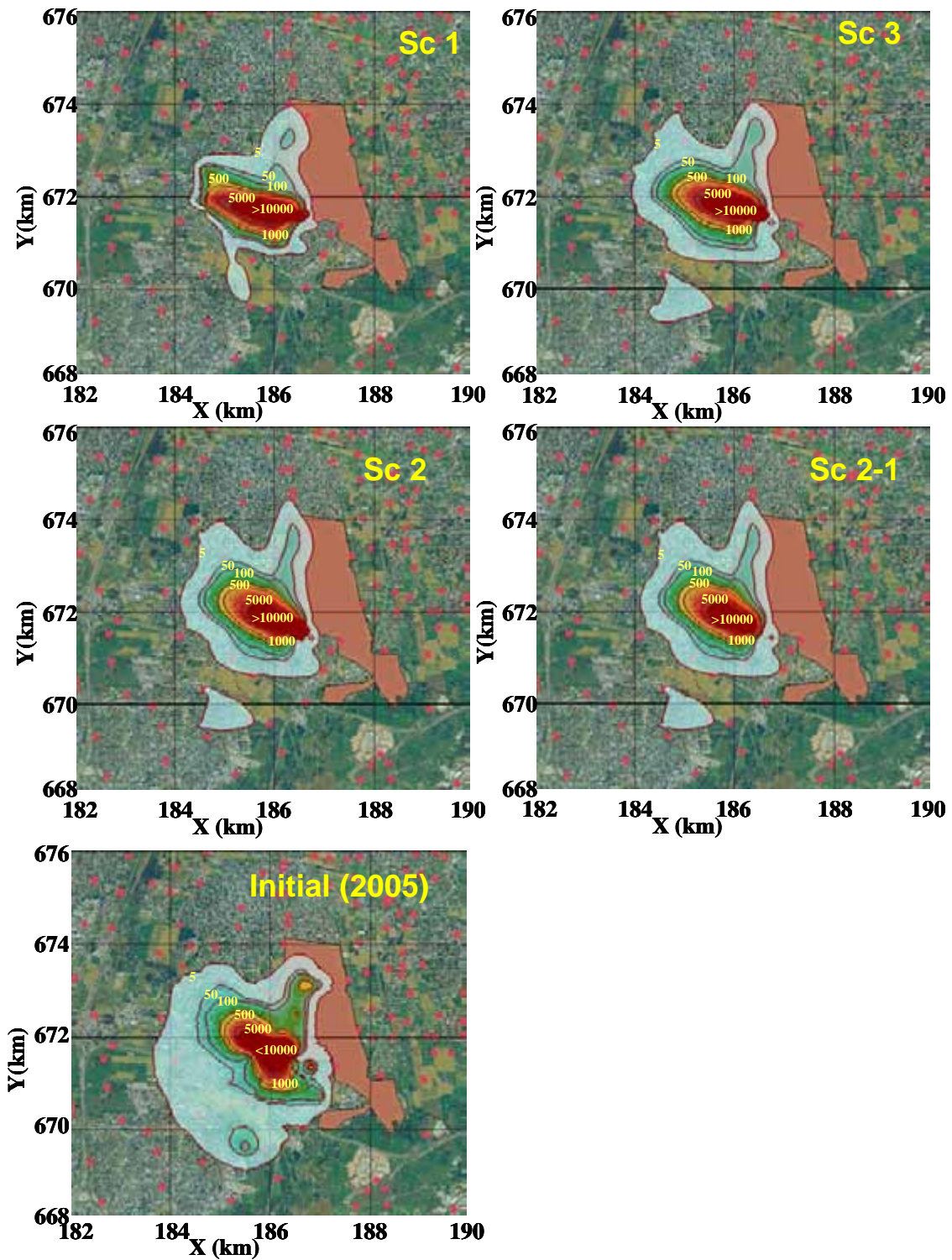
איור 3.2 הפרוס המרחבי הצפוי של פרכלורט לתרחישים S1, S2, S2-1 ו S3. בשנת 2010 בהתאמה.

Perchlorate concentration in 2020, Upper aquifer



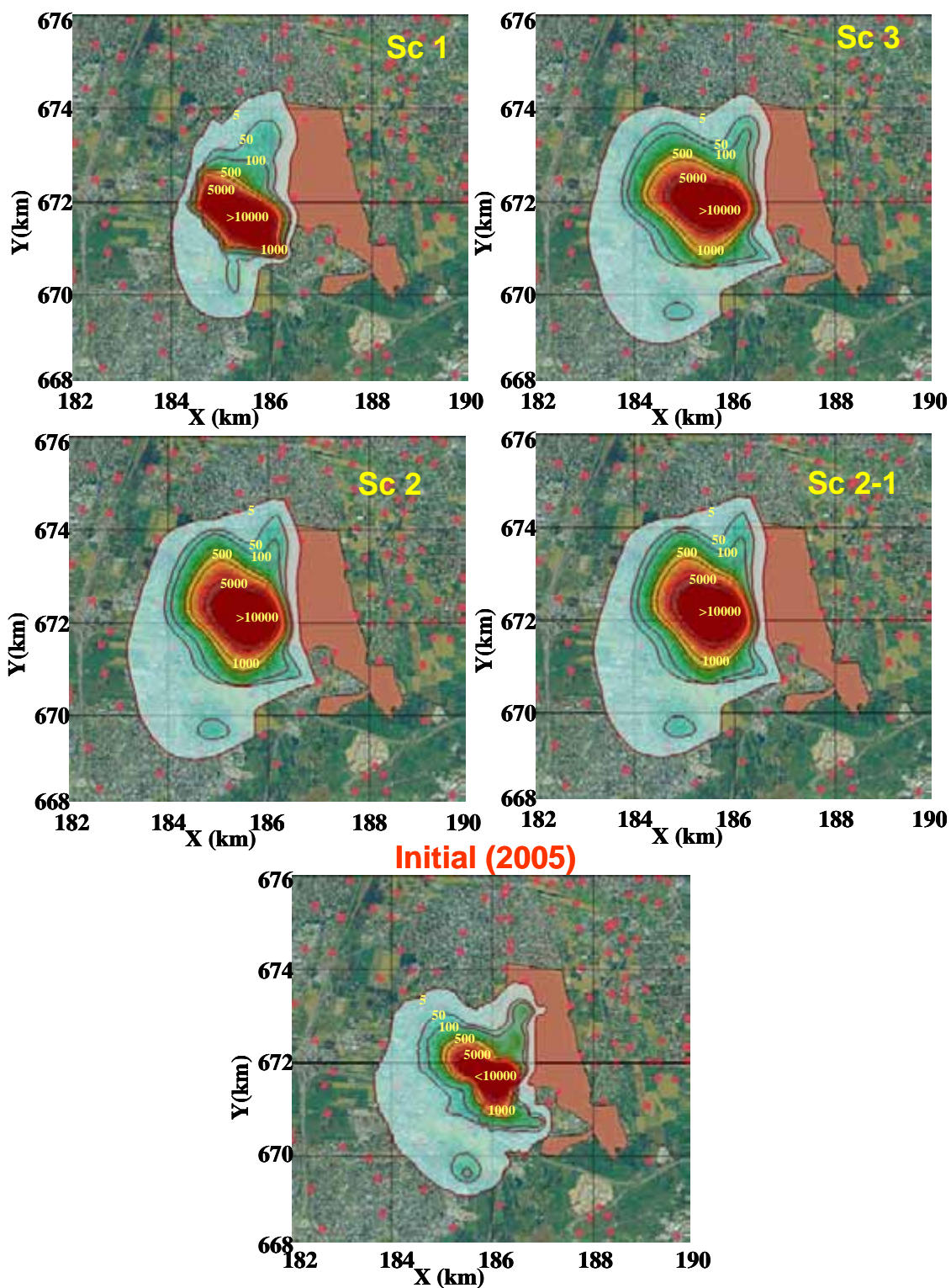
איור 3.3 הפרוס המרחבי הצפוי של פרכלורט לתרחישים S3 ו S2-1, S2, S1 בשנת 2020 בהתאמה.

Perchlorate concentration in 2030, Upper aquifer



איור 3.4 הפרוס המרחבי הצפוי של פרכלורט לתרחישים S1, S2, S2-1 ו S3 בשנת 2030 בהתאמה.

Perchlorate concentration in 2030, Low aquifer



איור 3.5 הפרוס המרחבי הצפוי של פרכלורט באקויפר התחתון לתרחישים S1, S2, S2-1 ו S3 בשנת 2030 בהתאמה.

איור 3.5 מציג את הפרוס הצפוי של הפרכלורט בחלקו התחתון של האקוויפר ב-2030. השוואה לאיור 3.4 מראה בברור שאילו לא היו מפסיקים את ההפקה בשדה הקידוחים של רמת השרון ולא מזה של צפון תל אביב (תרחיש S-1), מוקד הזיהום היה מתכנס למרכז השקע ההידרולוגי והשתרעות כתם הזיהום במרחב הייתה מצטמצמת ומתמקדת בתוך השקע ההידרולוגי שהיה נוצר. לעומת זאת, על פי התרחיש של היום (S2), וגם על פי התרחיש שבו קידוחי הרצלייה היו נסגרים, כתם הזיהום צפוי להתפשט בתחתית האקוויפר בעיקר לכיוון דרום מערב, לצפון תל אביב. גם במקרה זה, אין כל שיפור בהיקף הזיהום גם אם היו אוטמים את מקור הזיהום באתר מלבין.

3.2 ספיקות מי תהום מחושבות מבעד לגבולות המודל במהלך 25 שנים (2005-2030).

מודל הזרימה מניח העשרה טבעית של כ-705M³ במהלך 25 שנה והעשרה מלאכותית (הזרקה לבארות העשרה) בסך של כ-3.5M³ בלבד. זאת בהתבסס על כיול מודל הזרימה לשלושת העשורים האחרונים.

אילו לא הופסקו השאיבות באזור רמת השרון ומשטר ההפקה שהיה נהוג ב-2004 היה נמשך במהלך 25 השנים הבאות (תרחיש S1), סך כל ההפקה הייתה מסתכמת בכ-793M³. נפח הכניסות בעיקר דרך הגבול המזרחי היה מסתכם בכ-218M³ (טבלה 3.1). במהלך אותה תקופה, נפח המים שהיה יוצא מהאזור בעיקר מערבה לעבר הרצלייה ולעבר המוצא לים נאמד בכ-123M³ בלבד.

טבלה 3.1 סך כל ההפקה נמשך במהלך 25 השנים הבאות למשטר ההפקה שהיה נהוג ב-2004 (תרחיש S1)

Flow out of model domain	Discharge (m ³)	Percentage of Total
Pumping Wells	793022464	86.5
Constant head boundary (sea)	123727560	13.5
Total	925263360	100
Flow into model domain	Recharge (m ³)	Percentage of Total
Injection Wells	3560625	0.4
Aquifer replenishment	704860800	76.0
Constant head boundary	218639824	23.6
Total	927061249	100

טבלה 3.2 מציגה את תחשיבי מאזני המים במרחב המודל לתרחיש S2 שמניח כי משטר הפקת מי התהום והמצב ההידרולוגי הנהוגים כיום ימשיכו גם במהלך 25 השנים הבאות. על פי מודל זה, ההפקה מצטמצמת מ-793M³ לכדי 640M³ ואילו הזרימות מערבה להרצלייה וליים עולות על 152M³ ב-25 שנה. צמצום בשאיבות מקטין את הגרדיינט ההידראולי אל עבר רמת השרון וכשכך הספיקה אל תותך אזור המודל נדרך הגבול המזרחי תפחת לכדי 170M³.

טבלה 3.2 תחשיב מאזני המים במרחב המודל לתרחיש S2 שמניח כי משטר הפקת מי התהום והמצב ההידרולוגי הנהוגים כיום ימשיכו גם במהלך 25 השנים הבאות

Flow out of model domain	Discharge (m ³)	Percentage of total
Pumping Wells	641483712	80.8
Constant head boundary (sea)	152261312	19.2
Total	793745024	100
Flow into model domain	Recharge (m ³)	Percentage of total
Injection Wells	3560625	0.4
Aquifer replenishment	704860800	80.2
Constant head boundary	170927648	19.4
Total	879349073	100

במצה והיינו מפסיקים היום גם את בשאיבות באזור הרצלייה בנוסף לסגירת הבארות במרחב רמת השרון וצפון תל אביב (תרחיש S3) סך כל ההפקה של מי התהום במרחב המודל היתה יורדת לכדי 560M מ³ בלבד ואילו הזרימות מערבה היו פוחתות לכדי 146M³ בעיקר לים ומול לעבר צפון תל אביב (טבלה 3.3).

טבלה 3.3 תחשיב מאזני המים במרחב המודל לתרחיש S3 ללא שאיבות באזור הרצלייה בנוסף לסגירת הבארות במרחב רמת השרון וצפון תל אביב

Flow out of model domain	Discharge (m ³)	Percentage of total
Pumping Wells	560291200	76.6
Constant head boundary (sea)	171594944	23.4
Total	731886144	100
Flow into model domain	Recharge (m ³)	Percentage of total
Injection Wells	3560625	0.4
Aquifer replenishment	704860800	82.6
Constant head boundary	145423888	17.0
Total	853845313	100

אינטגרציה של עננת הזיהום בפרכלורט לכל עומקו של האקויפר ועל פני כל מרחב המודל אומדת את סך כל המסה של פרכלורט בתווך הרווי בכך 1016 טון. אומדן מסת הפרכלורט שאמורה לחלחל אל האקויפר מתוך חתך הקרקע המזוהמת באזור מלבין במהלך 25 השנים הבאות מסתכמת בכ- 280 טון (טבלה 3.4). על פי מודל ההסעה, אילו נמשכה הפקת מי התהום כרגיל ולא היו נסגרות בארות רמת השרון וצפון תל אביב, הבארות שהיו שאיבות מי תהום מזוהמים, היו "מסלקות" כ-70 טון של פרכלורט ב-25 שנה. על פי תרחיש S2 כשמשטר ההפקה נשאר קבוע בדומה למצב הנוכחי, או על פי תרחיש S-3, שגם קידוחי הרצלייה חדלים להפיק מי התהום, הבארות שימשכו להפיק מי תהום וסלקו רק 1.0-1.2 טון של פרכלורט במהלך 25 השנים הבאות כתלות בתרחיש בהתאמה. טבלה 3.4 מראה שחיפוי התר במלבין צפוי להוריד בסדר גודל אחד (1440 מג"ל לכ-136 מג"ל) את מקסימום ריכוז הפרכלורט במרכזו של כתם הזיהום (קרי במוקד). לעומת זאת, כפי שנראה בהמשך, אין ב-???: הבריכות למנוע את המשך נדידת המזהם לעבר בארות ההפקה במוקד הזרימה ולא כדי לשנות את שינוי קצב הזיהום במוקד.

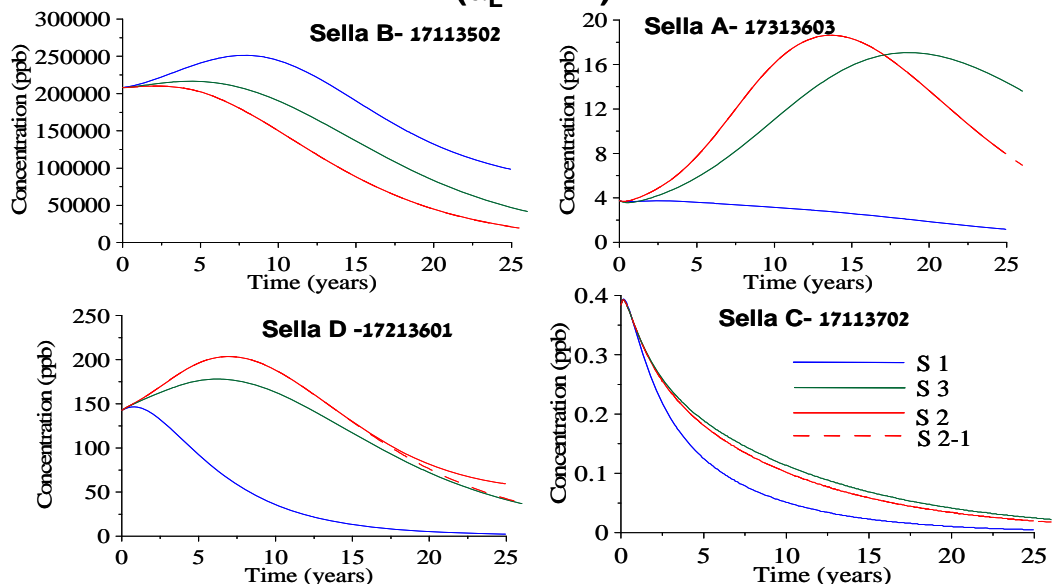
טבלה 3.4 מאזן מסה של פרכלורט לתרחישים S1, S2, S-1, ו S3.

Scenario	Mass balance components					
	Leakage from above soil (ton)	Sink to wells (ton)	Initial mass 2005 (ton)	Final mass 2030 (ton)	Balance error (%)	Max final conc. (ppm)
S 1	279.8	69.6	1016.4	1235.5	0.9	1495
S 2	279.8	1.2	1016.4	1342.2	4.6	1442
S 2-1	0	1.2	1016.4	1065.4	4.9	136
S 3	279.8	1.0	1016.4	1345.7	5.0	1458

3.3 תחזית השינוי בריכוז פרכלורט במהלך 25 השנים הבאות לתרחישים S1, S2, S3.

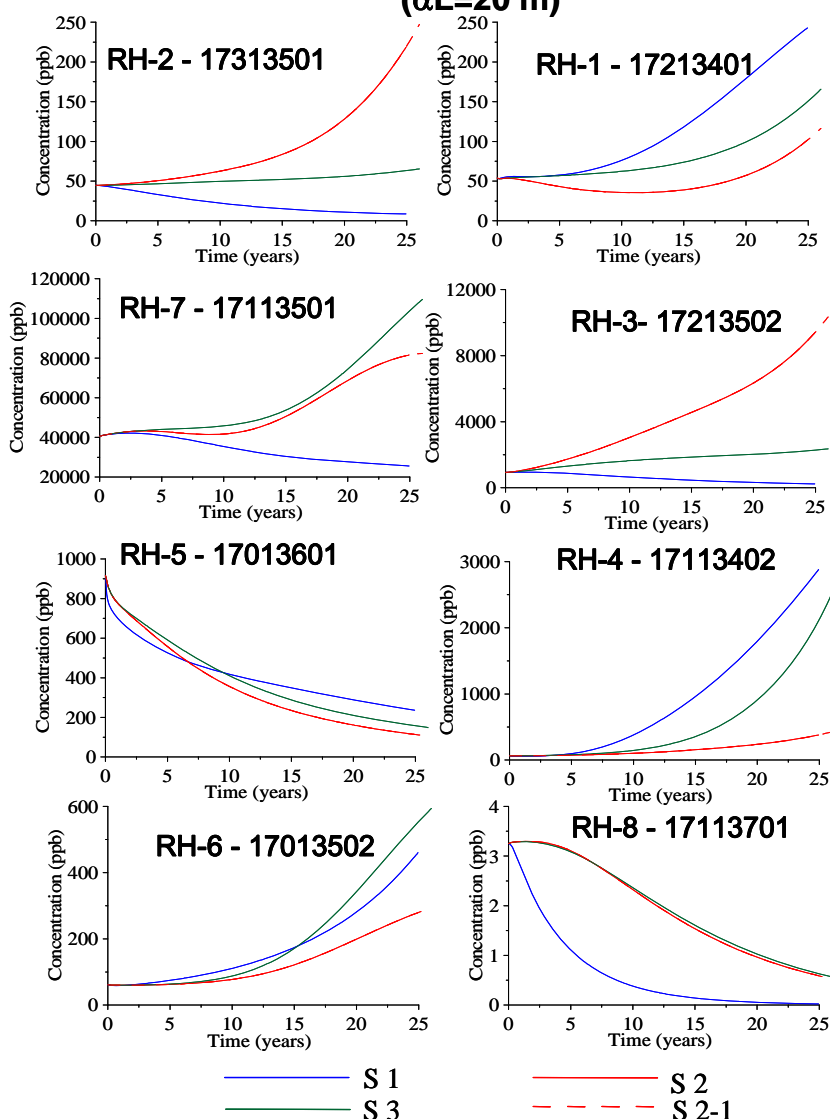
המשך הפקה מי התהום ללא סגירת הבארות ברמת השרון וצפון תל אביב (תרחיש S1) היה גורם למשיכת כתם הזיהום מערבה ולדרום מערב תוך כדי הורדת הריכוזים בקידוחים סלע א', סלע ד' שבמתחם התע"ש (איור 3.6). לעומת זאת, הריכוזים בשני הקידוחים הנ"ל צפויים לעלות במהלך כ-10-15 שנה לפני שיתחילו לרדת על פי התרחישים S2 ו-S3 בהתאמה. המודל לא צופה שינויים מהותיים: בהשתנות הריכוזים בקידוחים סלע ב' וסלע ג' בין שלושת התרחישים הנדונים. למיקום הקידוחים הנדונים בהמשך ראו איור 3.10.

Perchlorate concentration in TAAS wells during 2005-2030 ($\alpha_L=20$ m)



איור 3.6 תחזית השתנות ריכוז הפרכלורט באתרים נבחרים בתחום התע"ש.

Perchlorate concentration in Ramat Ha-Sharon wells during 2005-2030 ($\alpha L=20$ m)



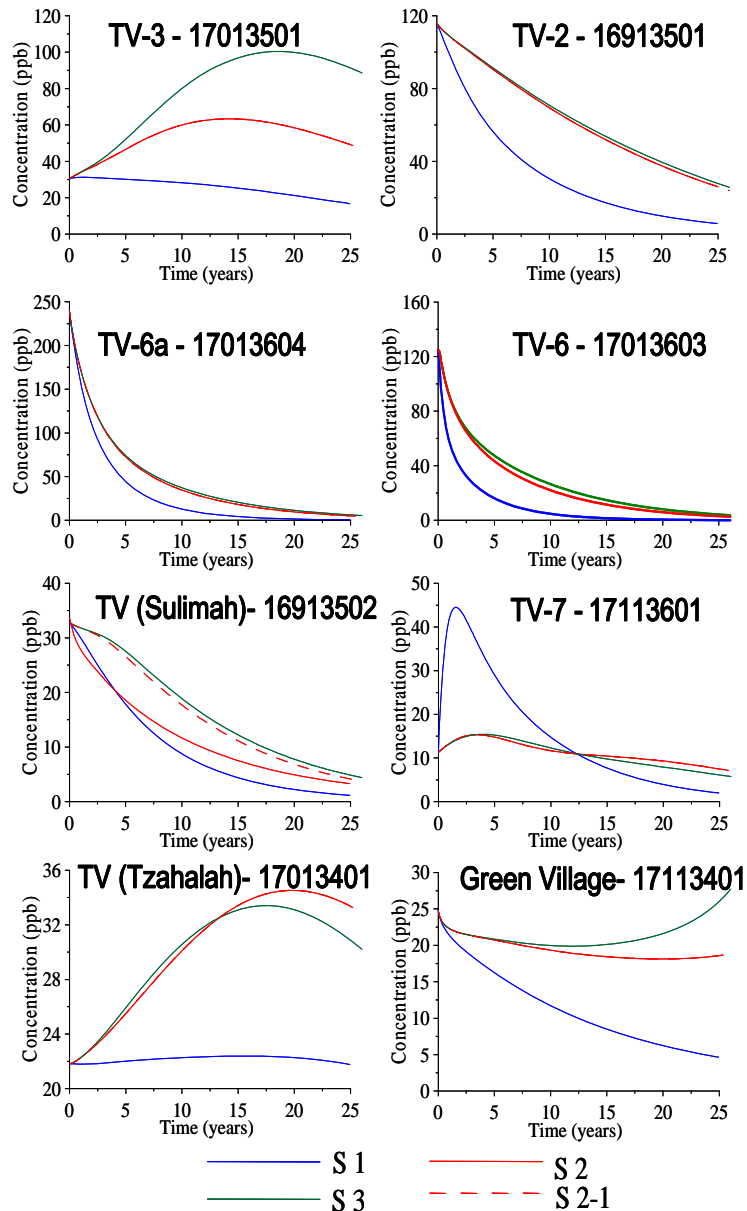
איור 3.7 תחזית השתנות ריכוז הפרכלורט באתרים נבחרים במרחב רמת השרון.

איור 3.7 מציג את הצפי לשינוי בריכוז הפרכלורט בקידוחים שבמרחב רמת השרון ממערב ומצפון מערב למתחם התע"ש. על פי תרחיש השאיבות S1, הריכוזים בקידוחים רמת השרון ב' (2), ג' (3), וברמת השרון ז' (7) היו צפויים לדעוך לעומת תחזית לעליה בריכוזים לתרחישים S2 ו-S3 כתלות במיקום הקידוחים ביחס למסלולי הזרימה וההסעה. על פי תרחיש S1 קצב העלייה של הריכוזים גבוה יותר תאשר על פי תחזית לתרחישים S2 ו-S3 בקידוחים רמת השרון א' (1) ורמת השרון ד' (4). על פי המודל, הפסקת ההפקה מקידוחי הרצלייה תשפיע במיוחד על אזור קידוחי רמת השרון ג' שם קצב הזיהום יקטן לעומת תרחיש S2, וברמת השרון ד' שם הקצב יגבר (יגדל). הפסקת הפקה של מי התהום מקידוחי רמת השרון ותל אביב צפון צפויה להגביר את קצב עליית ריכוז הפרכלורט בקידוחים תל אביב 3, צהלה ובאזור הכפר הירוק (איור 3.8). בכל שאר

הקידוחים (למעט תל אביב 7) ההבדלים אינם גדולים ולא מהותיים לא בערכי הריכוזים ולא בקצב ובמגמת השינוי.

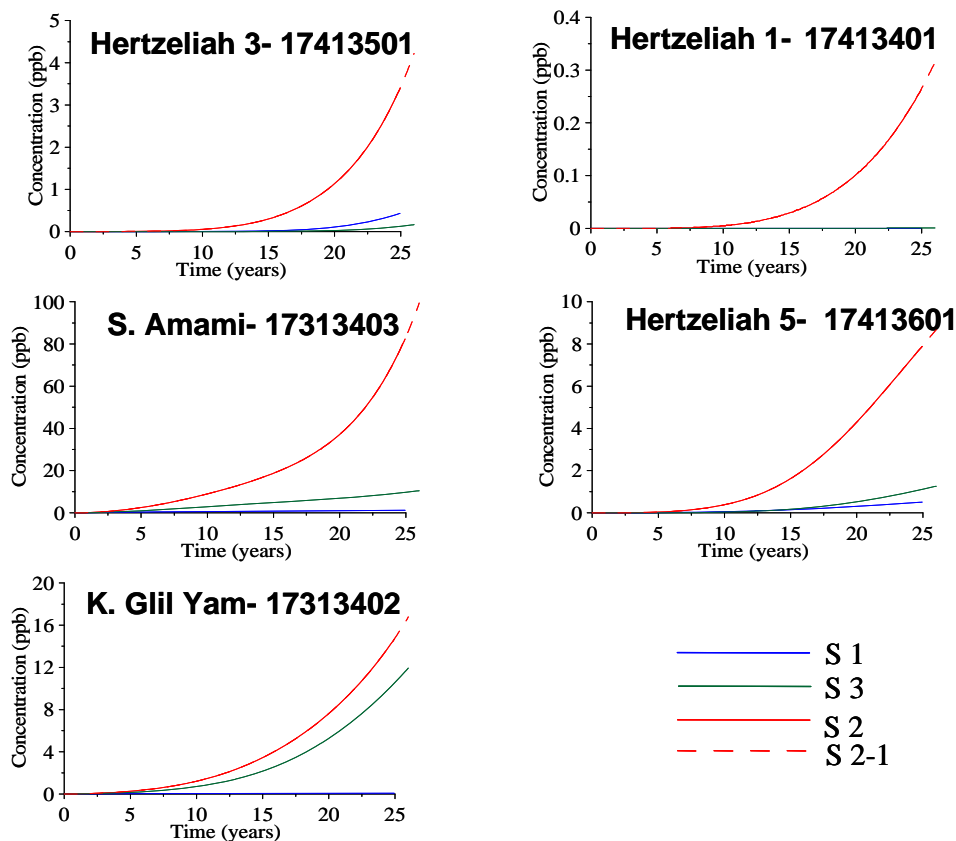
להפסקת ההפקה של מי תהום ברמת השרון צפויה להיות השפעה מהותית של שדה הקידוחים בהרצלייה (איור 3.9). חזית הזיהום צפויה להגיע לקידוחי הרצלייה בעוד כ- 5-10 שנים מאז 2005, למעט אזור ההפקה בשיכון עממי שם חזית הפרכלורט צפויה להגיע במהלך השנה או השנתיים הבאות עם עליה דרמטית בריכוזים תוך 10 שנים בלבד.

Perchlorate concentration in Tel Aviv (north) wells during 2005-2030 ($\alpha_L=20$ m)

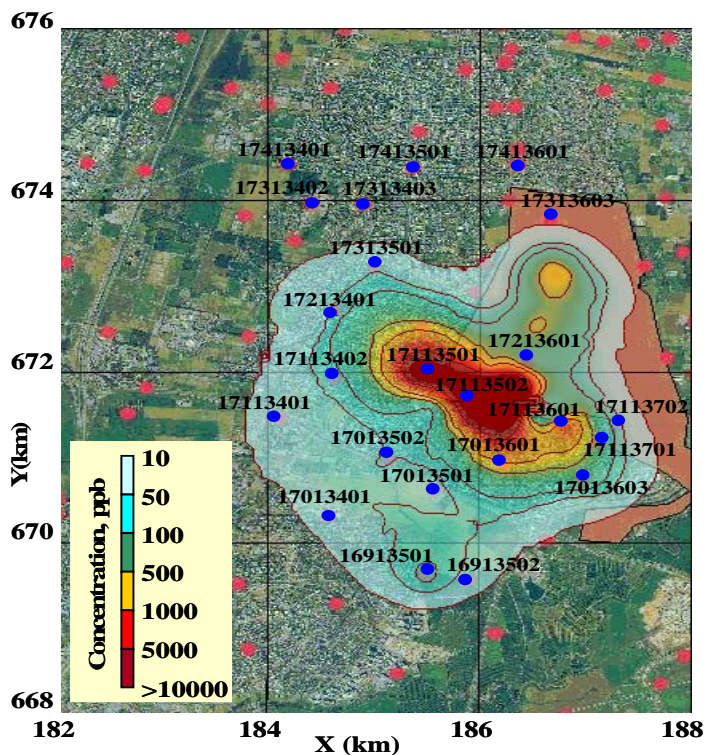


איור 3.8 תחזית השתנות ריכוז הפרכלורט באתרים נבחרים במרחב תל אביב צפון.

Perchlorate concentration in Hertzliah wells during 2005-2030 ($\alpha_L=20$ m)



איור 3.9 תחזית השתנות ריכוז הפרכלורט באתרים נבחרים באזור הרצלייה.

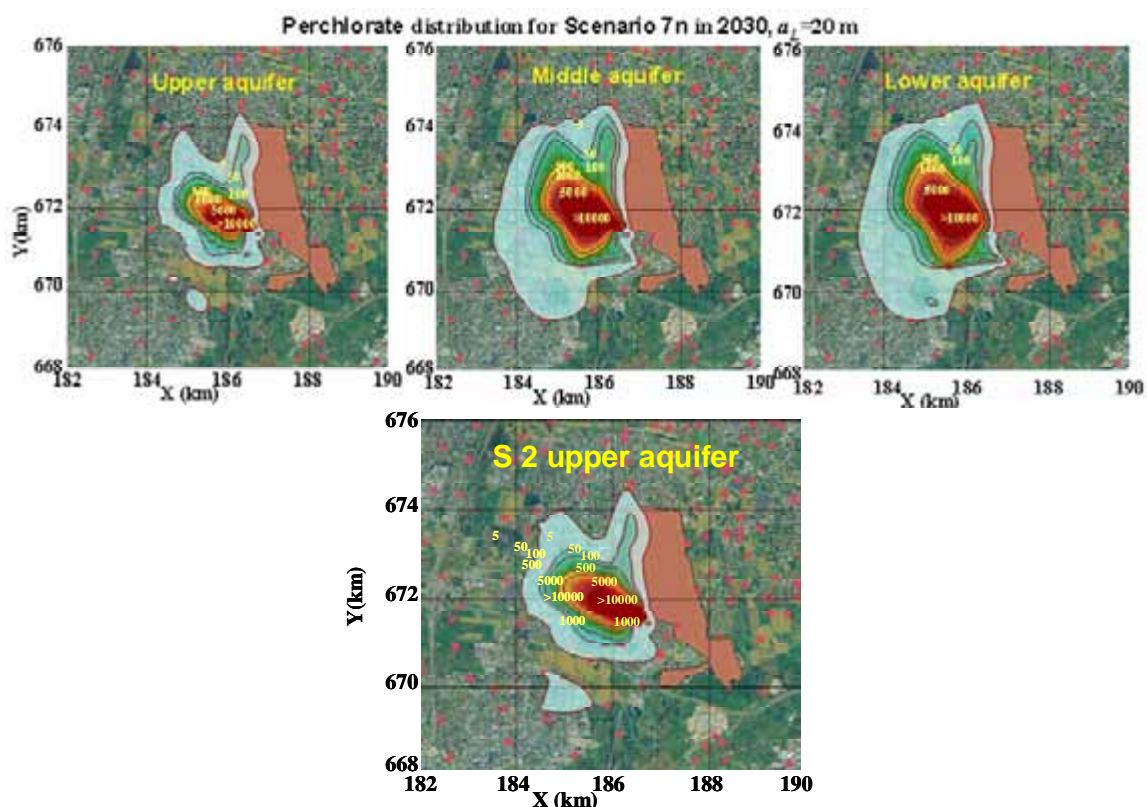


איור 3.10 מיקום הקידוחים הנידונים בפרק זה על רקע הפרוס הנוכחי של פרכלורט באקוויפר.

3.4 תחזית השינוי בריכוז פרכלורט במהלך 25 השנים הבאות לתרחיש S7 ביחס לתרחישים קודמים.

על בסיס מצב השאיבות הקיים כיום במרחב רמת השרון נדרשנו לשאלה מה יקרה באם יחודשו את השאיבות בקידוחי צפון תל אביב כאשר קידוחי הרצלייה מפיקים ברמת הספיקות הנוכחית ואילו קידוחי רמת השרון סגורים. בתרחיש זה כל אחד מקידוחי ההפקה: עיר צפון 2, 3, 6, 6א וצהלה מפיקים 0.5 מיליון מ³/ לשנה למעט עיר צפון 7 שתפיק רק 0.2 מיליון מ³ בשנה.

תחזית פרוס הפרכלורט בשנת 2030 לאורכו/עומקו של החתך הרווי לתרחיש S7 מוצגת באיור 3.11. כתלות במיקום המסננות בקידוח ההפקה מתקבל שעננת הפרכלורט מתרחבת לכיוון דרום מערב בעיקר בשכבות הביניים ובתחתית האקויפר. בהשוואה לתרחיש S2, בשכבות האקויפר העליונות ישנה הצטמצמות של השתרעות המוקד לעומת התרחבות של מוקד הזיהום בתחתית האקויפר. כיסוי מקור הזיהום באזור "מלבנין" לצורך הפסקת התשטיפים מתוך חתך הקרקע (S3-1), אינו משפיע באופן מהותי על התפשטות עננת הזיהום בתרחיש זה, אם כי הריכוזים מעט יותר נמוכים.



איור 3.11 תחזית פרוס הפרכלורט לתרחיש S7 ביחס לתרחיש S2 ב 2030.

טבלה 3.5 מציגה את מאזן שארית המסה של פרכלורט באקויפר לתרחיש S7 ביחס לתרחישים S1, S2, S3, ולתרחיש S3-1. אמנם מסת הפרכלורט שמסולקת מתוך האקויפר בתרחיש S7

גבוהה מזו שבתרחישים S2-3, אך נמוכה מן הסתם לעומת תרחיש S1 שבו מתקיימת הפקה מלאה של מי תהום מכל המרחב.

טבלה 3.5 מאזן המסה של פרכלורט באקויפר לתרחישים: S1, S2, S3, S3-1, S7.

Mass balance components	Scenario 1 (10 ³ Kg)	Scenario 2 (10 ³ Kg)	Scenario 3 (10 ³ Kg)	Scenario 3-1 (10 ³ Kg)	Scenario 7n (10 ³ Kg)
Unsaturated zone source	279.8	279.8	279.8	0	279.8
Sink to wells	147.7	2.1	1.7	1.6	3.4
Initial mass in the aquifer*	1016.4	1016.4	1016.4	1061.0	1016.4
Final mass in the aquifer	1188.3	1382.8	1397.1	1079.4	1326.3
Balance error (%)	-0.4	4.1	5.4	1.9	3.3

פרק 4

תחזית התפשטות פרכלורט באקויפר החוף לתרחישים נבחרים של שיקום והפקה

(RP1-10)

מחברים: אילון אדר, אלכס יקירביץ ומיכאל קוזניצוב

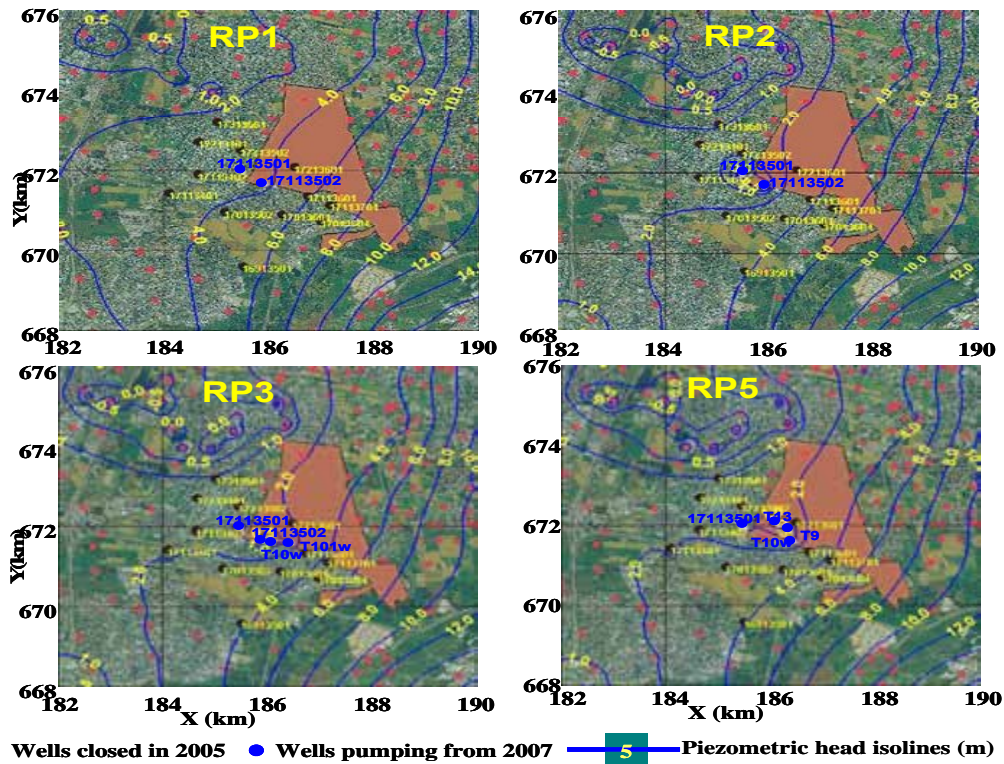
4.1 השתנות המפלסים במרחב ומערך זרימת מי התהום

השפעת התרחישים השונים להמשך הפקת מי תהום מאקויפר החוף, ולטיפול ושיקום איכות המים על פרוס המפלסים במרחב רמת השרון נבחנו בעזרת מודל הזרימה שהורץ למשך 25 שנים, עד ל 2030.

בתרחיש RP1 מוקמו שני קידוחי הפקה עם ספיקות של $100 \text{ מ}^3/\text{שעה}$ מכל קידוח. קידוח הפקה אחד באזור רמת השרון ז' ואלו השני בתוך התע"ש בקירבת סלע ב. סך הכל מדובר בהפקה של $200 \text{ מ}^3/\text{שעה}$ של מי תהום ממוקד הזיהום לצורך טיפול. בתרחיש RP2 הוגברה ההפקה מקידוחים אלו לכדי $200 \text{ מ}^3/\text{שעה}$ מכל קידוח. סך הכל $400 \text{ מ}^3/\text{שעה}$ של מים מזוהמים ממוקד העננה. במעבר ממודל RP1 ל-RP2 מתפתח שקע הידרולוגי עמוק יותר במרחב רמת השרון וכך גם בשקע הרצלייה (m -0.5). זאת מאחר ושקע רמת השרון מקטין את זרימת המים לצפון מערב לעבר שדה ההפקה בהרצלייה.

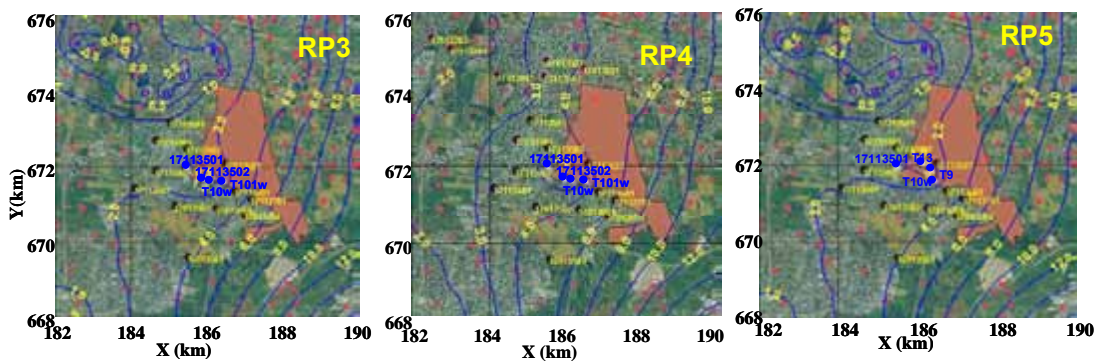
בתרחיש RP3, בדומה לתרחיש RP2, היקף ההפקה של מי התהום מתוך עננת המזהמים נשאר $400 \text{ מ}^3/\text{שעה}$ אך מתוך 4 קידוחי הפקה (במקום שניים) שפזורים לאורך ציר המוקד המזוהם. קידוחי ההפקה מוקמו ברמת השרון ז', תע"ש סלע ב', בקירבת T101 ובאזור ברכות "מלבין" ב-T10 (איור 4.1).

בתרחיש זה, דגם זרימת מי התהום במרחב רמת השרון נשאר דומה לזה שנצפה ב-RP1 ו-RP2. אולם השקע באזור ההפקה מתקדם מזרחה כתוצאה מההפקה באזור מלבין תוך כדי יצירת גרדיינט הידראולי תלול ממזרח ודרום מזרח לעבר התע"ש.



איור 4.1 תחזית מפלס מי התהום ב 2030 לתרחישים RP1, RP2, RP3, ו RP5.

בתרחיש RP4, מערך הפקת מי התהום לצורך שיקום זהה ל-RP3 אך מפסיקים את שאיבות ההפקה גם באזור הרצלייה בנוסף להפסקת הפקת מי התהום בצפון תל אביב ורמת השרון. כתוצאה מההפקה לצורך טיפול ושאובה מ-4 בארות הפקה לאורך ציר המוקד של פרוס המזוהמים בהספק של 400 מטרים מעוקבים לשעה, שקע הרצלייה נעלם בהדרגה אך מתפתח שקע הידרולוגי מבודד במתחם התע"ש – רמת השרון.

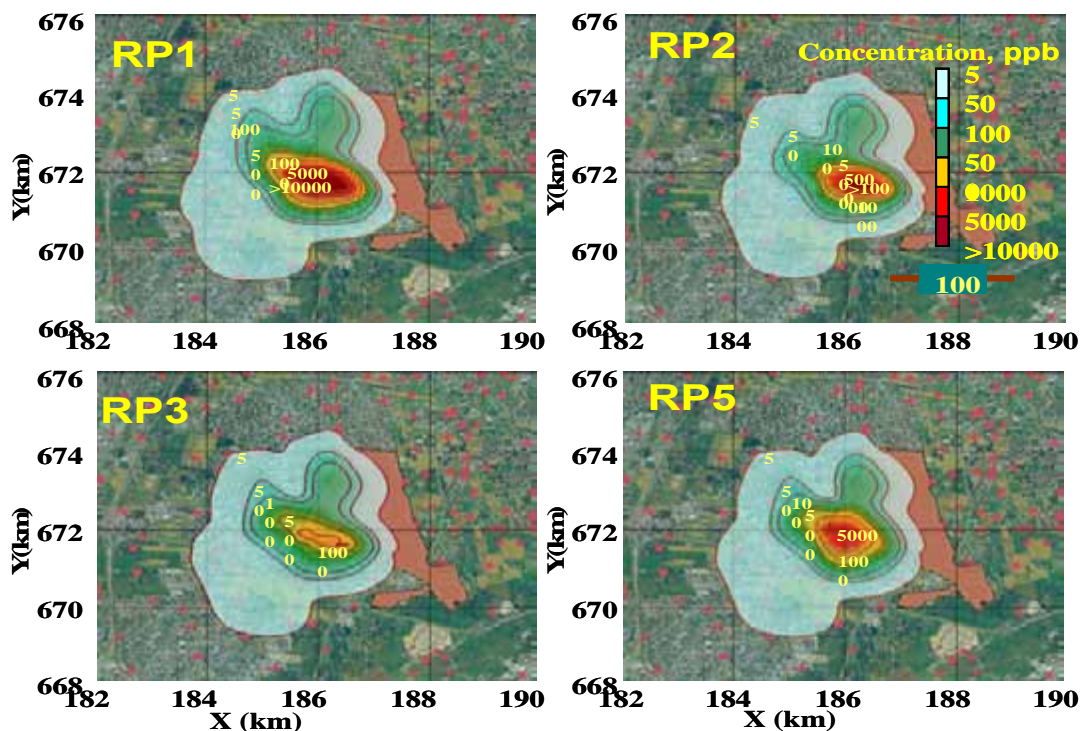


איור 4.2 תחזית פרוס מפלס מי התהום ב 2030 לתרחישים RP3, RP4, ו RP5.

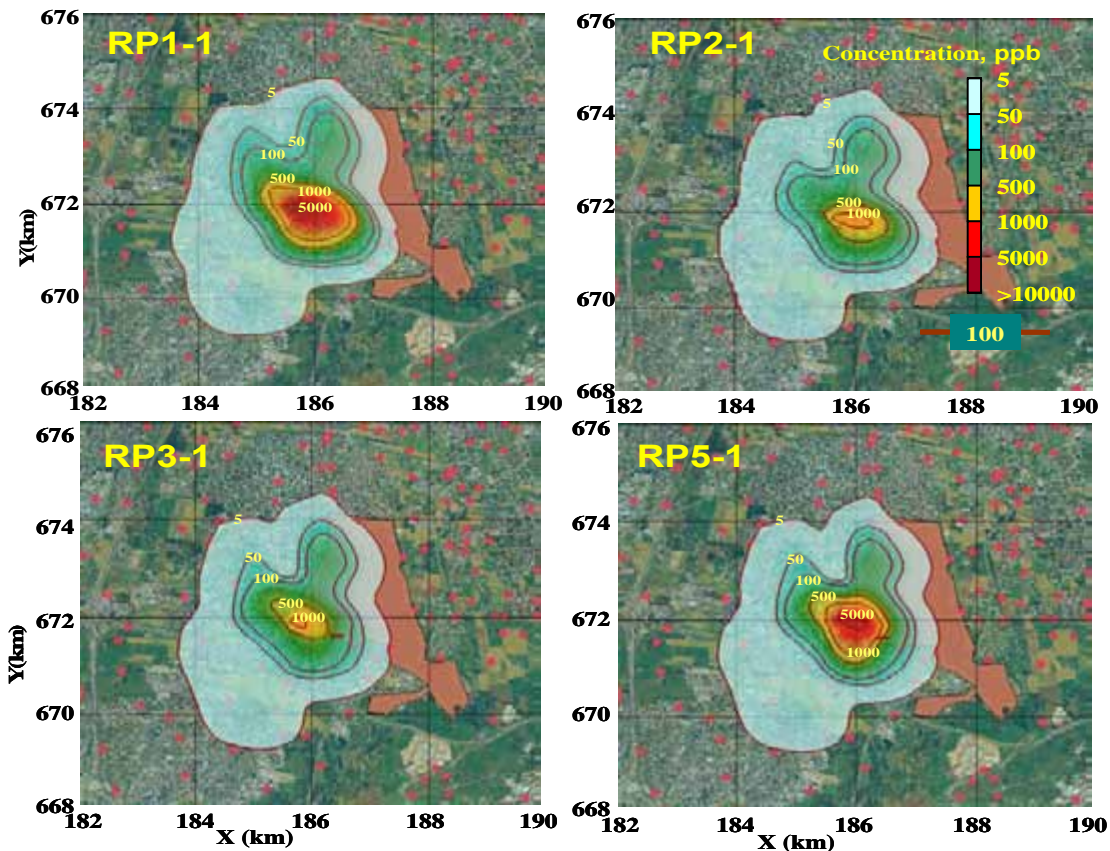
בדיקת חלופות תפעוליות לטיפול במי התהום המזוהמים במוקדה של עננת הזיהום בחנה בראייה רחבה האם ראוי ליצור מוקד שאובה אחד במרכז כתם הזיהום כמו בתרחיש RP3, או לזוים מוקדי שאובה במספר אתרים במרכז ובשולי עננת המזוהמים כמו בתרחיש RP5. בתרחיש RP5, מערך השאיבות לאורך ציר מוקד עננת הזיהום זהה בהיקפו לזה של RP3 (ספיקה כוללת של 400 מ³/שעה מתוך 4 קידוחי הפקה) אך פרוס קידוחי ההפקה מתרחב וחורג מעט לשוליים ממרכז

ומציר כתם הזיהום לעומת RP3. בתרחיש זה ההפקה מתבצעת בקירבת הקידוחים: רמת השרון ג', ב-T13 (במקום סלע ב), ב-T9 (במקום T101) וב-T10 באזור מלבין. כצפוי אין שינוי משמעותי בדגם השדה הפיזומטרי אם כי רוחבו של השקע ההידרולוגי גדל בהתאמה להרחבת הפרוס המרחבי של קידוחי ההפקה (איור 4.2). כפי שנראה בהמשך, מעבר להרחבת כתם הזיהום מעט לשוליים, לשינוי זה ישנה השפעה משמעותית על ההשתנות בזמן של פרוס ריכוז המזהמים במרחב, במיוחד במוקד עננת הזיהום.

איור 4.3 מציג את הצפי של פרוס הפרכלורט ב 2030 (ממוצע לכל עומקו של האקוויפר) לתרחישים RP1, RP2, RP3, ו RP5, למצב הנוכחי שבו תשטיפים של פרכלורט יכולים וממשיכים לזהם את מי התהום מאתר בריכות האיגום שב"מלבין", ולמצב שבו יעשה מאמץ לאטום ולנתק הידראולית את התווך הלא רווי באתר ממי התהום. הכפלת נפח השאיבות באזור סלע ב' (מוקד הזיהום) ובאזור ר. השרון ז' שבשולים המערביים של עננת הזיהום (מעבר מתרחיש RP1 ל RP2) מאט ומצמצם את השתרעות מוקד/כתם הזיהום ומונע את התפשטותו מערבה לעבר רמת השרון. לאפקט השיקום משאיבות לאורך ציר כתם הזיהום (תרחיש RP3) תהיה השפעה חיובית לעומת המצב הקיים גם ביחס לאפשרות של שאיבות לשיקום מתוך מרחב כתם הזיהום כולו (תרחיש RP5). הרצת המודל לאפשרות שניתן יהיה לאטום ולמנוע את המשך התשטיפים של פרכלורט אל מי התהום מראה בברור שבמקרה הטוב, יושג שיפור וירידה משמעותית רק במרכזו של כתם הזיהום. לאיטום לא תהיה כל השפעה על ההשתרעות המרחבית של המים שיזדהמו בפרכלורט עד לשנת 2030

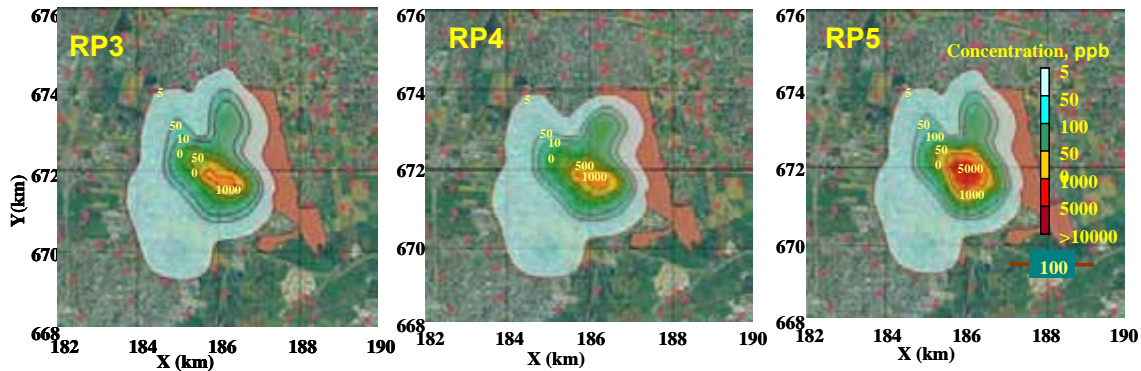


איור 4.3 תחזית פרוס פרכלורט בשנת 2030 לתרחישים RP1, RP2, RP3, ו RP5 ללא כיסוי של מקור הזיהום ב"מלבין".



איור 4.3 (המשך) תחזית פרוס פרכלורט בשנת 2030 לתרחישים RP1-1, RP2-1, RP3-1, ו RP5-1 שלפיהם נאטם מקור הזיהום ב"מלביץ".

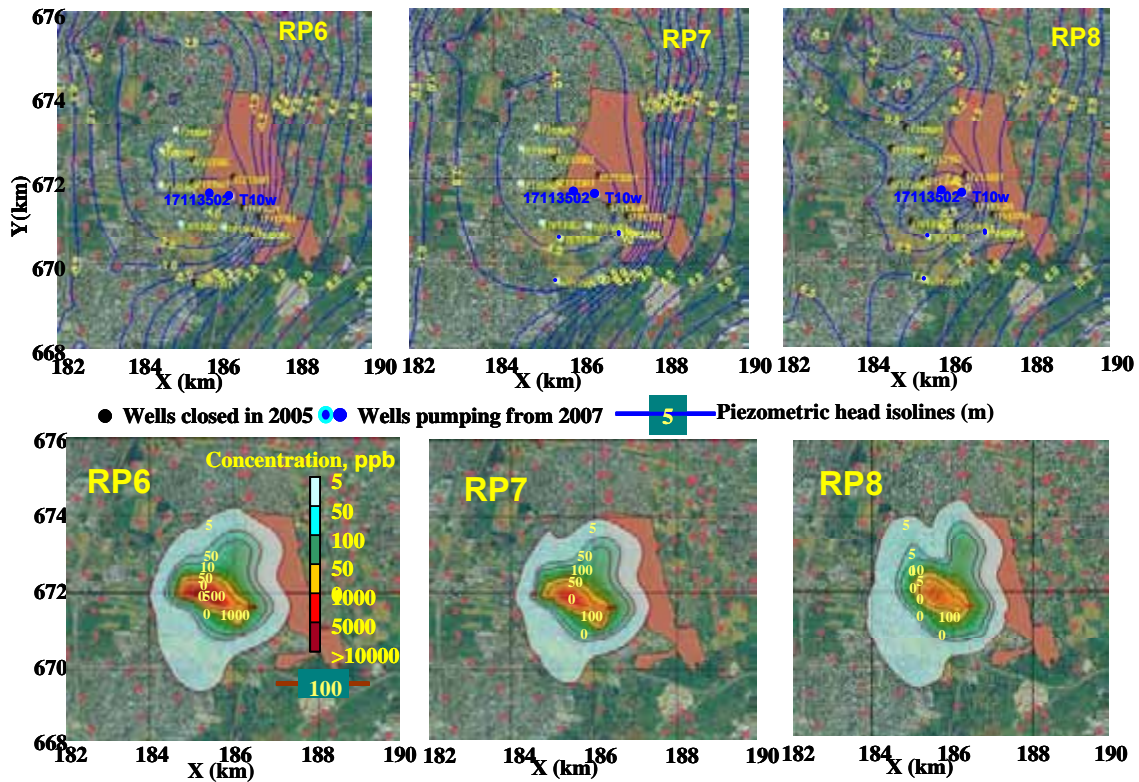
השוואה בין תרחישים RP3 ו-RP5 ובחינת התוצאות מהחלופות השונות מראה בברור שאיבה מפרוזדור הזרימה שלאורך ציר עננת הזיהום היא החלופה שמרחיקה באופן היעיל והמהיר ביותר את המים המזוהמים כפי שזה מתבטא בהגברת קצב הירידה ברמות הזיהום בכל הקידוחים במרחב, בקצב הקטנת ההשתרעות וצמצום השטח המזוהם (איור 4.4). כמו כן, החלופה על פי תרחיש RP3 לעומת תרחיש RP5, מסלקת מסה גדולה יותר של מזהמים שנשאבים דרך קידוחי הטיפול שבמוקד. כלומר, פיזור קידוחי הטיפול בתוך העננה והפקה גם מהשוליים של העננה נותנים תוצאות פחות טובות על פי הקריטריונים הנ"ל. יחד עם זאת, יתכן שאסטרטגיה זו תתאים לאחת מאסטרטגיות השיקום כאשר שאיבה משולי העננה תבטיח ריכוזים התחלתיים נמוכים יותר של המזהמים ושינויים קטנים יותר במשרעת הריכוזים לאורך הזמן. כאמור, במידה ובחרים באסטרטגיה של שיקום ממוקד במרחב עננת הזיהום התוצאות המהירות ביותר יושגו אם קידוחי השאיבה וימוקמו לאורך ציר – פרוזדור הזרימה שעובר דרך עננת מי התהום המזוהמים. להפסקת השאיבות במרחב הרצלייה במקביל להשבתת כל השאיבות ברמת השרון וצפון תל אביב תהיה השפעה חיובית מוגבלת על מניעת התפשטות כתם הזיהום צפונה- מערבה.



איור 4.4 השוואה של פרוס הזיהום בפרכלורט בשנת 2030 לתרחישים RP3, RP4, ו RP5.

בין החלופות השונות נבחנו תרחישים של הפעלת קידוחי ההפקה במרחב תוך הרחקת המזהמים במקביל לטיפול הממוקד במרכז ענת המזהמים. הבחינה נעשתה למספר תרחישים בהם (בנוסף לשאיבה לצורך טיפול מהמוקד המזוהם) תחודש ההפקה רק בקידוחי רמת השרון, רק בקידוחי תל-אביב צפון, או חידוש הפקה הכוללת בשני שדות שאיבה הנ"ל.

תרחישים RP-6,7,8 – מדמים את שיקום ענת הזיהום במתחם התע"ש תוך חידוש הפקה חלקית של מי תהום במרחב רמת השרון וצפון תל אביב. תבנית מפלס מי התהום ותחזית פרוס הפרכלורט לשנת 2030 מוצגים באיור 4.5. בתרחיש RP-6 השאיבות מתוך מוקד הזיהום מתבצעות בו זמנית יחד עם הפקה של מים במרחב קידוחי ההפקה שברמת השרון (רמת השרון א, ב, ד, ה). השאיבה ממוקד הזיהום היא מתוך שני קידוחי הפקה: האחד בקירבת סלע ב' והשני באזור "מלביץ" ב-T10 (למשל) בספיקה כוללת של 400 מ³/שעה (200 מ³/שעה מכל אחד משני הקידוחים הנ"ל). בתרחיש זה נמשכת ההפקה מקידוחי הרצלייה, אך קידוחי תל אביב (עיר צפון) סגורים למעט ההפקה בצהלה. במצב זה, נוצר שקע הידרולוגי רחב ממדים במרחב הרצלייה – רמת השרון עם קווי זרימה ממזרח ומדרום מזרח אל תוך השקע ההידרולוגי.



איור 4.5 מפלס מי התהום ותחזית פרוס הפרכלורט לשנת 2030 לתרחישים RP-6,7,8.

תרחיש RP7 בוחן את השינויים ברמת הזיהום ובהשתרעותו של ענן המזהמים אם מחדשים את השאיבות גם בעיר צפון 2, 3, 6, 6א בנוסף לשאיבות ההפקה ברמת השרון ובהרצלייה. בתרחיש זה מתרחב השקע ההידרולוגי למצב אותו הכרנו בעבר עם השתרעות רחבה מתל אביב בדרום ועד להרצלייה בצפון תוך יצירת גרדיינט הידראולי חריף ממזרח ודרום-מזרח. חשוב לציין שבמערך השאיבות המתואר לעיל לא מתקבלים קווי זרימה מאזור התע"ש ומרמת השרון לעבר צפון תל אביב.

תרחיש RP8 בוחן את האפשרות שרמות הזיהום במרחב רמת השרון לא מאפשרות הפקה לצרכים עירוניים, ולכן להליך השיקום מתלווה הפקה רק בקידוחי הרצליה בצפון ומתל אביב צפון בדרום (תל אביב צפון 2, 3, 6, 6א) בהיקף של 0.5 M מטרים מעוקבים בשנה מכל אחד מקידוחי תל אביב, ואילו ההפקה מקידוחי הרצלייה היא בהיקף השאיבות מ-2004. במודל הפקות זה, נוצר שקע הידרולוגי תלול עם מוקד במתחם התע"ש תוך גריעה מינימלית של מים מאזור הרצלייה ומשיכת מים מסיבית מכל הגיזרה המזרחית החל מאזור כפר-סבא – רעננה ועד לפתח תיקווה ואזור הכפר הירוק – צהלה. שאיבות של כ 400 מ³/שעה במרכז כתם הזיהום וחדוש השאיבות באזור רמת השרון בלבד (RP6), כאשר ההפקה בהרצלייה נמשכת כרגיל) מושכת את כתם הזיהום כמה מאות מטרים (~500) מערבה. הפקה וטיפול במוקד וחדוש חלקי של ההפקה ברמת השרון ובתל אביב (RP7), מורידה את רמת הריכוזים במוקד בכך שהשתרעות כתם הזיהום מתרחבת גם כלפי דרום. הפקה לשיקום במקור וחדוש השאיבות רק בצפון תל אביב מרחיבה את כתם הזיהום כלפי דרום ולא מונעת את המשך התנועה של הזיהום מערבה.

טבלה 4.1 סיכום סך כל כמות הפרכלורט שנשאבה ומוצתה מתוך האקוויפר לתרחישים נבחרים

Scenario	Perchlorate mass balance components (m. ton) after 25 years (2030)					
	Storage In Soil (ton)	Abstraction By pumping in 25 y (ton)	Initial mass* in the aquifer (n=20%) (ton)	Final mass in the aquifer (ton)	Balance error (%)	Max final concentration after 25y (ppb)
RP1	279.8	1067.4	1061.	234.9	-3.6	181829
RP1-1	0	937.2	1061.	98.6	-2.4	9566
RP2	279.8	1196.7	1061.	90.8	-5.0	82975
RP2-1	0	1002	1061.	27.2	-3.0	1633
RP3	279.8	1346.3	1061.	31.6	3.5	7814
RP3-1	0	1067.6	1061.	25.9	3.1	1641
RP4	279.8	1319.1	1061.	31.9	1.0	11671
RP4-1	0	1075	1061.	25.4	3.7	2031
RP5	279.8	1262.5	1061.	70.8	-0.7	7437
RP5-1	0	1024.4	1061.	66.2	2.8	7428
RP6	279.8	1286.1	1061.	55.7	-0.09	7724
RP6-1	0	1031	1061.	53	-2.17	7724
RP7	279.8	1292.9	1061.	46.4	0.14	4691
RP7-1	0	1039.2	1061.	43.7	-2.06	4690
RP8	279.8	1312.7	1061.	45.3	-1.62	3732
RP8-1	0	1068.5	1061.	42.4	-4.70	2786

טבלה מס' 4.1 מסכמת סך כל כמות הפרכלורט שנשאבה ומוצתה מתוך האקוויפר לכל אחד מהתרחישים עבורם הורץ המודל. כמו כן נתונים בטבלה גם המסה הכוללת של פרכלורט שתישאר עדין באקוויפר אחרי 25 שנות שיקום לכל אחד מהתרחישים, והריכוז המקסימלי של פרכלורט בתוך עננת המזהמים בשנת 2030. מהטבלה הנ"ל נתן להתרשם שבתום 25 שנים של הפקה, ריכוז מזהמים מינימלי (1641 ו 1633 מיקרוגרם לליטר - ppb) יתקבל במוקד כתם הזיהום תחת תרחישים RP2-1 ו RP3-1 כאשר הספיקה הנשאבת היא כ-400 מ³ לשעה מתוך 2 או 4 קידוחי הפקה בהתאמה, ואתר הברכות הישנות ב"מלבין" נאטם בפני השטח מפני חילחול ממי גשם. הנתונים הללו התקבלו למצב שבו כל קידוחי ההפקה במרחב רמת השרון וצפון תל אביב סגורים לאורך כל תקופת השיקום למעט קידוחי ההפקה במתחם הרצלייה. סגירת השאיבה במתחם הרצלייה (RP4-1) לא משפרת את התוצאה כשהריכוז המקסימאלי אף עולה. מסת הפרכלורט שנשארת באקוויפר אחרי 2030 משתנה אף היא כתלות בתרחיש. ערכים נמוכים נמצאו עבור תרחישים RP2-1 (27 טון), RP3 (32 טון), RP3-1 (26 טון), RP4 (32 טון), ו RP4-1 (25 טון). התרומה המשמעותית ביותר לחיפוי ואיטום אתר "מלבין" בהיבט של הריכוז המקסימאלי שיישאר במי התהום לאחר 2030 ניכרת במיוחד בתרחישים RP1, RP2, ו RP4, וזאת רק בסביבה הקרובה לאתר בריכות האיגום הישנות ב"מלבין". התוצאות מראות שבתרחיש הפקה כמו ב RP5 אין כל הצדקה לחיפוי ואיטום אתר "מלבין". מימצא זה נכון לגבי הריכוז המקסימלי הצפוי לאחר 25 שנות הפקה וגם לפי המסה השאריתית של פרכלורט באקוויפר בתרחישים עם ובלי איטום אתר "מלבין". זאת משום שבתרחישים RP1, RP2, ו RP4, ההפקה (מ 2 או 4 בארות) היא מתחת ולאורך מוקד עננת הזיהום כך שכל מה שידלוף מהחתך הלא רווי מיד ישאב ע"י הקידוח שבאזור T10. דגם ההפקה המבודר מארבעה קידוחים, ששניים ממוקמים בשוליים הצפוניים של

עגנת הזיהום (על פי תרחיש RP5), ממילא גורם למיהול והורדת הריכוזים בחלק נרחב של עגנת הזיהום כתוצאה מגרירה של מים פחות מזוהמים מהשוליים הצפוניים-מזרחיים. במקרה זה האפקט הצפוי של איטום התווך הלא רווי ב"מלבין" פוחת באופן משמעותי. כלומר יש משמעות לאיטום "מלבין" רק אם רוצים לקצר ולהאיץ את משך השיקום על פי אחד מהתרחישים שבהם מתמקדים בהפקה של מי תהום ממקוד הזיהום.

טבלה 4.2 ההשתנות בזמן של מיקום שיא הריכוז של פרכלורט במרחב רמת השרון לפרוסות זמן של חמש שנים לתרחישים נבחרים

RP1				Location of the Maximum Concentration of ClO ₄				RP1-1			
year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)
2010	1616632	186392	671641	2010	176729	186209	671668	2010	176729	186209	671668
2015	1562273	186392	671641	2015	83344	186173	671696	2015	83344	186173	671696
2020	961971	186392	671641	2020	39681	186173	671725	2020	39681	186173	671725
2025	844067	186392	671641	2025	19823	186135	671757	2025	19823	186135	671757
2031	181829	186392	671668	2031	9566	185756	671824	2031	9566	185756	671824
RP2				RP2-1				RP2-1			
year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)
2010	1424341	186392	671641	2010	112556	186209	671668	2010	112556	186209	671668
2015	1386837	186418	671641	2015	32123	186209	671696	2015	32123	186209	671696
2020	780973	186418	671641	2020	10877	186209	671725	2020	10877	186209	671725
2025	716849	186418	671641	2025	4289	186209	671757	2025	4289	186209	671757
2031	82975	186392	671668	2031	1633	186173	671789	2031	1633	186173	671789
RP3				RP3-1				RP3-1			
year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)
2010	630059	186337	671641	2010	165473	186244	671668	2010	165473	186244	671668
2015	583375	186337	671641	2015	56310	186244	671668	2015	56310	186244	671668
2020	268207	186337	671641	2020	22382	186244	671668	2020	22382	186244	671668
2025	248247	186337	671641	2025	5744	186244	671668	2025	5744	186244	671668
2031	7814	186276	671668	2031	1641	186244	671668	2031	1641	186244	671668
RP4				RP4-1				RP4-1			
year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)
2010	588266	186337	671641	2010	163544	186244	671668	2010	163544	186244	671668
2015	528952	186337	671641	2015	57694	186244	671668	2015	57694	186244	671668
2020	245506	186337	671641	2020	19410	186244	671668	2020	19410	186244	671668
2025	227334	186337	671641	2025	6694	186244	671668	2025	6694	186244	671668
2031	11671	186276	671641	2031	2031	186244	671668	2031	2031	186244	671668
RP5				RP5-1				RP5-1			
year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)
2010	574201	186337	671641	2010	141372	186173	671725	2010	141372	186173	671725
2015	524653	186337	671641	2015	65448	186173	671824	2015	65448	186173	671824
2020	239369	186337	671641	2020	30265	186173	671860	2020	30265	186173	671860
2025	218365	186337	671641	2025	14354	186135	671860	2025	14354	186135	671860
2031	7437	185812	672023	2031	7428	185812	672023	2031	7428	185812	672023
RP6				RP6-1				RP6-1			
year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)
2010	201718	186173	671641	2010	198213	186173	671641	2010	198213	186173	671641
2015	91232	186337	671641	2015	55145	186173	671641	2015	55145	186173	671641
2020	41086	186337	671641	2020	14989	186173	671615	2020	14989	186173	671615
2025	35244	186337	671641	2025	10411	185431	671898	2025	10411	185431	671898
2031	7724	185356	671898	2031	7724	185356	671898	2031	7724	185356	671898
RP7				RP7-1				RP7-1			
year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)
2010	188255	186173	671615	2010	78944	186173	671615	2010	78944	186173	671615
2015	91891	186337	671641	2015	60515	186173	671615	2015	60515	186173	671615
2020	41849	186337	671641	2020	17993	186173	671615	2020	17993	186173	671615
2025	36902	186337	671641	2025	7101	185503	671824	2025	7101	185503	671824
2031	4691	185356	671860	2031	4690	185356	671860	2031	4690	185356	671860
RP8				RP8-1				RP8-1			
year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)	year	conc (ppb)	x-coord (m)	y-coord (m)
2010	583525	186365	671615	2010	210269	186173	671641	2010	210269	186173	671641
2015	640823	186365	671641	2015	74813	186173	671641	2015	74813	186173	671641
2020	302285	186365	671641	2020	23174	186173	671641	2020	23174	186173	671641
2025	228201	186471	671641	2025	7528	186173	671641	2025	7528	186173	671641
2031	3732	186337	671641	2031	2786	185635	671860	2031	2786	185635	671860

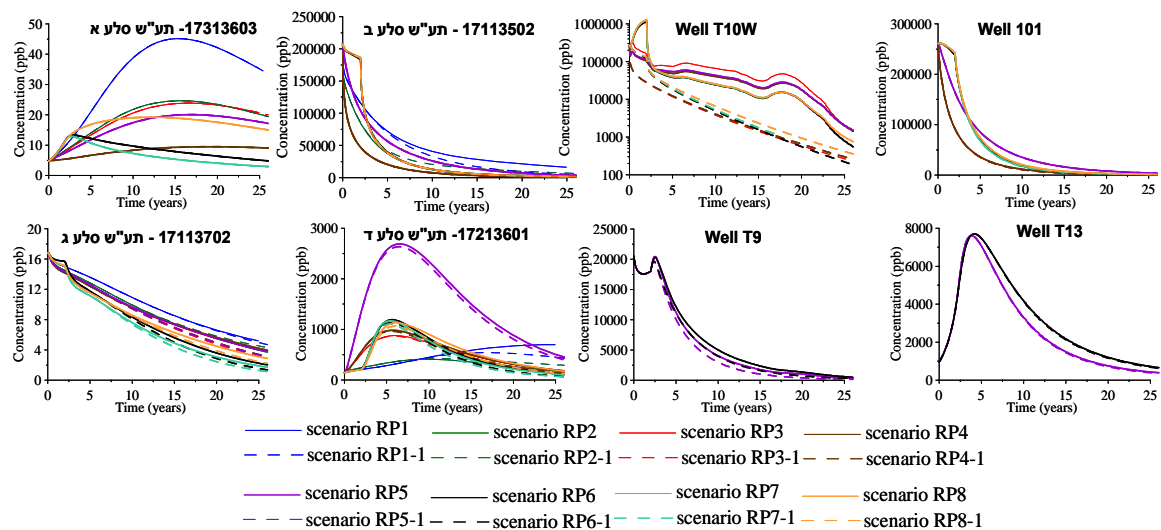
טבלה 4.2 מתארת את ההשתנות בזמן של מיקום שיא הריכוז של פרכלורט במרחב רמת השרון לפרוסות זמן של חמש שנים לכל אחד מהתרחישים.

התוצאות מראות ששיא הריכוז (המוקד) ינוע במהלך 25 שנות השיקום מספר מאות מטרים לכל היותר בתוך מתחם עננת הזיהום. המוקד המזהם ימשיך ויישאר בתוך מתחם התע"ש וינוע לכיוון צפון-מערב בקצב משתנה של כמה עשרות מטרים על פני 25 שנה כתלות בתרחיש. בעוד שקצב הנדידה מערבה תלוי בעיקר בהיקף השאיבות במרחב רמת השרון וצפון תל אביב, קצב הנדידה של המוקד מעט צפונה מושפע גם מהאפשרות של איטום פני השטח במתחם "מלבין".

4.2 תחזית השתנות הריכוזים במספר אתרים במרחב התע"ש במהלך שאיבות השיקום.

תחזית השתנות הריכוזים בזמן במספר אתרים במרחב התע"ש לתרחישים שונים מרוכזת באיור 4.6.

במרחב "מלבין" (T10, T101) ובאזור "סלע ב", "סלע ד" ובאזור בריכות הישנות שליד T9, המודל חוזה ירידה משמעותית בריכוזים עם הזמן בכל התרחישים. קצב הירידה בריכוז תלוי בהיקף השאיבות מתוך המוקד המזוהם ובריכוז ההתחלתי.



איור 4.6 תחזית השתנות ריכוז הפרכלורט במהלך עד 2030 במי התהום במתחם התע"ש עם ובלוי כיסוי מקור הזיהום "מלבין".

בקרבת הקידוחים: סלע א', סלע ד' ו באזור T13 שבשולי המוקד המזוהם במהלך השיקום, לגבי חלק מהתרחישים, רואים עליה זמנית בריכוז הפרכלורט ולאחר מכן מתחילה דעיכה. את העליה הזמנית בריכוז הפרכלורט ניתן להסביר כתוצאה "ממשיכה" של מים ומזהמים לאזור כתלות בעוצמת ההפקה של מים במוקד וממערך ההפקה של מי תהום במרחב רמת השרון. באזור סלע א' (איור 4.6) ישנה עליה בריכוז במהלך 15-16 השנים הראשונות לתחילת הטיפול ולאחר מכן דעיכה מתונה כתלות בתרחיש. ככל שהספיקה שנשאבת מהמוקד גבוהה יותר, וככל שמתרחבת ההפקה ברמת השרון, העלייה בריכוזים מתונה יותר. עם חידוש הפקת מי התהום גם בצפון תל אביב המגמה מתהפכת כשלאחר כ-3 שנים בלבד של עליה קלה בריכוזים, מתחילה דעיכה משמעותית (תרחישים RP6 ; RP7).

תופעה זו בולטת במיוחד באזור קידוח סלע ד' (איור 4.6) שם הריכוז ההתחלתי גבוה מזה שבסלע א'. הריכוזים עולים בסדר גודל לערכים של מעל 1000 מיקרוגרם בליטר במהלך 7 השנים הראשונות ולאחר מכן דועכים חזרה לרמה ההתחלתית ואף מעט למטה מזה. בתרחיש RP5 הריכוזים עולים באופן חריג לערכים של מעל 2500 מיקרוגרם בליטר כאשר חלק מקידוחי ההפקה

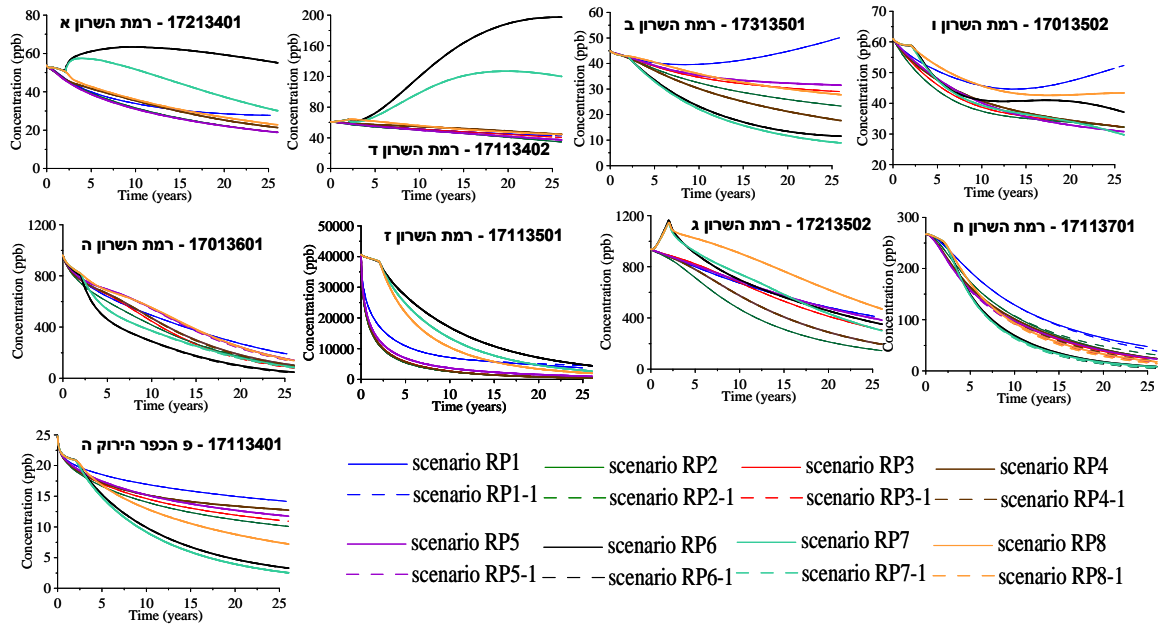
מוקמו בשולי העננה והמוקד נע במהלך השנים לעבר "סלע ד". שאיבה של 200 מ³ לשעה בלבד מהמוקד של כתם הזיהום אינה מספקת וגוררת עליה איטית, אך מתמדת, בריכוז באזור סלע ד'. איטום פני השטח באזור "מלבין" משפר את המצב ואף הופך את המגמה רק באזור המוקד עצמו. כאשר השאיבות לשיקום האקויפר מתבצעות מתוך מוקד עננת המזהמים, נוצר שקע הידרולוגי ממוקד תוך סילוק מרבי של מסת המזהמים. לעומת זאת, כאשר מפיקים מי תהום משולי העננה עם ריכוזים נמוכים יותר של פרכלורט (תרחיש RP5), מרחיבים את השקע ההידרולוגי כך שקידוחי ההפקה מפוזרים יותר במרחב אך קצב סילוק מסת המזהמים פוחת באופן משמעותי והריכוזי הפרכלורט במוקד העננה נשארים גבוהים באופן משמעותי לעומת האלטרנטיבות האחרות (למשל תרחיש RP3).

כאשר השאיבות לשיקום האקויפר מתבצעות מתוך מוקד עננת המזהמים, נוצר שקע הידרולוגי ממוקד תוך סילוק מקסימלי של מסת המזהמים. לעומת זאת, כאשר מפיקים מי תהום משולי העננה עם ריכוזים נמוכים יותר של פרכלורט (תרחיש RP5), מרחיבים את השקע ההידרולוגי כך שקידוחי ההפקה מפוזרים יותר במרחב אך קצב סילוק מסת המזהמים פוחת באופן משמעותי והריכוזי הפרכלורט במוקד העננה נשארים גבוהים באופן משמעותי לעומת האלטרנטיבות האחרות (למשל תרחיש RP3).

הגברת השאיבה משני קידוחי הפקה בתוך התע"ש כאשר כל קידוחי המוקד סגורים למעט הרצלייה (מצמצמת באופן ברור את השתרעות ההיקף המרחבי של העננה והתכנסותה לתוך המוקד בתע"ש. הרחבת היקף השאיבה מ-2 ל-4 קידוחים (סך הכל $400 m^3/hr$) מצמצמת את ההשתרעות ומורידה משמעותית את הריכוזים במוקד. אם החלפת קידוחי ההפקה ל-T9 ו-T13 בתרחיש RP3, מקבלים את הרחבת העננה וריכוזים גבוהים משמעותית (במוקד/ במרכז) לעומת RP2. אם מפסיקים את ההפקה בהרצלייה בנוסף לסגירת הקידוחים ברמת השרון ותל אביב מקבלים שפילה תלולה במוקד כתם הזיהום עם התכנסות רדיאלית של מי תהום אל עבר השקע תוך מיהול משמעותי והורדת הריכוזים במוקד.

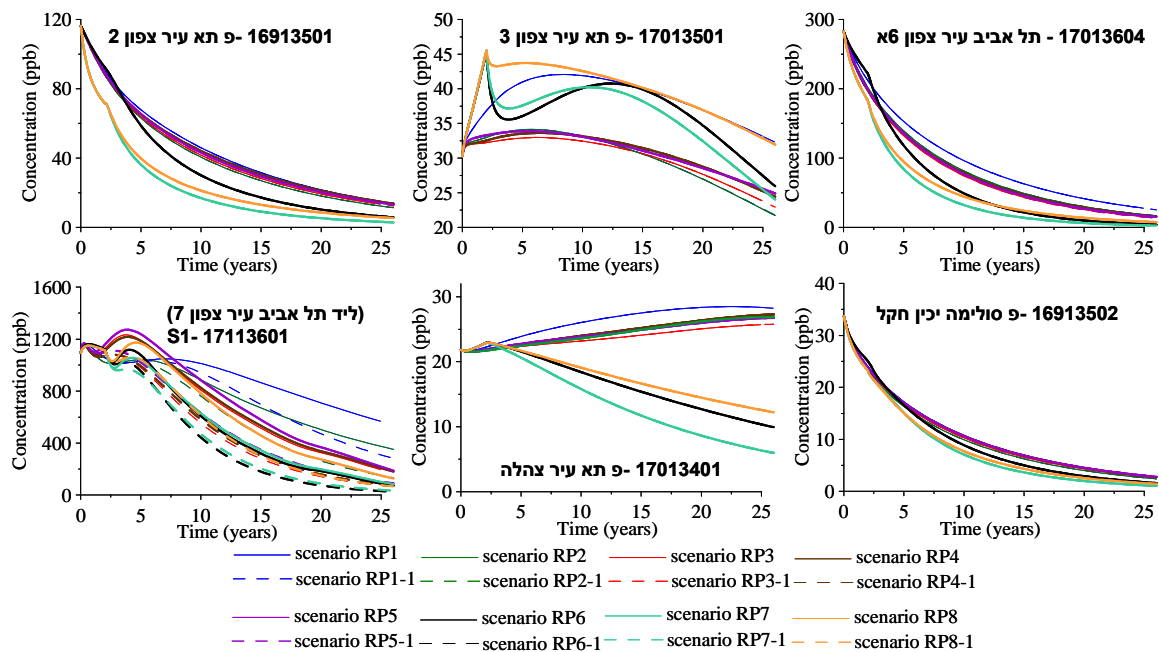
4.3 השתנות הריכוזים של פרכלורט במרחב רמת השרון.

איור מס' 4.7 מתאר את ההשתנות בזמן של ריכוז הפרכלורט בקירבת קידוחי ההפקה שבמרחב רמת השרון. קידוחים אלו ממוקמים במורד ובשולי כתם הזיהום בפרכלורט וחיזוי השתנות הריכוזים במרחב במהלך תקופת השיקום חשובה לתיכנון משטר ההפקה לצרכים שונים. בחלקו העליון של השרטוט נמצאים הקידוחים: רמת השרון א', ב', ד' ו-ו' שבתרחישים מסוימים הריכוז של פרכלורט עולה עם הזמן ותחת התרחישים אחרים, יורד. למשל, ברמת השרון ו' ו-ד' הפקת מי תהום במקביל לשאיבות מהמוקד (תרחיש RP6) גורמת לעליה עקבית ומתמדת בריכוז הפרכלורט. הרחבת ההפקה למרחב צפון-תל אביב משנה את המגמה כעבור מספר שנים. בקידוח כמו רמת השרון ג', הפעלת מערך שאיבות הפקה במרחב רמת השרון, מאט את קצב השיקום. איור 4.7 ממחיש את העובדה שעל פי תוצאות המודל, השפעת איטום בריכות האיגום הישנות ב"מלבין" אינה חורגת מגבולות מתחם התע"ש, וכמעט שלא רואים כל שיפור בקצב ירידת הריכוזים במרחב רמת השרון כתוצאה מהפסקת התשטיפים מחתך הקרקע אל מי התהום.



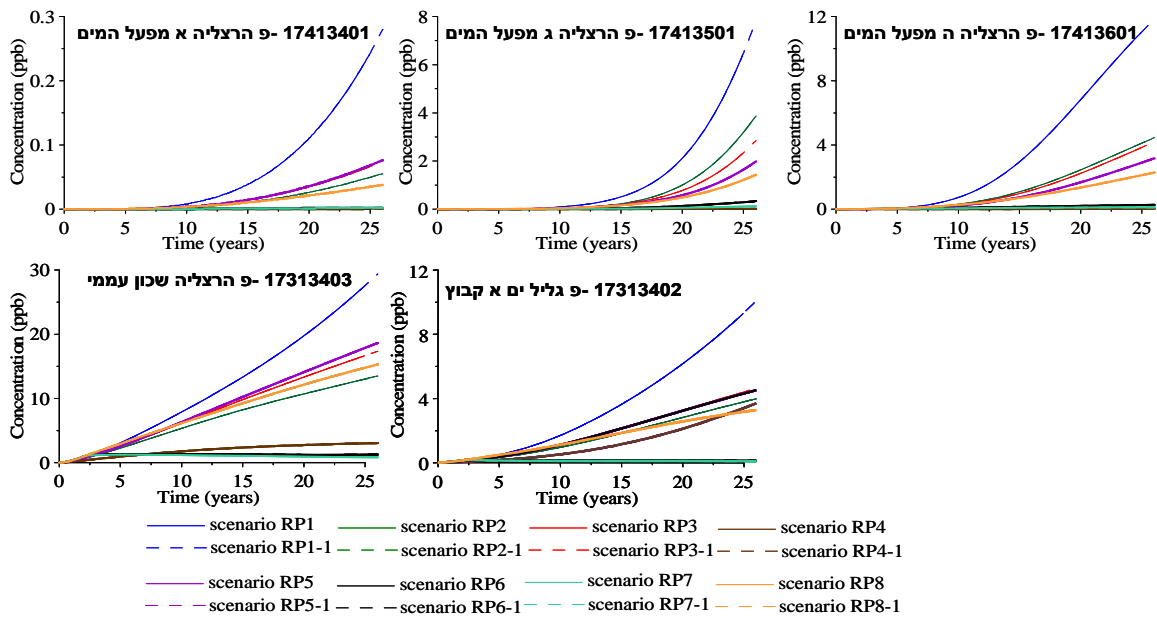
איור 4.7 תחזית השינוי בריכוז הפרכלורט במהלך 25 השנים הבאות בקידוחי רמת השרון

איור 4.8 מציג את התחזית הצפויה לשינוי ריכוז הפרכלורט במרחב תל אביב צפון. בתרחיש של שאיבות מוגבלות במוקד כתם הזיהום (RP1) וגם תחת שאבה מוגברת (RP2,3), הריכוז של הפרכלורט באזור צהלה צפוי לעלות במהלך 25 השנים הבאות. גם כאן אין משמעות לכיסוי ואיטום בריכות האיגום במלבין. בכל שאר הקידוחים לתרחישים אלו מתקבלת מגמה של ירידה במהלך השנים. המעבר לשיקום משולב בהפקות ברמת השרון (RP6), תל אביב (RP8), ובשני האזורים יחדיו (RP7), גורר משיכת כתם הזיהום במהלך 15 השנים הקרובות לעבר אזור תל אביב צפון 3 ורק לאחר מכן תחל דעיכה של הריכוזים. באזור צהלה, המעבר לתרחישים הנ"ל יגרור שינוי במגמה הקודמת וירידה משמעותית בריכוזים בין 15-20ppb כתלות בתרחיש.



איור 4.8 תחזית השינוי בריכוז הפרכלורט במהלך 25 השנים הבאות בקידוחי תל אביב

איור 4.9 מציג את התחזית הצפויה לשינוי ריכוז הפרכלורט במרחב קידוחי ההפקה הקיימים והפעילים כיום במרחב הרצלייה. תחת מערך שיקום מוגבל (RP1), חזית הזיהום הייתה מגיעה לכל קידוחי הרצלייה תוך מספר שנים ספורות עם קצב עליה של בין 4 ל 10 מיקרוגרם לליטר ב 5 שנים. המודל צופה שתגבור מערך השאיבות מתוך כתם הזיהום (RP2,3,5) תאט את קצב ההתקדמות של הפרכלורט לעבר הרצלייה אך לא תמנע זאת לחלוטין. לעומת זאת, שילוב של שאיבות לשיקום מהמוקד יחד עם הפסקת ההפקה באזור הרצלייה (RP4) או הפקה משולבת עם הפקה מרמת השרון ומאזור צפון תל אביב תמנע לחלוטין את הזיהום העתידי באזור הרצלייה. בסופו של תהליך, קצב השתנות הריכוזים תלויי בעוצמת ההפקה מהמוקד המזוהם, מפרוס קידוחי ההפקה במוקד ובשוליו ומהיקף הפקת מי התהום במרחב רמת השרון וצפון תל אביב.

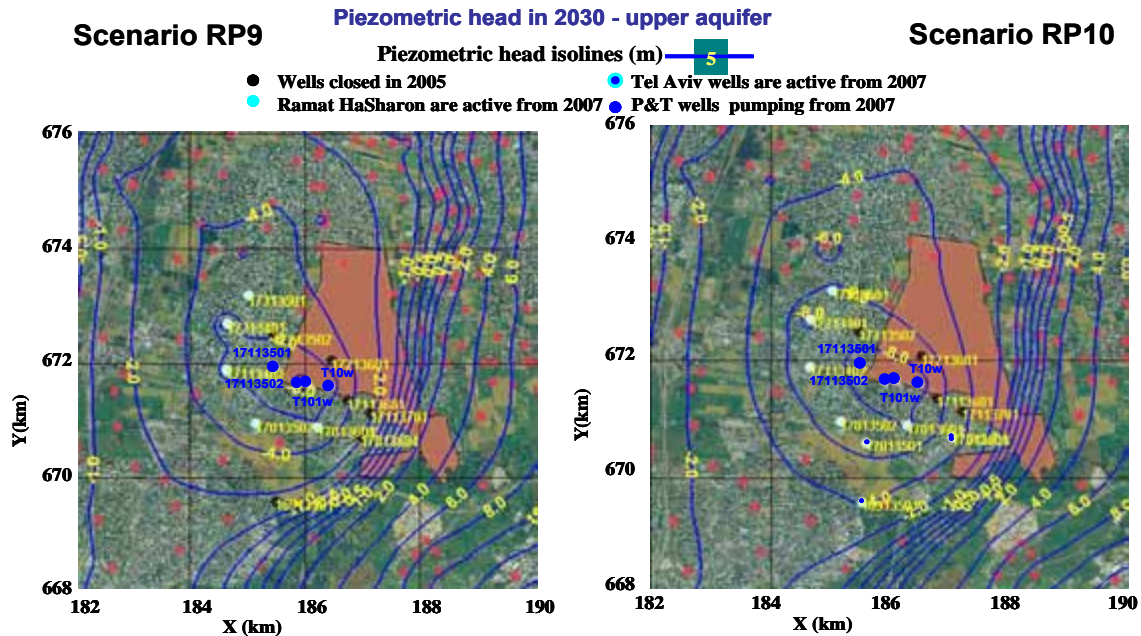


איור 4.9 תחזית השינוי בריכוז הפרכלורט במהלך 25 השנים הבאות בקידוחי ההפקה בהרצלייה

4.4 בחינת תוצאות פרוס, קצב שינוי הריכוזים ומאזן המסה של פרכלורט כאשר ישנה הפקה מסיבית של מי תהום לטיפול ושאיבה במוקד יחד עם חידוש ההפקה בקידוחי רמת השרון ובקידוחי צפון תל-אביב על פי התרחישים RP 6, 9, 10.

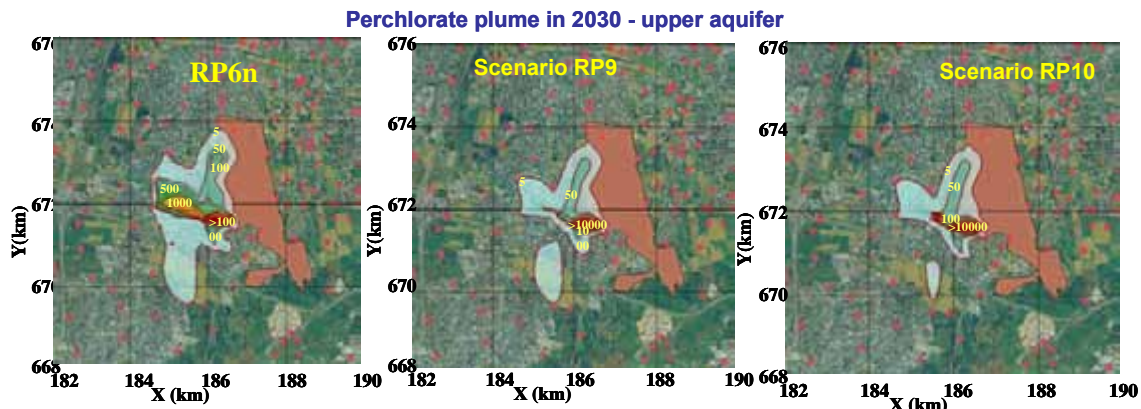
תרחיש RP6 בוחן את הפרוס המרחבי וקצב השתנות הריכוזים של פרכלורט במהלך 30 שנים הבאות כאשר ישנה שאיבה לטיפול והספקה במוקד במתחם התע"ש בספיקה מצטברת של 400 מ³/שעה משתי בארות הפקה (200 מ³/שעה מכל באר), ובנוסף מחדשים את הפקת מי התהום מארבע בארות ברמת השרון (רמת השרון א', ב', ד', ו-ה') בספיקות שהיו נהוגות ב-2004. תרחיש RP9 דומה לזה של RP6 אך ההפקה לטיפול ממוקד כתם הזיהום לצורך טיפול ושיקום הוגדלה לספיקה כוללת של 600 מ³/שעה מארבע בארות לאורך ציר כתם הזיהום (150 מ³/שעה מכל באר). בתרחיש RP10 בודקים את תפוסת הפרכלורט בדומה ל-RP9 בנוסף לחידוש הפקת מי תהום מקידוחי רמת השרון א', ב', ד', ו-ה' (בספיקות שהיו נהוגות ב-2004) ומקידוחי תל-אביב עיר צפון (2, 3, 6, א6) עם ספיקה כוללת של כ-0.5 מליון מטרים מעוקבים בשנה מכל קידוח מכל ארבעת הקידוחים).

איור 4.10 משווה בין המפלסים החזויים ל 2030 עבור תרחישים RP9 ו RP10. הספיקות הגדולות שנסאבות ממוקד כתם הזיהום יוצרות מכתש הידראולי במתחם התע"ש ורמת השרון למרות שההפקה במרחב הרצלייה נמשכת באותה מתכונת של היום. חידוש השאיבות במקביל במרחב רמת השרון וצפון תל אביב (RP10), מרחיב מעט את מכתש השפילה. בשני המקרים נוצרת מאין זרימה רדיאלית לעבר קידוחי השיקום שבמוקד (איור 4.10).



איור 4.10 השוואה בין המפלסים החזויים ל 2030 עבור תרחישים RP9 ו RP10.

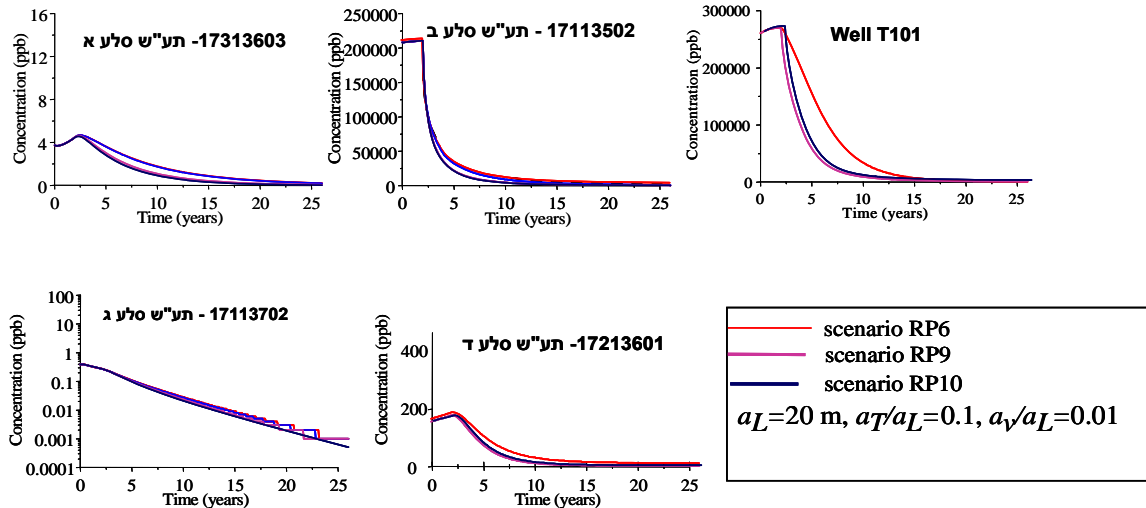
השאיבות המסיביות במוקד הזיהום תגרומנה למרכז של הפרכלורט (וכך גם לגבי שאר המזהמים) סביב מתחם התע"ש. איור 4.11 מציג את גודלה של עננת הזיהום החזויה בעוד כ 25 שנה לשני התרחישים הנ"ל ביחס לזו של תרחיש RP6. הגברת השאיבות ב 50% (מ RP6 ל RP9) דייה כדי למרכז את עננת הזיהום לסביבתו הקרובה של המוקד. הגדלת השאיבות עם חידוש ההפקות ברמת השרון ותל אביב מצמצמת את העננה של הפרכלורט במיוחד באזור תל אביב צפון. ההבדל המהותי בין שני התרחישים האחרונים הוא במסה השארית של פרכלורט באקוויפר לאחר 2030.



איור 4.11 השוואה בין גודלה של עננת הזיהום בפרכלורט ב 2030 לתרחישים RP6, RP9, ו RP10.

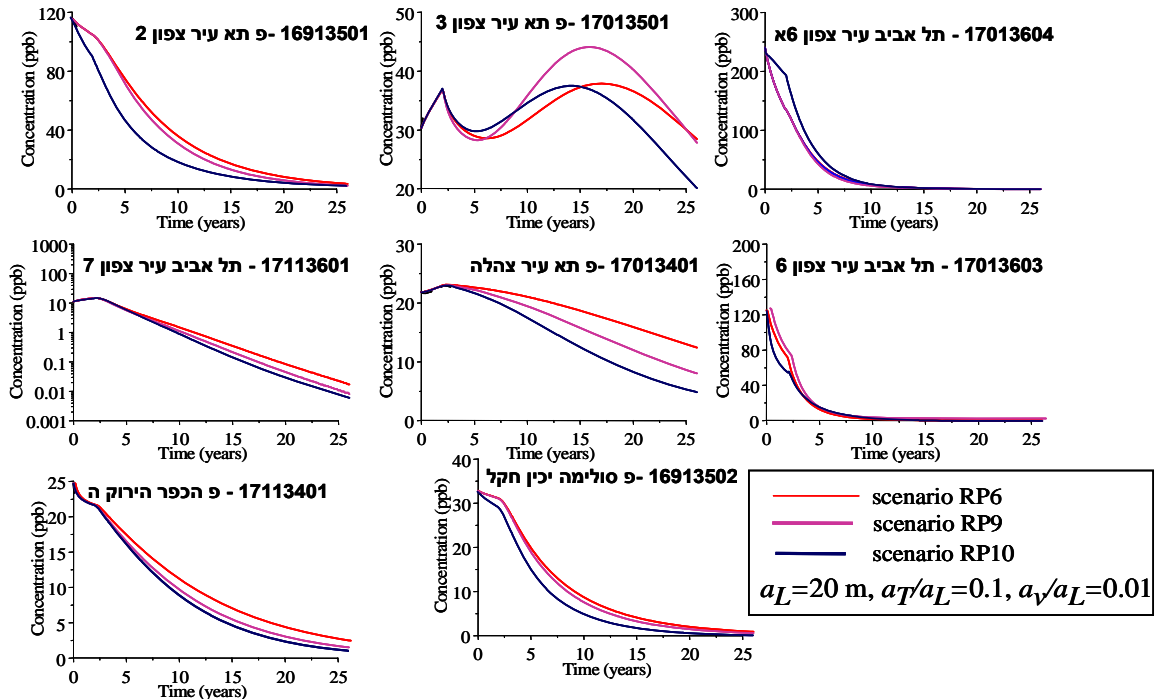
איורים 4.12, 4.13 ו 4.14 מציגים את תחזית השינוי בריכוז הפרכלורט לתרחישים הנ"ל לסדרת קידוחי הפקה באזור התע"ש, רמת השרון, וצפון תל אביב, בהתאמה. שאיבה מהמוקד בספיקה כוללת של כ 400 מ³/לשעה (RP6) די בה להוביל לירידה בריכוזים במרבי הקידוחים בכל המרחב, למעט עלייה ברמת השרון ד' ועלייה זמנית בתל אביב צפון 3. הגברת ההפקות מהמוקד לכדי 600מ³/לשעה יוצרת מצב שבו אנו צופים לירידות חדות בריכוז המזהמים ללא תלות משמעותית באופציה לחידוש ההפקה של מי תהום במרחב רמת השרון וצפון תל אביב.

Perchlorate concentration in TAAS wells (2005-2030)



איור 4.12 תחזית ריכוז הפרכלורט במהלך 25 השנים הבאות בקידוחים שבמתחם בתע"ש לתרחישים: RP6, RP9 ו RP10.

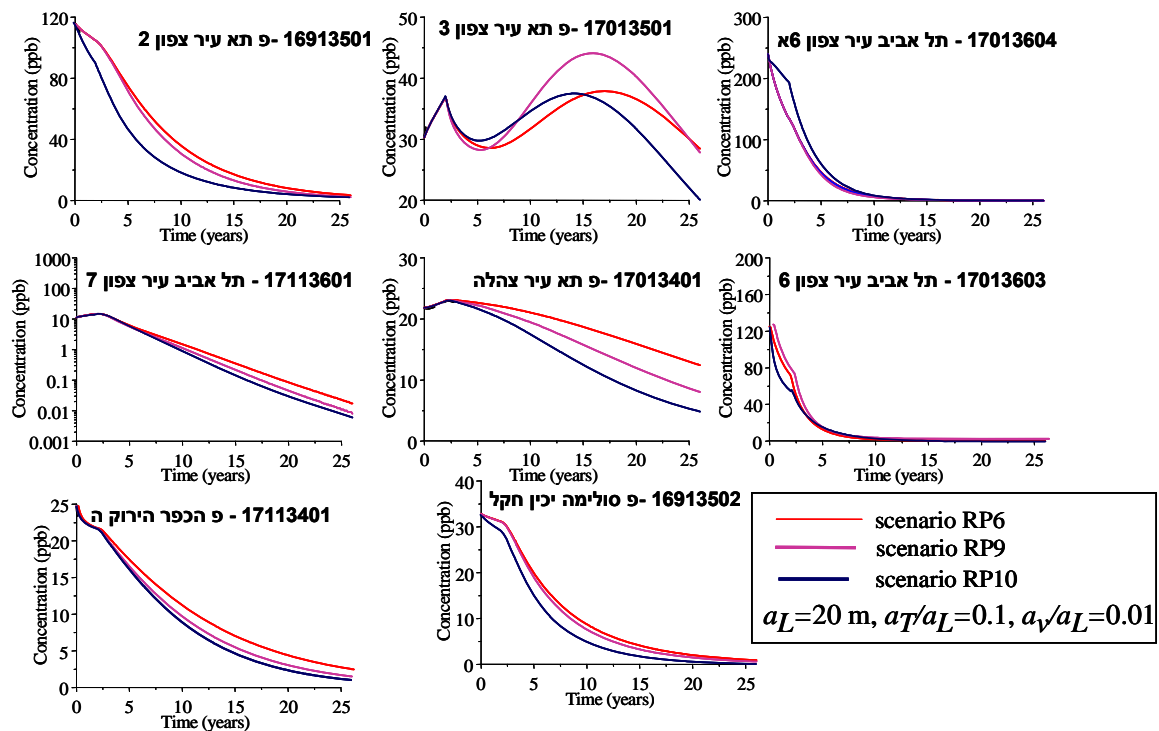
Perchlorate concentration Northern Tel Aviv wells (2005-2030)



איור 4.13 תחזית ריכוז הפרכלורט במהלך 25 השנים הבאות בקידוחים שבמרחב רמת השרון לתרחישים: RP6, RP9 ו RP10.

גם כאשר מפקים מי תהום מקידוחי צפון תל-אביב ובנוסף ובמקביל להפקה מקידוחי רמת השרון (השוואה של RP10 לעומת RP9), אין כמעט שינוי בפרוס וקצב והשתנות הריכוזים בתוך קידוחי התע"ש. יחד עם זאת, ניכרת השפעה החיובית של הגברת קצב ירידת הריכוזים בחלק מקידוחי רמת השרון הדרומיים כגון רמת השרון ו' ו-ז'. מטבע הדברים, ריכוז הפרכלורט בקידוחי תל-אביב צפון שחזרו למעגל ההפקה עולה, לפחות לפסק זמן מסוים (כמו ב-תל אביב צפון 3, 6, ו 6א), אך בחלק האחר כמו באזור הכפר הירוק ובצהלה גובר קצב ירידת הריכוזים.

Perchlorate concentration Northern Tel Aviv wells (2005-2030)



איור 4.14 תחזית ריכוז הפרכלורט במהלך 25 השנים הבאות בקידוחים בצפון תל אביב לתרחישים: RP6, RP9 ו RP10.

בטבלה 4.3 מוצגים הערכים החזויים של שארית המסה והריכוז המקסימלי הצפוי של פרכלורט במי התהום (באקויפר) לכל אחד מהתרחישים הנ"ל. להגדלת נפח השאיבה במוקד עננת הזיהום בתחום התע"ש מ-400 מ³/שעה ל-600 מ³/שעה (השוואה בין RP6 ל-RP9) השפעה גדולה על יכולת סילוק מסת הפרכלורט כאשר בתרחיש RP9 מסולקים 160 טון נוספים במהלך 30 שנה והמסה השאריתית פוחתת מ-37 ל-6 טון בלבד. לעומת זאת כמעט ואין כל השפעה על קצב השתנות הריכוזים בתוך המוקד. שיפור בקצב ירידת הריכוזים נצפה בחלק מקידוחי ההפקה של רמת השרון (כגון רמת השרון א', ג', ד'). ההשפעה על קידוחי ההפקה בצפון תל-אביב היא מזערית.

השוואה בין סך כל המסה של הפרכלורט שסולקה בשני התרחישים אחרונים (RP9, RP10) עם ובלי ההפקה מקידוחי צפון תל-אביב, בהתאמה) מראה שאין הבדל משמעותי במסה שהוצאה מהאקויפר. כלומר, הפקה כה מסיבות של מי תהום במוקד כתם הזיהום (600 מ³/שעה), בנוסף לשאיבות במתחם רמת השרון יוצרים מכתש ממוקד בתחום מוקד עננת הזיהום כך שהפקה של מי תהום נוספת בשוליים הדרומיים כמעט ולא גוררת מי תהום עם רמת זיהום גבוהה דרומה מתחום התע"ש, וממילא אינה גורעת מסה משמעותית נוספת של פרכלורט מתוך מוקד עננת

הזיהום. יחד עם זאת, השאיבה בשוליים הדרומיים גוררת פיזור המזהם והקטנת יעילות הסילוק כאשר ריכוז השיא הצפוי גבוה מעט מזה שהיה מתקבל עם שאיבה רק בתחומי רמת השרון ממערב לתע"ש.

טבלה 4.3 ערכים צפויים של שארית המסה והריכוז המקסימלי הצפוי של פרכלורט באקוויפר לכל אחד מהתרחישים : RP6, RP9 ו RP10.

Perchlorate mass balance in groundwater during 2005-2030 for different remediation pumping scenarios						
Scenario	Mass balance components					
	Washed from unsaturated zone source (ton)	Sink to wells (ton)	Initial mass (ton)	Final mass (ton)	Balance error (%)	Max final concentration (ppb)
RP6	279.8	1087.3	1016.4	37.2	5.4	29174
RP9	279.8	1351.1	1016.4	6.3	6.0	29872
RP10	279.8	1354.3	1016.4	6.1	6.3	31442

פרק 5

סקר סיכונים של זיהום האקויפר במרחב רמת השרון בגין זיהום מי התהום מכרום, RDX, TCE, ניטרט ופרכלורט לארבעה תרחישי הפקה ותפעול

מחברים: אילון אדר, אלכס יקירביץ ומיכאל קוזניצוב

הליך השיקום העתידי של אקויפר החוף חייב להתבסס על ניקוי האקויפר ממגוון המזהמים שזוהו במי התהום. לצורך כך, ובהנחה שהניידות של פרכלורט היא הגבוהה ביותר ביחס לשאר המזהמים המומסים, כויל מודל הסעה תלת ממדי באקויפר החוף שבמרחב רמת השרון (כרך III, פרק 2). בהעדר מידע הידרולוגי/הידרוכימי על התנהגות תרכובות כימיות אורגניות ולא אורגניות מזהמות אחרות כגון חומרי נפץ או כרומט במי האקויפר בחרנו להשתמש במודל הקיים לחיזוי השינוי בתפרוסת כלל המומסים על פי התרחיש הקיצוני ביותר, כלומר לחומר משמר ללא ספיחה או פרוק.

לצורך בחינת התפשטות הזיהום באקויפר של מגוון המזהמים העיקריים (פרכלורט, כרום, TCE, RDX, וניטרט) הוחלט לבחון ולהשוות את הצפוי להתרחש למגוון המזהמים הנ"ל במרחב רמת השרון ובמורד הזרימה מכתמי הזיהום על ציר הזמן לארבעה תרחישים שונים:

RP1 – תרחיש בו כל קידוחי ההפקה ברמת השרון ותל אביב צפון סגורים החל מ-2005 וב-2007 מתחילה הפקה של כ-100 מ³/לשעה מכל אחד משני הקידוחים שבמוקד הזיהום (ליד סלע ב') ובשוליו (רמת השרון ז').

RP3 – תרחיש שבו כל קידוחי ההפקה ברמת השרון ותל אביב צפון סגורים החל מ-2005 וב-2007 מתחילה הפקה לצורך שיקום של 100 מ³/לשעה מכל אחד מארבעת הקידוחים שלאורך ציר מוקד הזיהום (בסמוך ל- T10, T101 וסלע ב' שבמוקד הזיהום, ומרמת השרון ז' בשוליו המערביים).

RP6 – חלק מקידוחי רמת השרון שנסגרו ב-2005 חוזרים להפקה סדירה ולטיפול במים (רמת השרון א', ב, ד, ה, ו-ו') ובנוסף, מפיקים כ-100 מ³/לשעה משני קידוחים במוקד הזיהום (בסמוך לסלע ב' ו-T10).

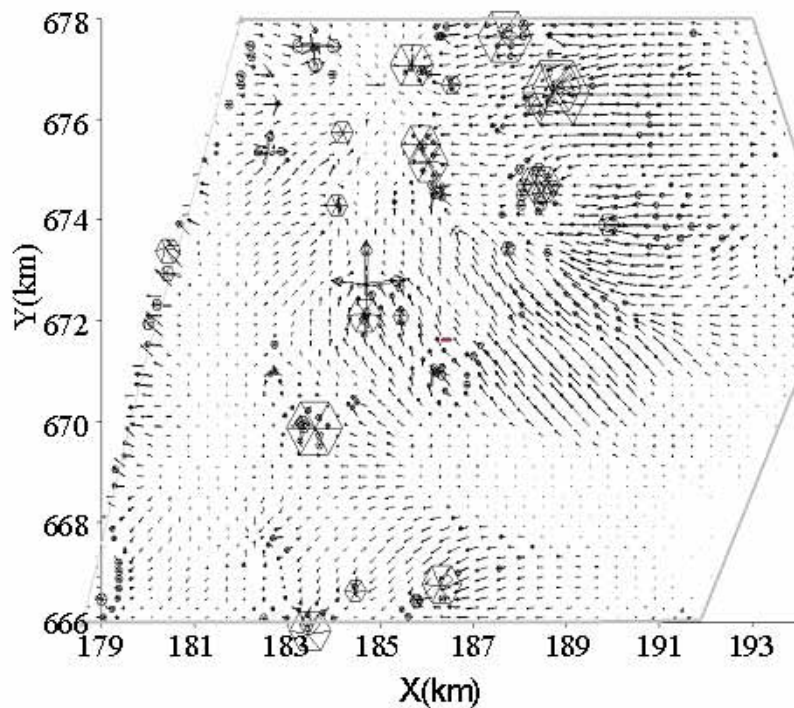
RP10 – חלק מקידוחי רמת השרון (א, ב, ד, ה, ו-ו') וחלק מקידוחי תל אביב צפון (2, 3, 6, 6א) שבים להפקה חלקית סדירה בנוסף לשאיבה מסיבית של 150 מ³/לשעה מכל אחד מארבעת הקידוחים שלאורך ציר מוקד הזיהום (T10, T101, סלע ב' ורמת השרון ז').

כל התרחישים להם הורץ המודל ומתוארים בהמשך גובשו ואושרו לביצוע יחד עם ועד ההיגוי מקצועית שהוקמה לצורך זה ע"י רשות המים.

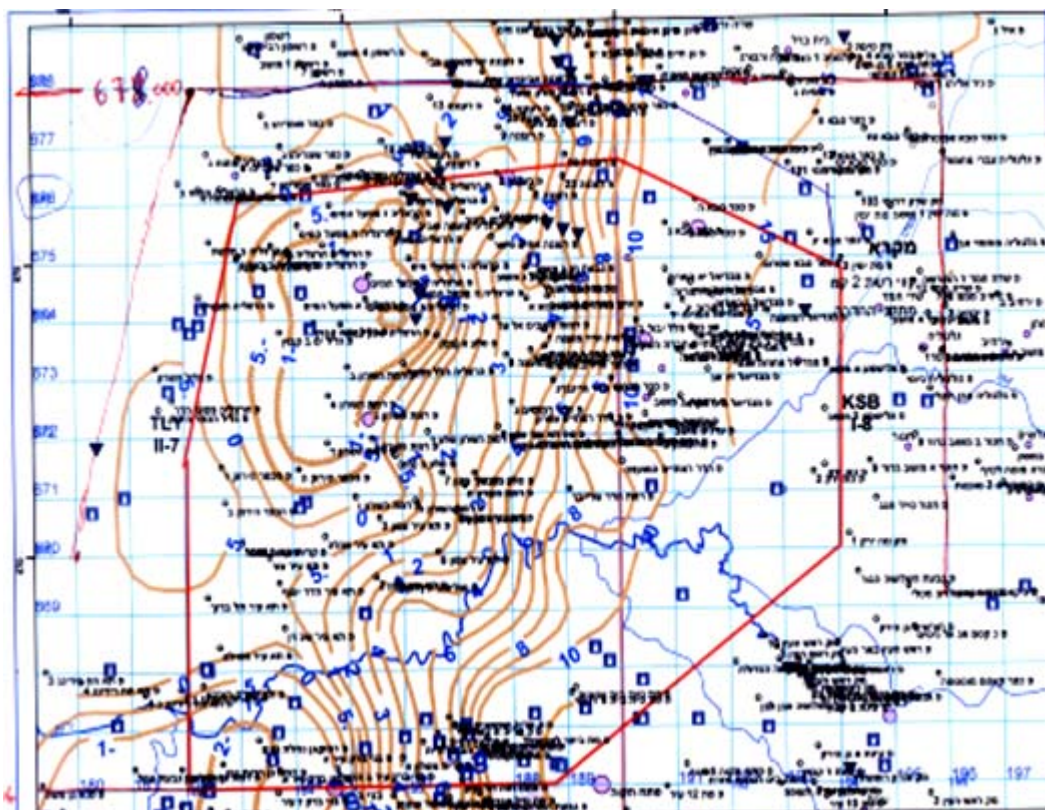
התפרוסת המרחבית של מספר מזהמים בנוסף לפרכלורט נבחנה לארבעת החלופות הנ"ל בנוסף לחלופת האפס שמייצגת את המצב התפעולי של האקויפר כפי שהוא כיום מאז 2005 (תרחיש S 2). במסגרת זו חושב הפרוס המרחבי של RDX, Cr, TCE ואף זה של ניטרט עד לשנת 2030.

לנוחיות הקורא מוצג כאן שנית תרשים דגם הזרימה במרחב רמת השרון נכון למצב המפלסים 2005/6 (איור 5.1). החצים מסמנים קווי זרימה עם כיוון וגודל של ספיקת דרסי. איור 5.2 מציג

את המפלס מי התהום לשנת 2005. בעוד שהקווים הכתומים מייצגים את מפלס מי התהום במרחב רמת השרון. המסגרת האדומה תוחמת את גבולות מודל הזרימה וההסעה.



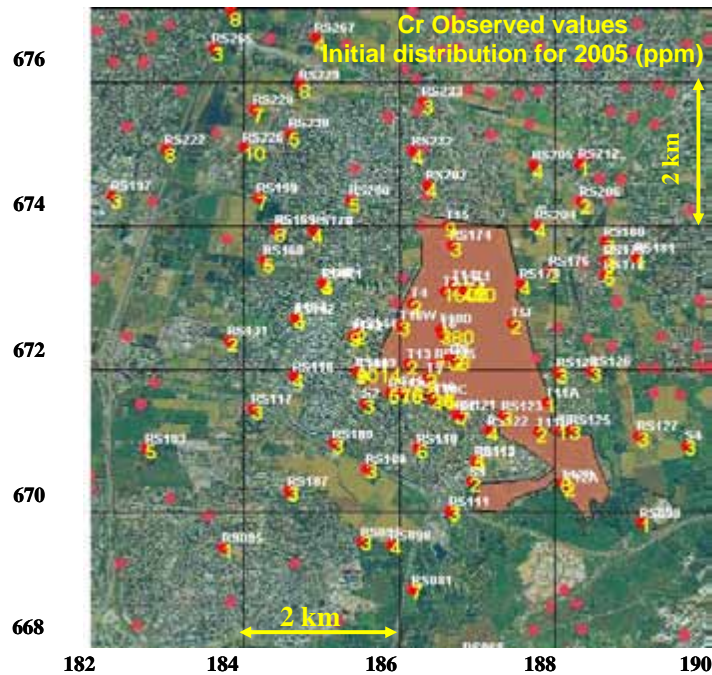
איור 5.1 תרשים מסלולי הזרימה ועוצמת ספיקת דרסי על פי מודל הזרימה המכויל למרחב רמת השרון.



איור 5.2 מפת המפלסים וגבולות מודל הזרימה למרחב רמת השרון.

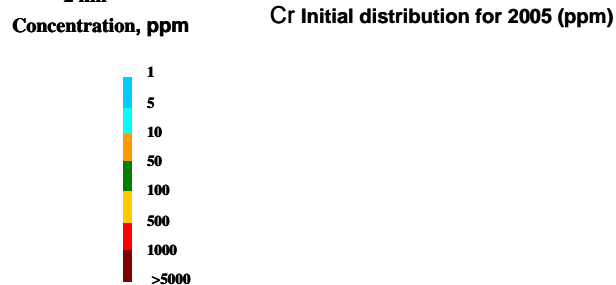
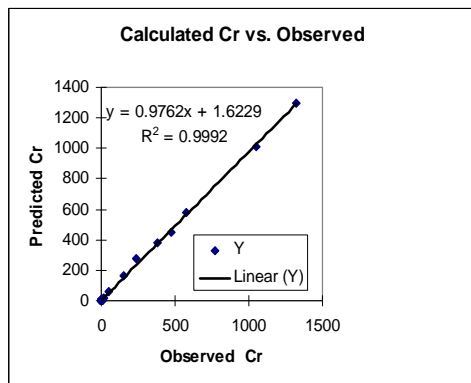
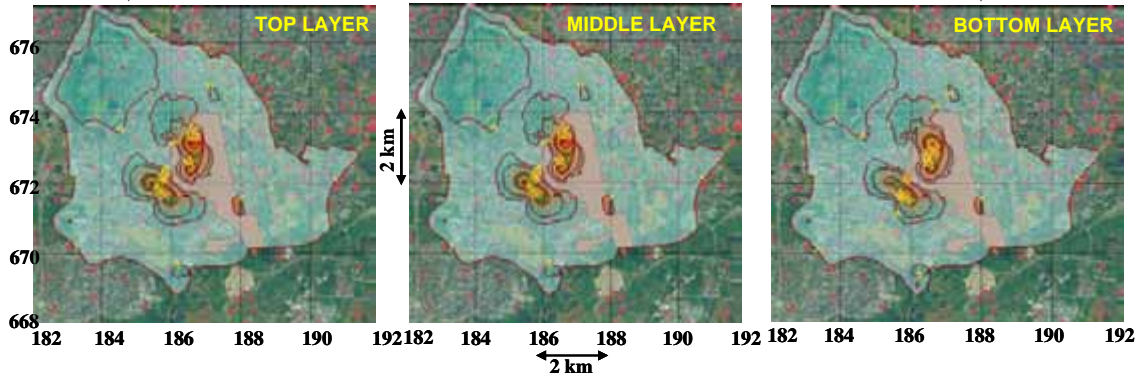
5.1 חיזוי פרוס כרום-6 במי התהום על פי מודל ההסעה

ריכוזים משמעותיים של כרום-6 (מעל 1 ppm) נמצאו ב-45 בארות וקידוחי תצפית במרחב רמת השרון. ריכוזים גבוהים במיוחד נמדדו בבארות RS 119, RS 120 (1014 ו-576 מג"ל בהתאמה). ובקידוחים T10, T14 (274), T101 (164), T2c (450), T3 (1300), T6 (380). וב- T7 (58) מג"ל בהתאמה. ריכוזים נמוכים אך משמעותיים נמדדו במוקד הזרימה לכיוון צפון-מערב ולדרום-מערב. ההשתרעות הרחבה נובעת מכך שכרום 6 הוא מסיס ומתנייד באקויפר באופן שמרני למדי בדומה לפרכלורט. מיקום הקידוחים בהם נמצא כרום-6 והערכים שנמדדו ב-2005, מוצגים באיור 5.3.



איור 5.3 מיקום הקידוחים בהם נמצא כרום-6 והערכים שנמדדו בדיגום 2005.

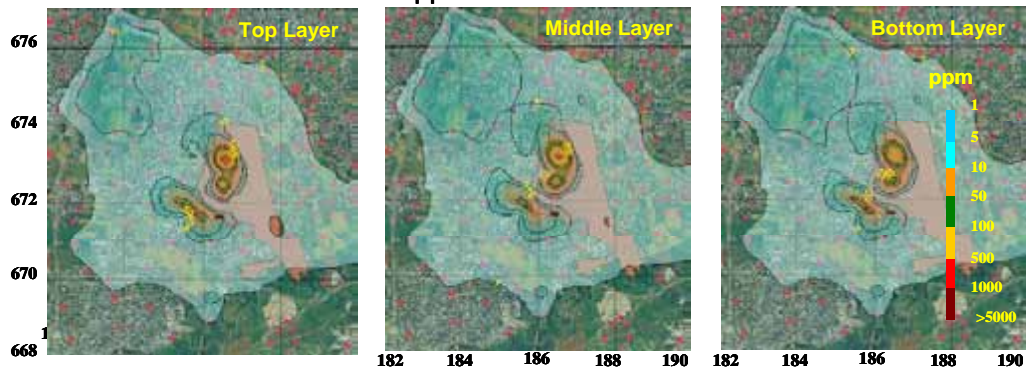
ערכים אלו שימשו לקביעת ערכי התחלה למודל ההסעה לשם חיזוי תפוסת הכרום במהלך השנים הבאות. בשונה ממוקדי זיהום של מרבית המזהמים, מיקום המוקדים (ריכוזים גבוהים) של הכרום במי האקויפר שונים באופן ברור מזה שנמצא לפרכלורט. קיים מוקד ברור בצפון אתר התעשיות ומוקד שני שנדד מערבה ממתחם התעשיות הצבאיות ונמצא מתחת לרמת השרון.



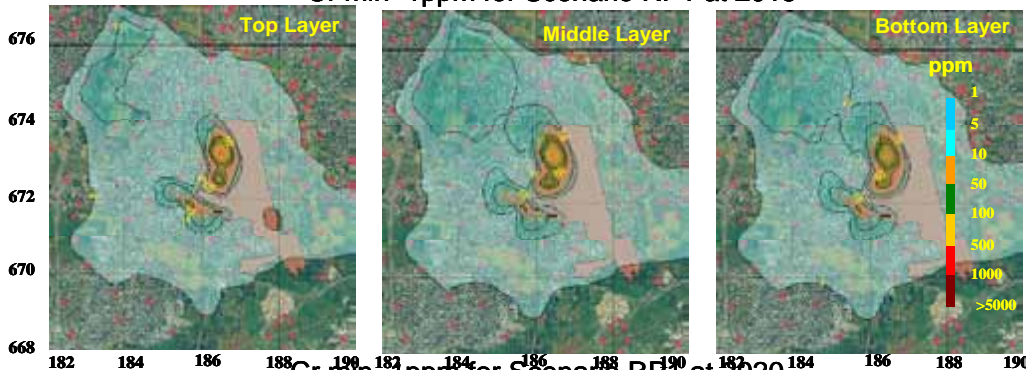
איור 5.4 פרוס הכרום כערכים תחיליים לשנת 2005 בשכבת האקויפר העליונה, התיכונה ובשכבה התחתונה.

פרוס הכרום כערכים תחיליים לשנת 2005 בשכבת האקוויפר העליונה, התיכונה ובשכבה התחתונה, מוצגים באיור 5.4, עם מתאם ליניארי, של 99% בין הערכים המודדים לערכים המחושבים לאותן בארות וקידוחי תצפית. בשונה מאזיד, מדובר בשניים ואולי אף שלושה מוקדים שונים של כרום עם עננה מאוד רחבה על פני המרחב כולו כולל ממזרח למתחם התע"ש. יתכן ומדובר במקור מהעבר הרחוק שהיה פעיל באזור התעשייה של הוד השרון שלא אותר בסקר ההיסטורי.

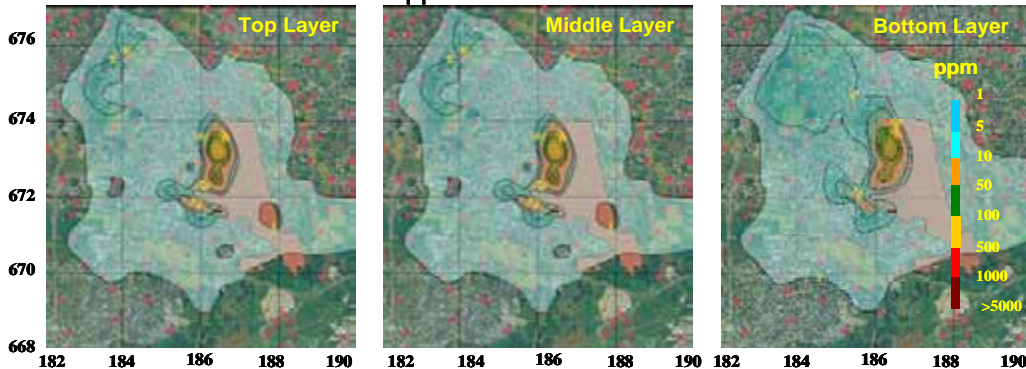
Cr min=1ppm for Scenario RP1 at 2010



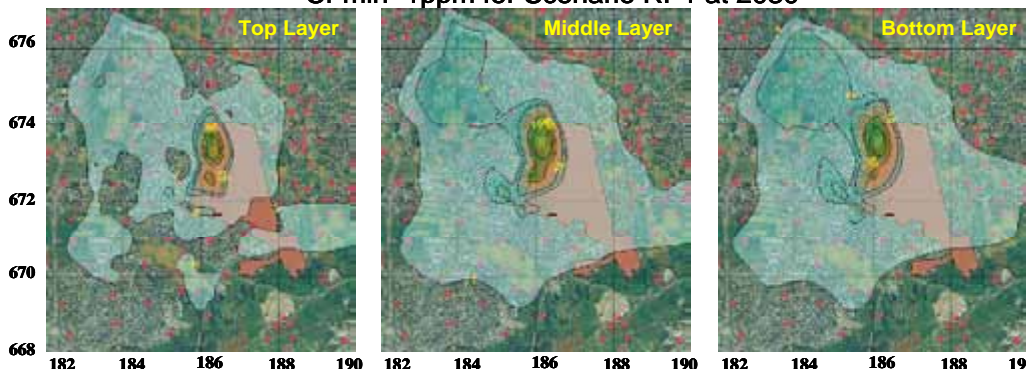
Cr min=1ppm for Scenario RP1 at 2015



Cr min=1ppm for Scenario RP1 at 2020



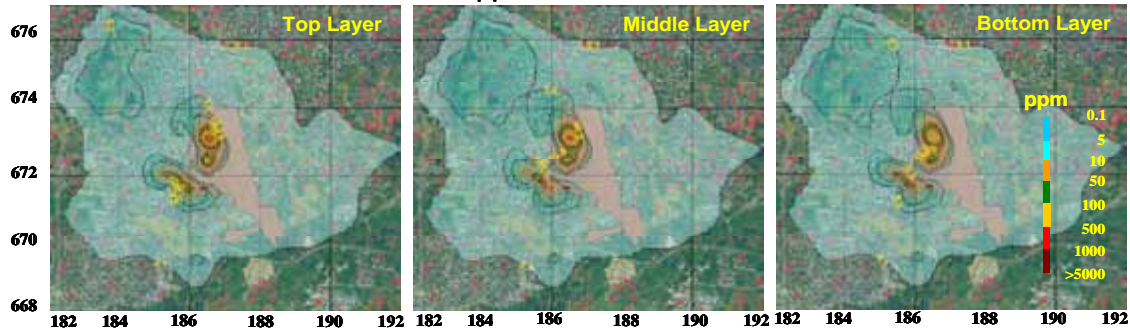
Cr min=1ppm for Scenario RP1 at 2030



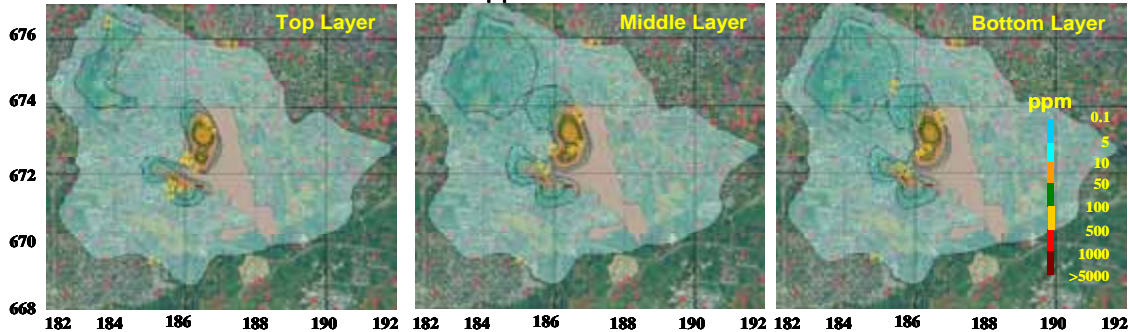
איור 5.5 הפרוס המרחבי הצפוי של כרום באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 1 לריכוז מינימלי של 1ppm.

על פי תרחיש RP1, החל מ-2007 מתחילים בשאיבות מצומצמות במוקד (כפי שהוגדר על פי הפרוס של פרכלורט) בהיקף כולל של כ-200 מ³/שעה לשיקום האקויפר משתי בארות במוקד הזיהום (סלע ב) ובשוליו המערביים (ר. השרון ז) כשכל שאר בארות ההפקה משבתות לפי המצב היום. שאיבה במוקד על פי תרחיש RP1 מסלקת לאורך השנים לחלוטין את המוקד המזרחי, מצמצמת באופן בולט את הנפח המזוהם ומורידה את הריכוזים במוקד המערבי (מתחת לרמת השרון) ולבסוף החל מ-2020 אף מצמצמת את ההשטרעות במוקד הצפוני. איור 5.5 ו. איור 5.6 מראים שאין הבדל רב בהשטרעות עננת הזיהום בכרום גם אם יורדים לריכוזים נמוכים של 0.1 ppm.

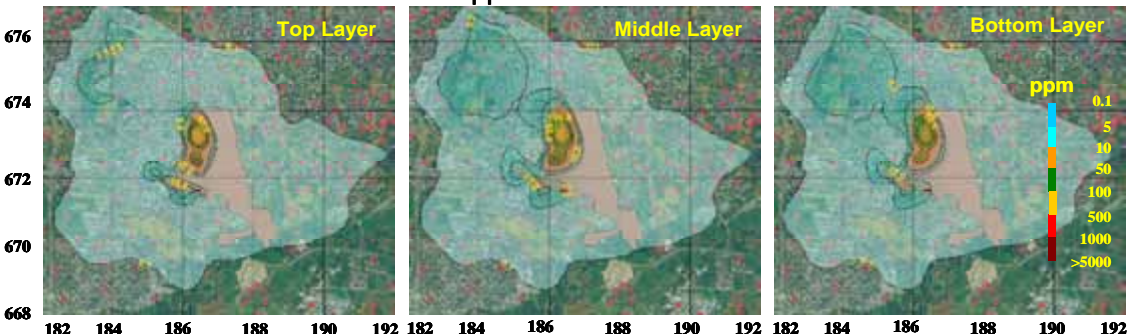
Cr min=0.1ppm for Scenario RP1 at 2010



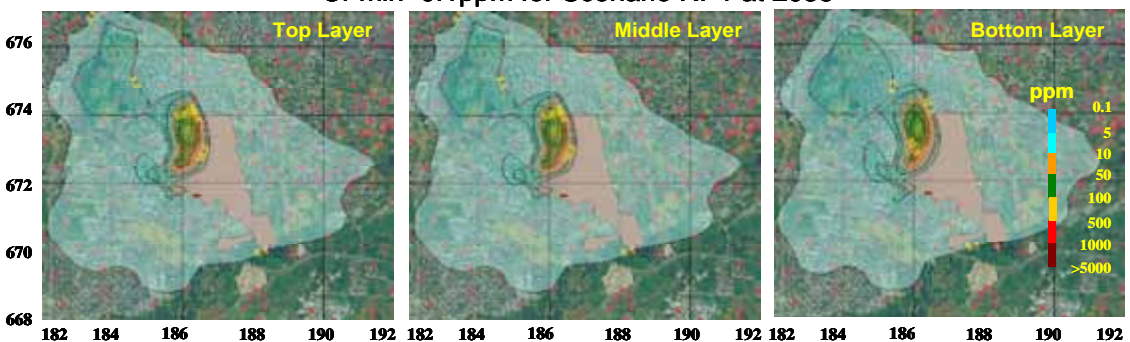
Cr min=0.1ppm for Scenario RP1 at 2015



Cr min=0.1ppm for Scenario RP1 at 2020

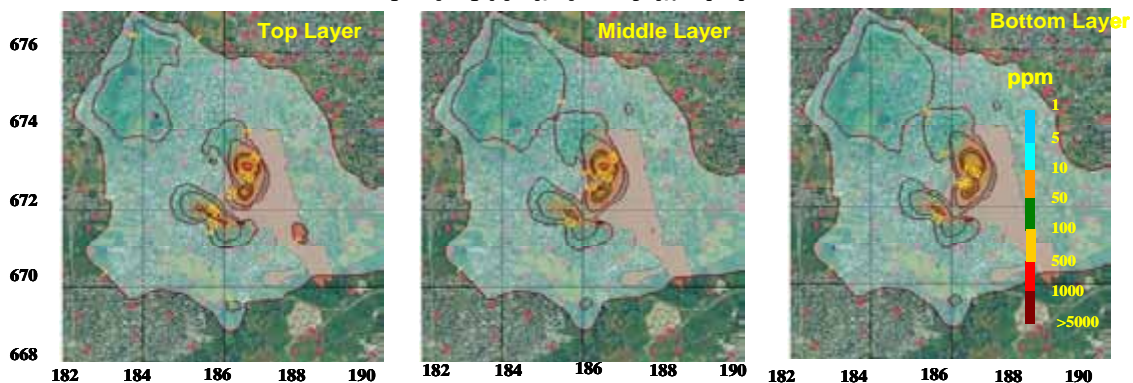


Cr min=0.1ppm for Scenario RP1 at 2035

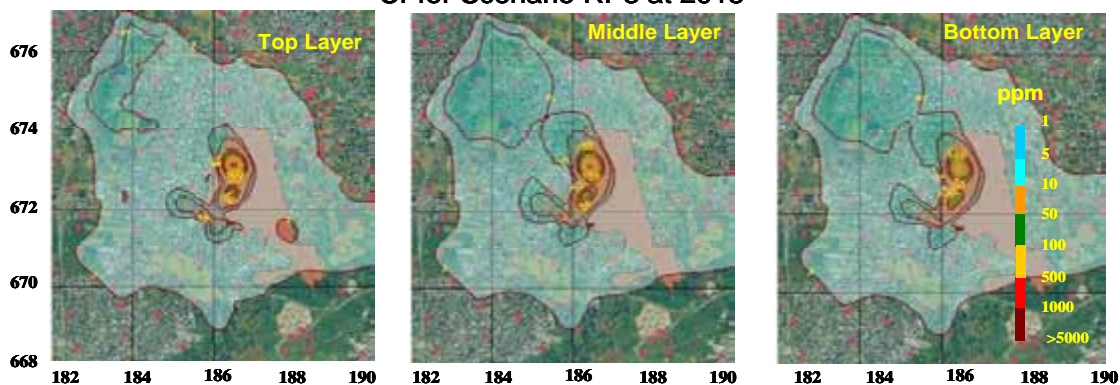


איור 5.6 הפרוס המרחבי הצפוי של כרום באקויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP1 לריכוז מינימלי של 0.1ppm.

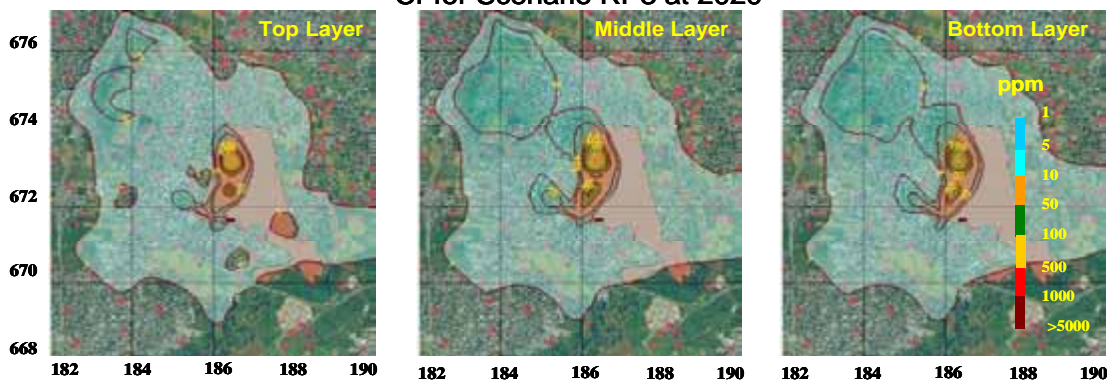
Cr for Scenario RP3 at 2010



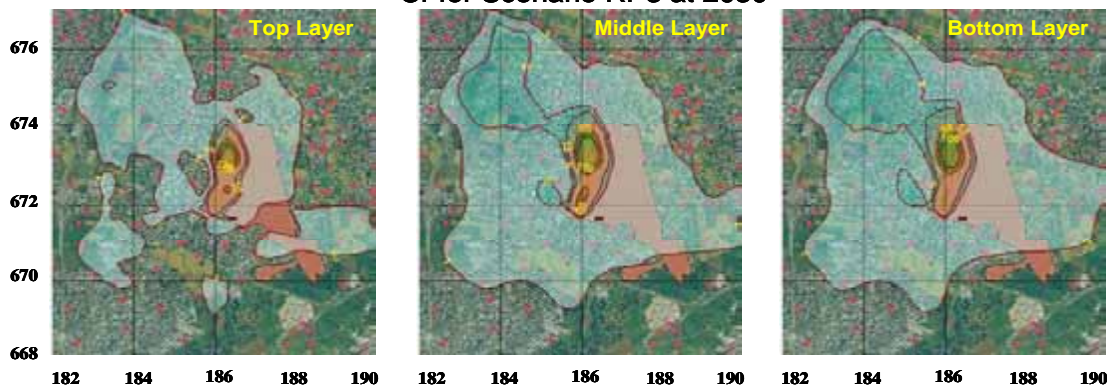
Cr for Scenario RP3 at 2015



Cr for Scenario RP3 at 2020



Cr for Scenario RP3 at 2030

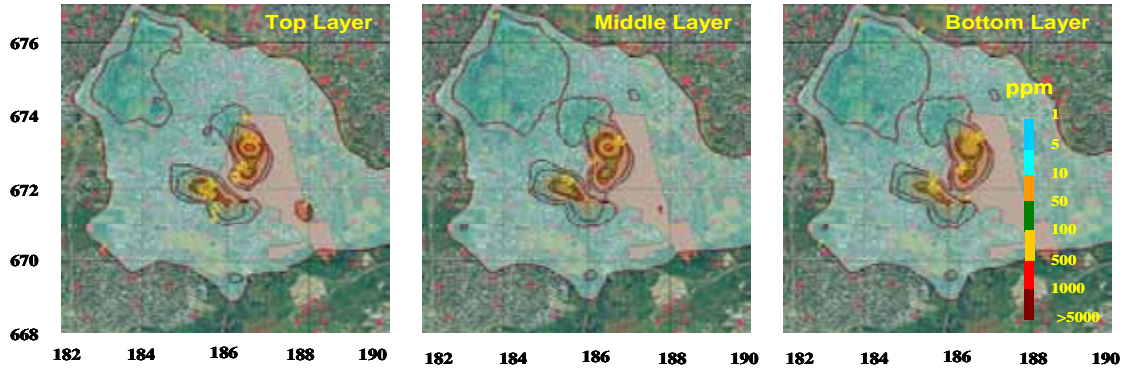


איור 5.7 הפרוס המרחבי הצפוי של כרום באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 3.

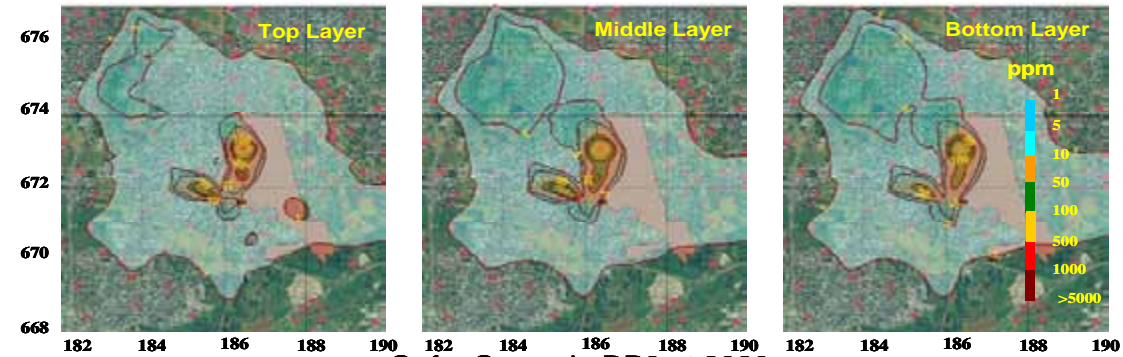
הכפלת נפח השאיבות במוקד לכדי $400 \text{ מ}^3/\text{שעה}$ על פי תרחיש RP3 מחסלת את המוקד המזרחי ומונעת זליגה מערבה תוך ניקוי המוקד המערבי כמעט לחלוטין (איור 5.7). בתרחיש זה ישנה גם ירידה בולטת בריכוזים במוקד הצפוני. המרחב המזוהם בכרום באקוויפר יורד ומצטמצם במיוחד באקוויפר העליון.

חידוש ההפקה בקידוחי רמת השרון עם הפקה מינימאלית במוקד הזיהום (על פי פרכלורט) במתחם התעשיות (תרחיש RP6) מחסל את המוקד המזרח ומקטין באופן משמעותי את רמות הזיהום במוקד המערבי (איור 5.8). יחד עם זאת, בניגוד לממצאים מתרחיש RP3, נשאר מוקד זיהום של כרום במתחם רמת השרון וצמצום היקף הזיהום בגזרה הדרום מערבית.

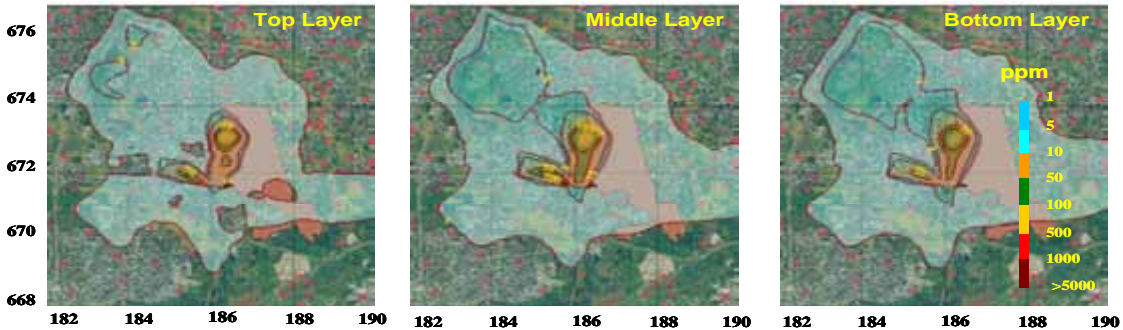
Cr for Scenario RP6 at 2010



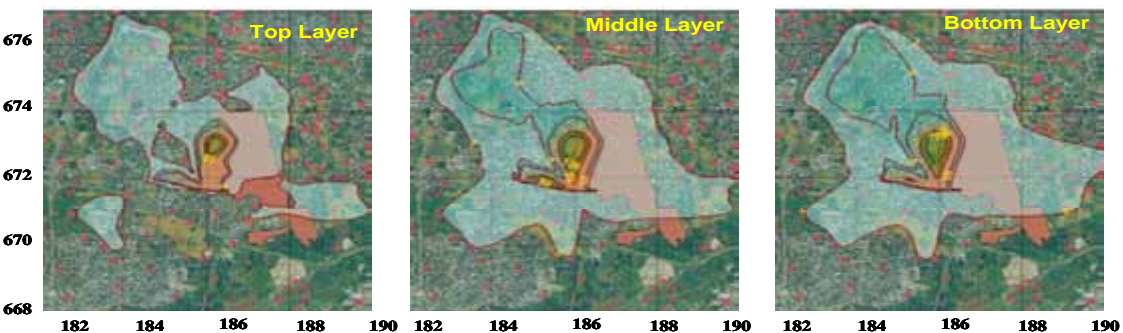
Cr for Scenario RP6 at 2015



Cr for Scenario RP6 at 2020



Cr for Scenario RP6 at 2030

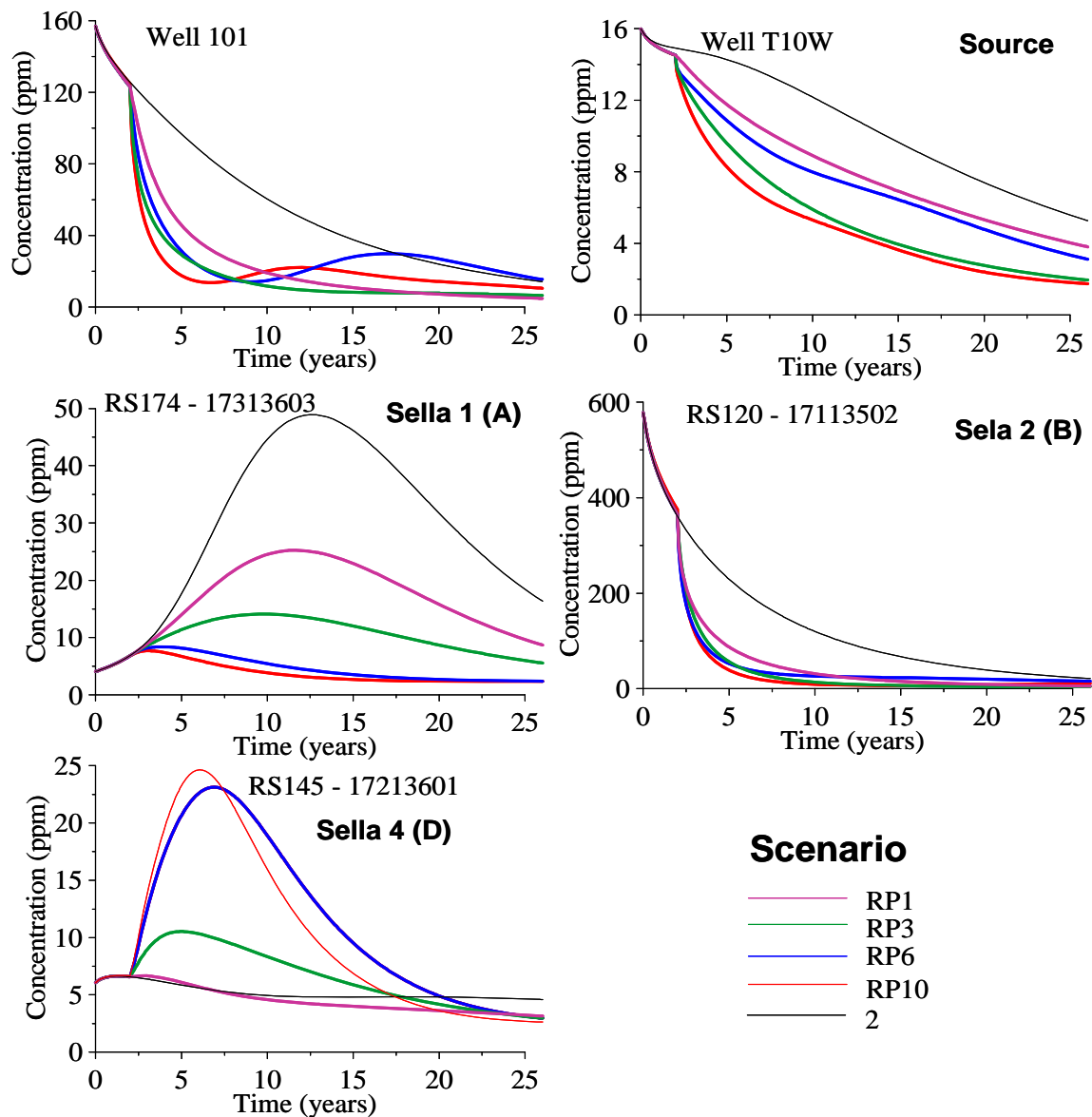


איור 5.8 הפרוס המרחבי הצפוי של כרום באקויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP6.

הגברת השאיבה במוקד וחידוש ההפקה החלקית בקידוחי תל אביב צפון על פי תרחיש RP10 גוררת ניקוי משמעותי של אקויפר מכרום (איור 5.8) תוך מניעה של המשך הזיהום מערבה וצמצום הזיהום למוקד הצפוני בלבד. אולם גם על פי תרחיש זה ב-2030 נשאר המוקד של הזיהום

הצפוני עם רמות זיהום גבוהות משמעותית של כרום. כפי שניתן לראות באיור 5.8 לכתם הכרום במי התהום ישנם שני מוקדים: האחד בתוך מתחם התע"ש והשני במורד הזרימה ברמת השרון. כרום 6 התפשט במרחב וריכוזים נמוכים של עד 4-5 מג"ל נמדדו בפאתי קידוחי הרצלייה וערכים של עד 10 מג"ל נמדדו באזור צומת הסירה (כנראה כתלות בפסולת בבורות ההטמנה הסמוכים וללא קשר או תלות למקור שמהתעשיות הצבאיות שבמתחם התע"ש).

Time series of simulated Chromium concentration in selected TA'AS wells



איור 5.9 חיזוי ריכוזי הכרום במתחם התע"ש במהלך 25 השנים הבאות לתרחישים: RP1, S2, RP10, RP6, RP3.

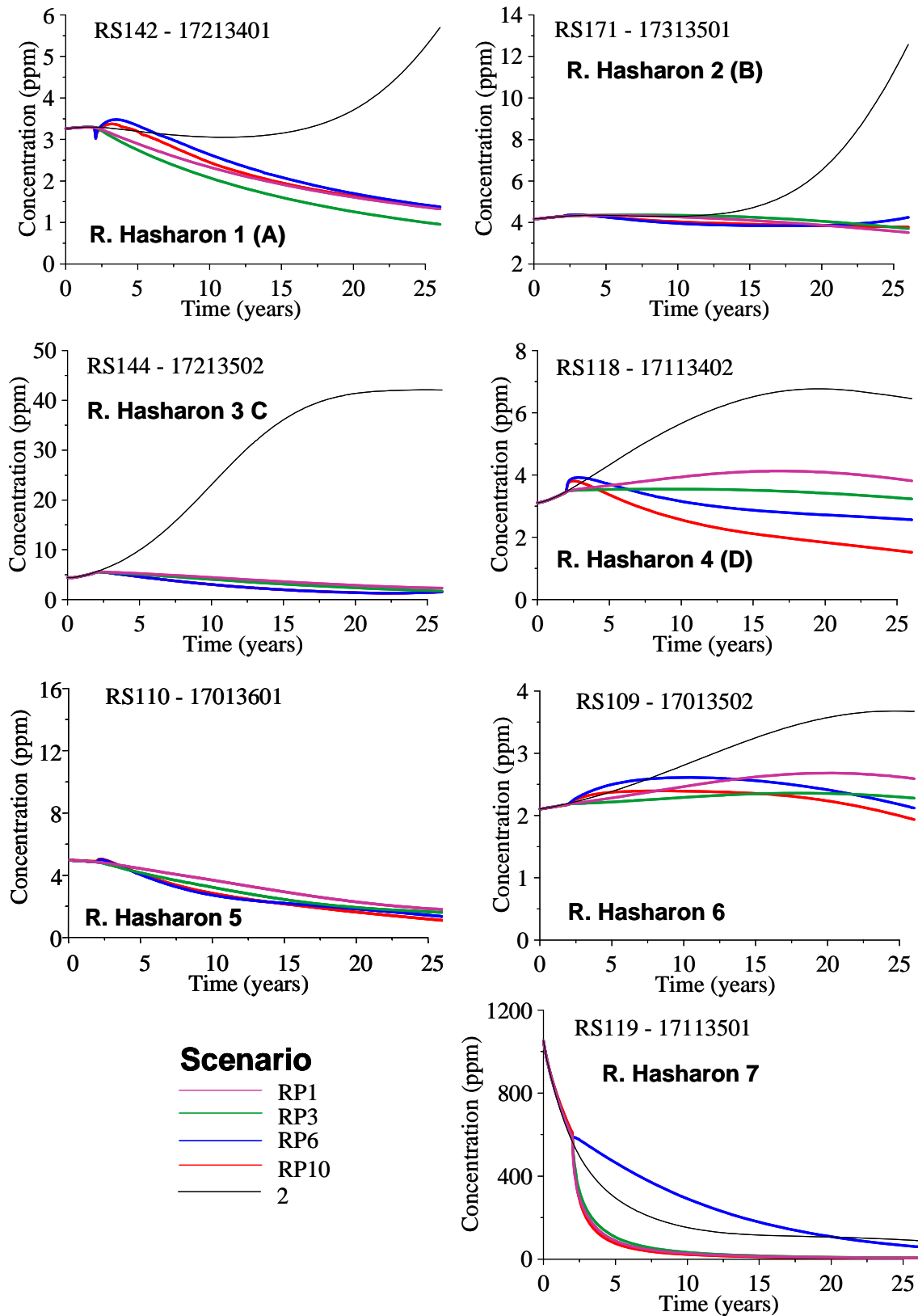
השינויים הצפויים בריכוזי הכרום במהלך השנים הבאות נבחנו בעזרת מודל ההסעה לכל התרחישים (RP1-RP10). על פי המצב הנוכחי (תרחיש S2) כתם הכרום ינוע צפונה מערבה והריכוזים של כרום במי התהום במתחם התע"ש צפויים לדעוך, למעט באזור קידוח סלע א' שם ריכוזי הכרום ימשיכו לעלות במהלך 10-12 השנים הבאות. רק לאחר מכן, תחל דעיכה עד לכדי 20

מיליגרם בליטר כעבור כ-25 שנה מהיום. על פי תוצאות המודל שאיכות השיקום באיזור סלע ב' וברמת השרון ז' יפחיתו באופן משמעותי את ריכוז הכרום במתחם התע"ש (איור 5.9). הפקה כוללת מצומצמת במוקד של 200 מ³/שעה (RP1) והפקה מוגברת מהמוקד עד כדי 400 מ³/שעה מארבעה קידוחי הפקה ושיקום (RP3), גוררים עליה בריכוז הברום עד ל-28 מג"ל ו-15 מ"ג בקידוח סלע א' במהלך 12-15 השנים הבאות. על פי תרחישים RP6 ו-RP10, ריכוז הכרום יגיע לכדי 20-25 מג"ל בקידוח סלע ד' תוך חמש שנים מהפעלת התרחיש של שאיבה במוקד במשולב עם חידוש ההפקה ברמת השרון ובקידוחי תל אביב צפון.

איור 5.10 מתאר את הצפי לשינוי בריכוז הכרום במתחם קידוחי ההפקה של רמת השרון כתלות בתרחישים שונים של שיקום והפקה. תחזית פרוס הכרום על פי תרחיש זרימה S-2 חוזה עליה מתמדת ומתמשכת של הכרום לרמות של 45, 4 ו-6 מיליגרם בליטר בקידוחים רמת השרון ג', ד', ו-ז' בהתאמה. בקידוחים רמת השרון א' ו-ב' העלייה בריכוז הכרום צפויה רק באוד כ-15 שנה. בכל התרחישים האחרים ריכוז הכרום צפוי לדעוך ולרדת באופן משמעותי בקידוח רמת השרון ז'. בכל שאר הקידוחים על פי כל התרחישים אין כמעט שינוי בריכוז הצפוי של הכרום עם תנודות קלות של 1-2 מג"ל בקידוחים רמת השרון ב', ד' ו-ו' וירידות קלות של בין 2 ל-3 מג"ל בקידוחים רמת השרון א', ג' ו-ה'.

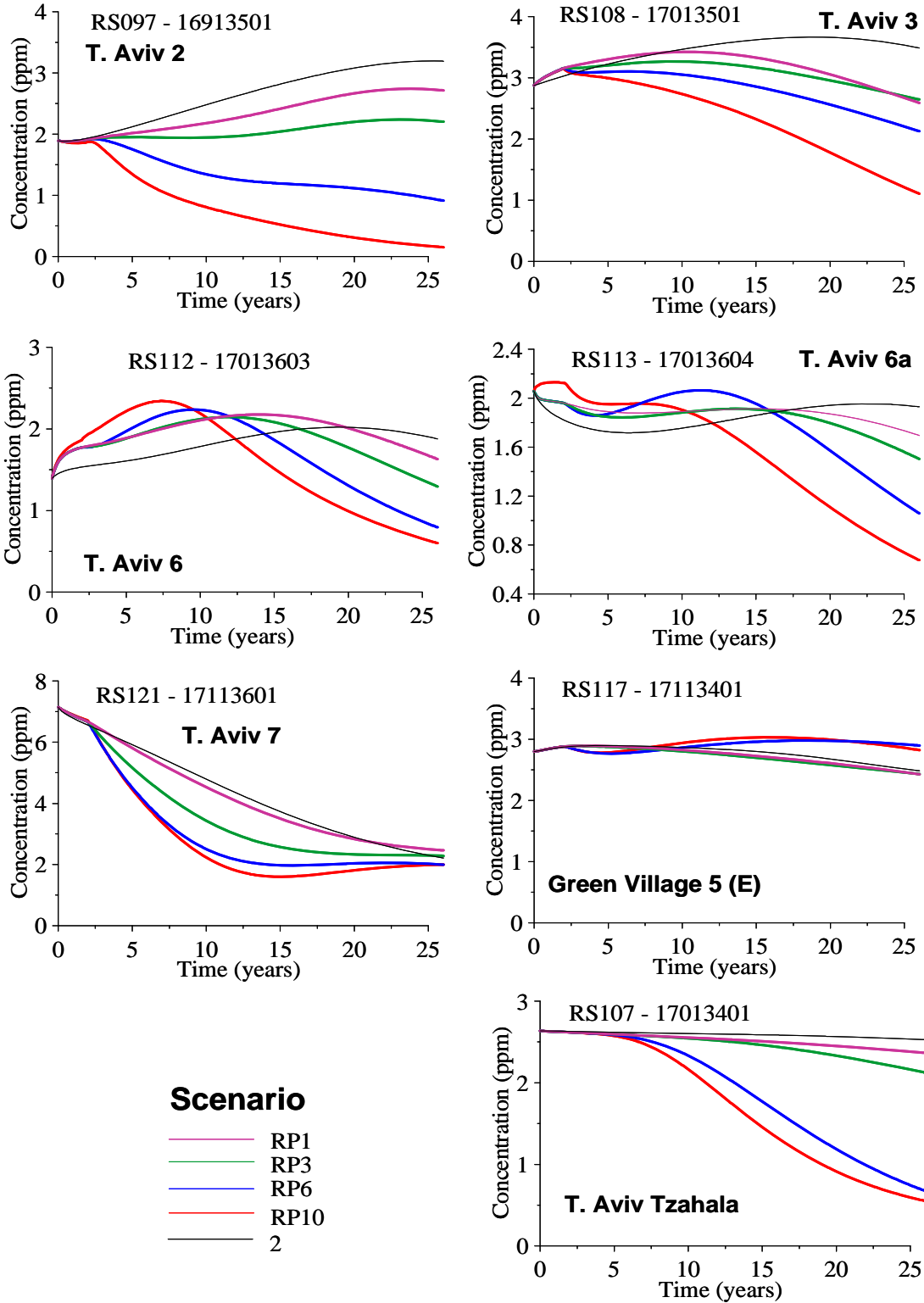
תמונה דומה מתקבלת גם בקידוחי תל אביב צפון (איור 5.11), שם צפויים יציבות ו/או ירידות קלות של בין 2 ל-4 מג"ל. בכל התרחישים, ריכוז הכרום במי התהום במרחב קידוחי ההפקה של תל אביב צפון נמוך בהרבה ממה שנמצא בתוך וממערב לתע"ש. הריכוז הגבוה ביותר (7 מיליגרם בליטר) נמדד בקידוח תל אביב 7. הצמדות למצב השאיבות הקיים צפוי לעלות במדה מוגבלת (1-2 מיליגרם לליטר) את הריכוזים בקידוחים תל אביב צפון 2 ו-3. בכל שאר הקידוחים צפויה ירידה קלה עם הזמן. חידוש ההפקה בקידוחים אלו יחד או במשולב עם חידוש ההפקה ברמת השרון ושאיבות שיקום בתוך מתחם התע"ש, המודל צופה ירידה וסילוק מסיבי של הכרומטים ממי התהום.

Time series of simulated Chromium concentration in selected Ramt Ha'Sharon wells



איור 5.10 חיזוי ריכוזי הכרום באזור רמת השרון במהלך 25 השנים הבאות לתרחישים: S2, RP1, RP3, RP6, ו-RP10.

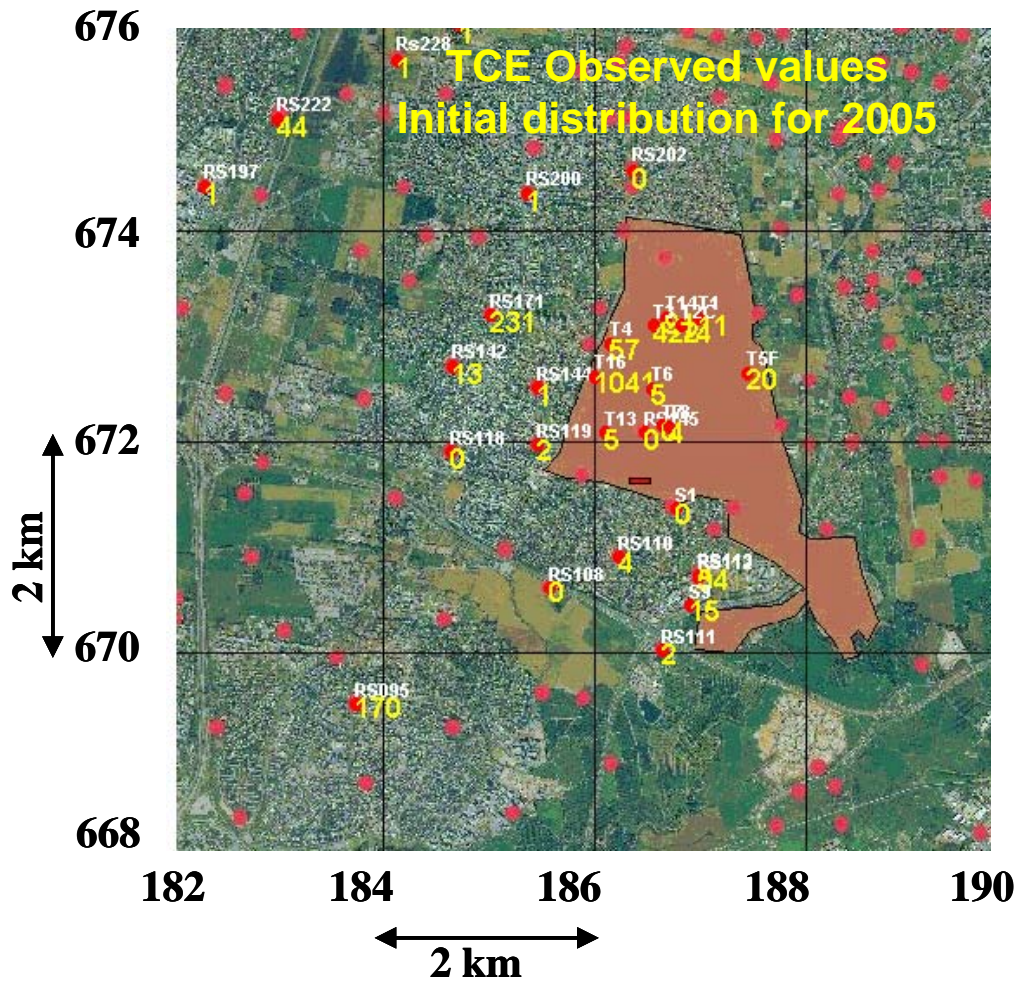
Time series of simulated Chromium concentration in selected Tel Aviv wells



איור 5.11 חיזוי ריכוזי הכרום באזור תל אביב-צפון במהלך 25 השנים הבאות לתרחישים: S2, RP1, RP3, RP6 ו-RP10.

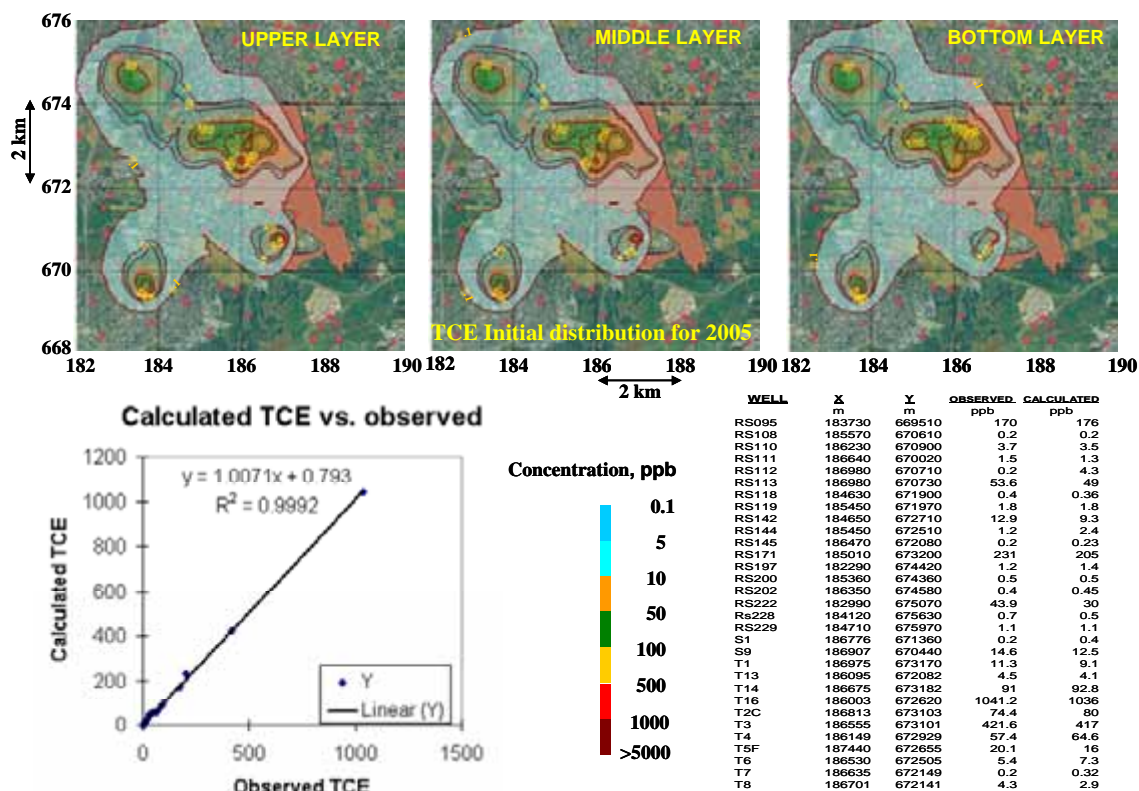
5.2 חיזוי פרוס TCE על פי מודל ההסעה

מיקום בארות התצפית בהן נמצא TCE, מומס במי התהום ותכולת TCE במיקרוגרם לליטר מוצגים באיור 5.12 פרוס הריכוזים הזה של TCE, כפי שנמדדו במי התהום במהלך 2005 שימש לקביעת ערכים תחיליים למודל ההסעה. הפרוס המרחבי התחילי של TCE לאקויפר העליון, התיכון (בשכבת הביניים - שכבה 5) והתחתון (בשכבה התחתונה- שכבה 10) חושב מתוך אינטרפולציה תלת ממדית על בסיס התצפיות והממצאים מתוך 29 נקודות תצפית של ניטור 2005 (איור 5.13).



איור 5.12 מיקום קידוחים בהם נמצא TCE והערכים שנמדדו בדיגום 2005.

המתאם בין הערכים המדודים (ערכי התצפית) לבין הערכים המחושבים שמשמשים כתנאי התחלה למודל ההסעה מוצג אף הוא באיור 5.13. המתאם שהתקבל הוא $R^2=0.96$ (למרות חריגות קלות וסטייה משמעותית בשני קידוחים-שתי נקודות תצפית). המתאם הליניארי הגבוה בין הערכים המדודים למחושבים והפערים הקטנים שניתנים להזנחה, מאפשרים להניח כי מדובר בתנאי התחלה מייצגים למודל ההסעה לצורך חיזוי הפרוס המרחבי של TCE לתרחישים שונים.



איור 5.13 הפרוס המרחבי של ריכוז TCE באקוויפר העליון, התיכון והתחתון לשנת 2005

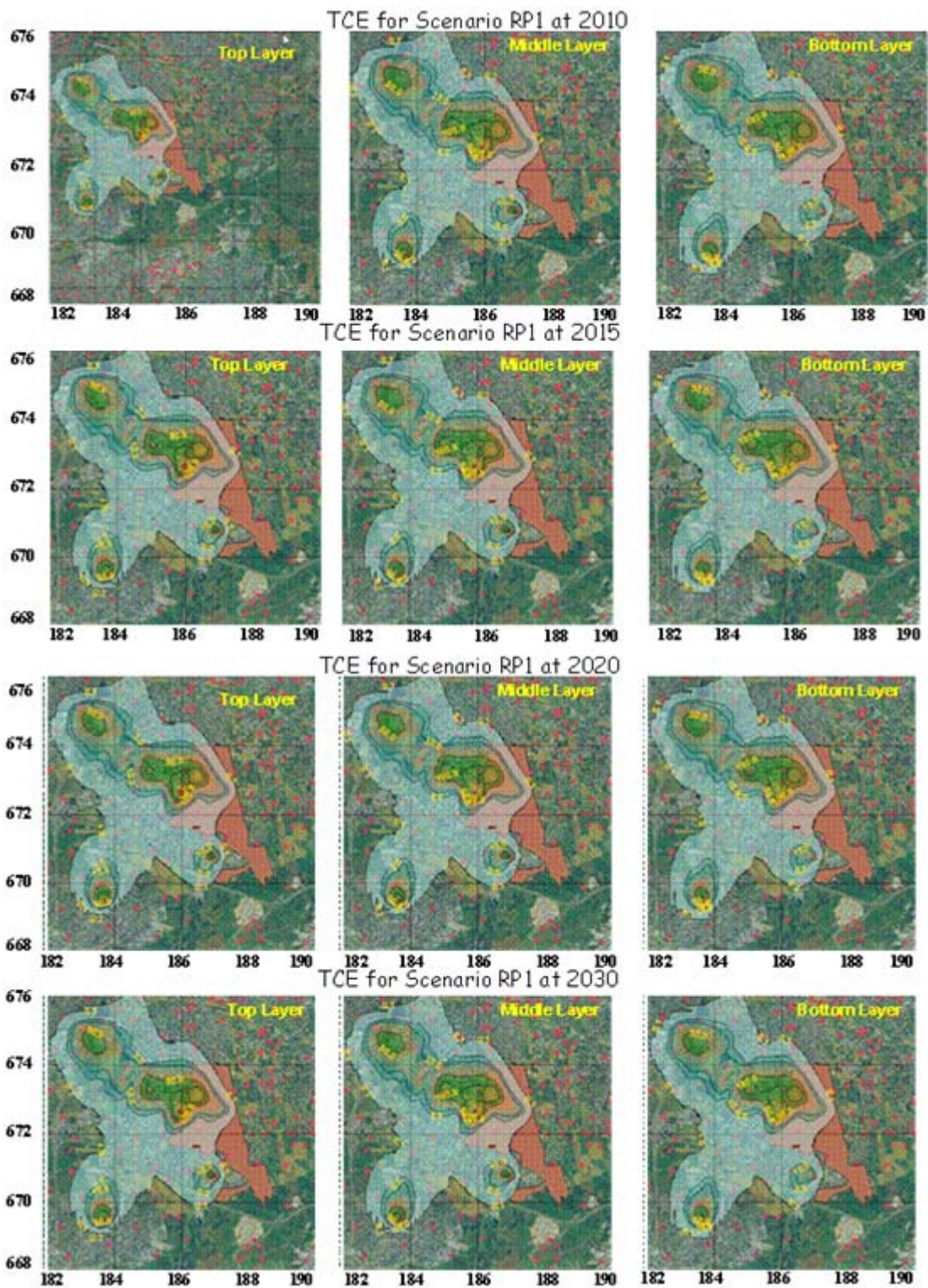
הפרוס המרחבי הנוכחי של TCE מעיד על לפחות ארבעה מוקדי זיהום במרחב תע"ש - רמת השרון וצפון תל אביב. לאור מודל הזרימה וההסעה שגובש למרחב כולו סביר להניח שלפחות שניים מהמוקדים: האחד שבקרבת צומת הסירה והשני שבצפון תל אביב, אינם נגזרות של מוקדי הזיהום שמקורם במתחם התע"ש. החיזוי של הפרוס המרחבי והשתנות הריכוזים של TCE על ציר הזמן במרחב התע"ש, רמת השרון, הרצלייה ותל אביב מבוסס על הפרוס המרחבי התחילי הכולל את כל המוקדים שזוהו במרחב על פי הדיגום ב-2004-2005.

התחזית של הפרוס המרחבי של TCE לפי תרחיש RP1 שבו ישנה שאיבה במוקד (אזור מלבין – סלע ב') ושאיבה מקידוח רמת השרון ז' בהיקף כולל של 200 מ³/שעה מוצגת באיור 5.14 לאקוויפר העליון התיכון והתחתון. על פי תרחיש זה אין כמעט השפעה לשאיבות אלו על הפרוס המרחבי במהלך 25 השנה הבאות למעט ירידה בגדולו ובהשתרעותו של כתם הזיהום במוקדים שבתוך מתחם התע"ש.

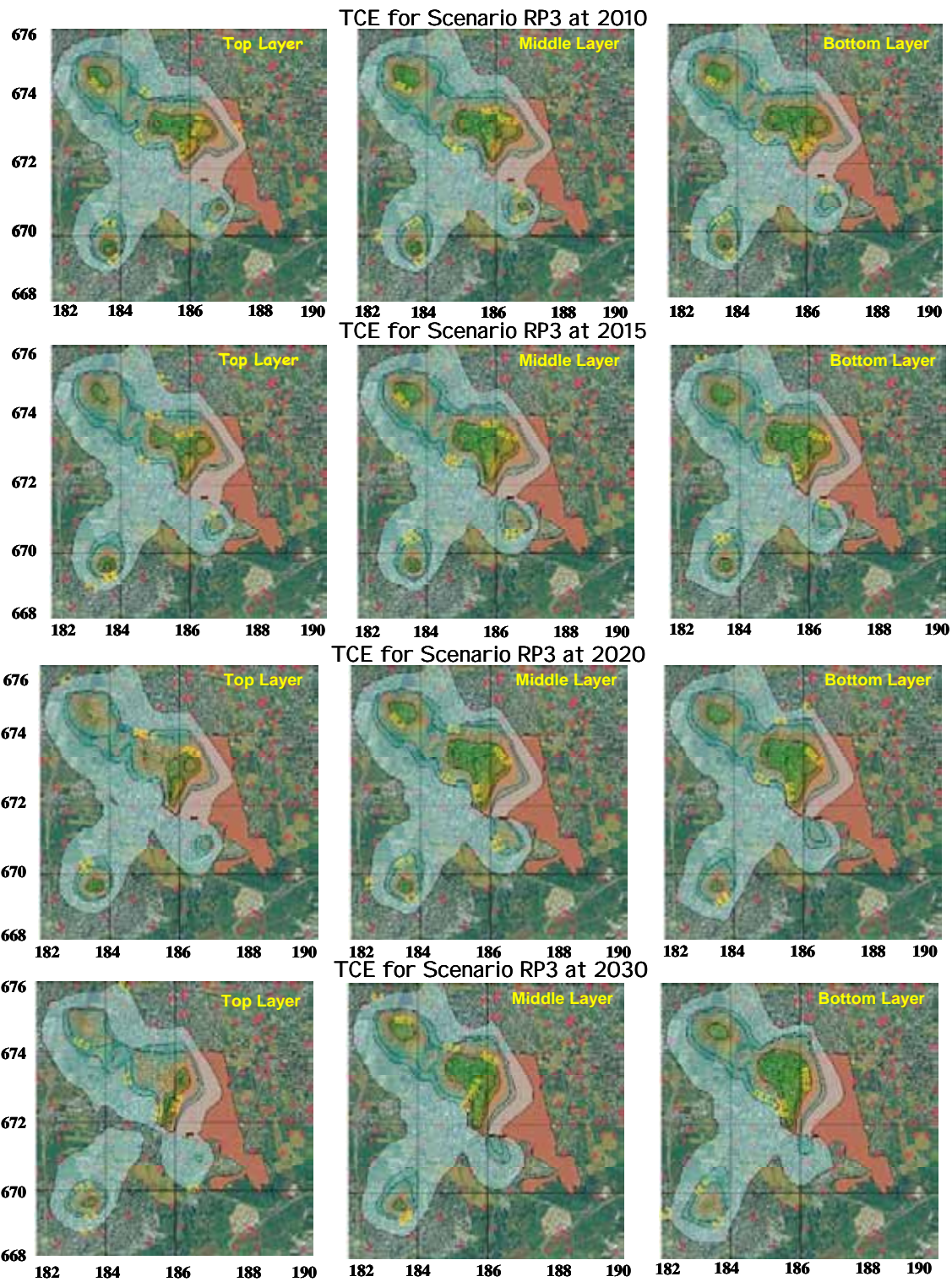
תגבור ההפקה מארבעה קידוחים לכדי ספיקה כוללת של 400 מ³/שעה על פי תרחיש RP3 מצמצמת את ההשתרעות של כתם הזיהום במתחם התע"ש ורמת השרון ולא מורידה את רמות הזיהום באופן משמעותי באותם כתמים (איור 5.15). מטבע הדברים ומאופי התנהגות TCE בתת הקרקע, עיקר ההשפעה תהיה בחלקו העליון של האקוויפר, שם כתם הזיהום מצטמצם באופן משמעותי בכל המרחב.

שילוב של שאיבות במוקד הזיהום (כפי שמוגדר על פי פרוס הפרכלורטי!) והפקה במרחב רמת השרון על פי תרחיש RP6 גוררת כצפוי הרחבת השתרעות כתם הזיהום של TCE מערבה. יחד עם זאת, רמת הריכוז במוקד המזרחי פוחתת בהתאמה (איור 5.16).

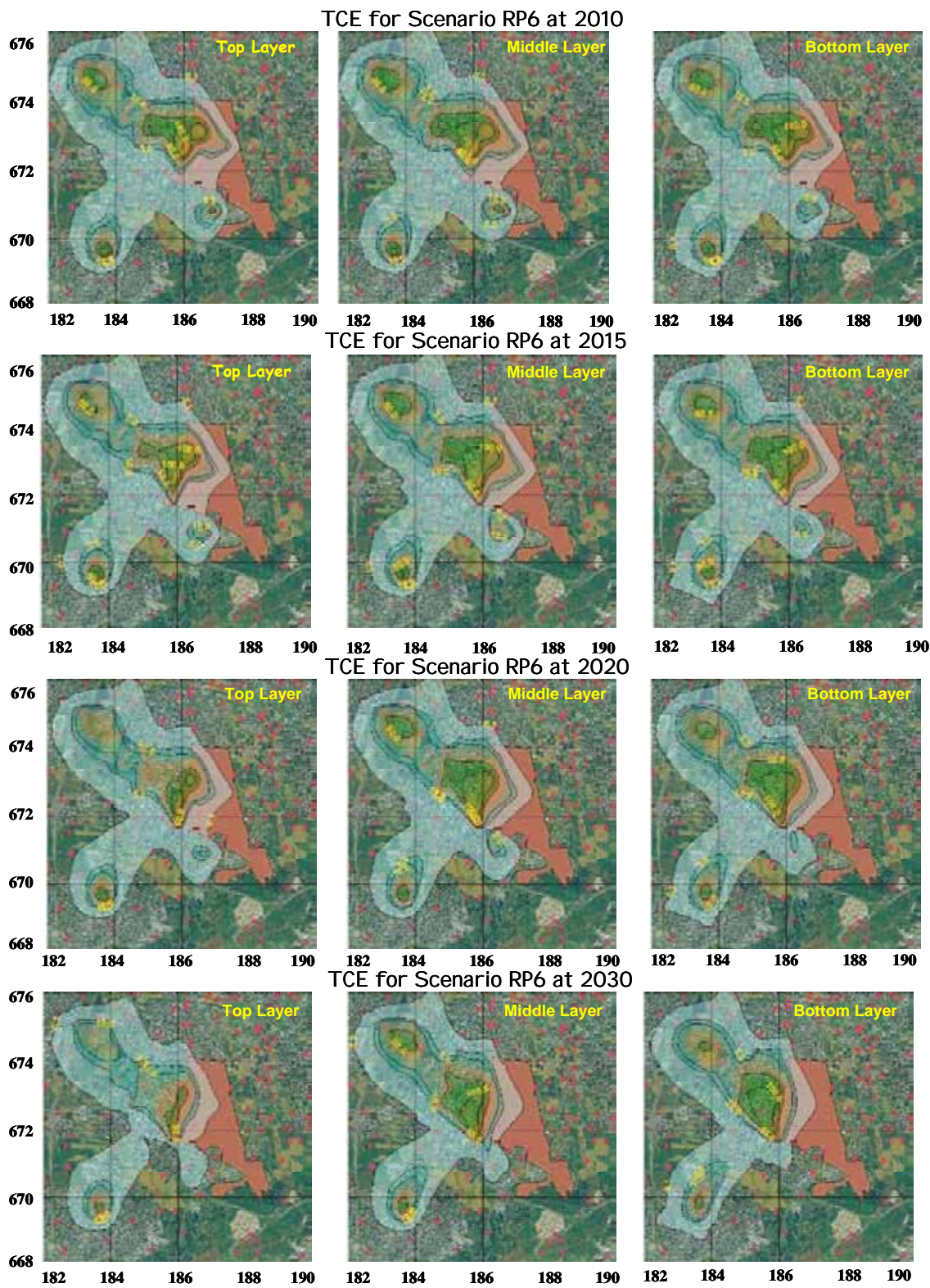
הוספת קידוחי צפון תל אביב לשורת הקידוחים המפיקים במקביל לשאיבות במתחם התע"ש על פי תרחיש RP10 מושכת בעשור הראשון מזהמים ו-TCE לכיוון דרום ודרום-מערב. בהמשך השאיבות בקידוחי תל אביב צפון מנקות את כתם הזיהום ב-TCE מדרום לתע"ש לכל עומקו של האקויפר עם השפעה בולטת גם באקויפר התחתון. זאת לאור העובדה שמרבית הקידוחים במרחב זה שואבים מתוך השכבות היותר עמוקות של האקויפר באזור (איור 5.17).



איור 5.14 השתנות הפרוס המרחבי של TCE באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 1.

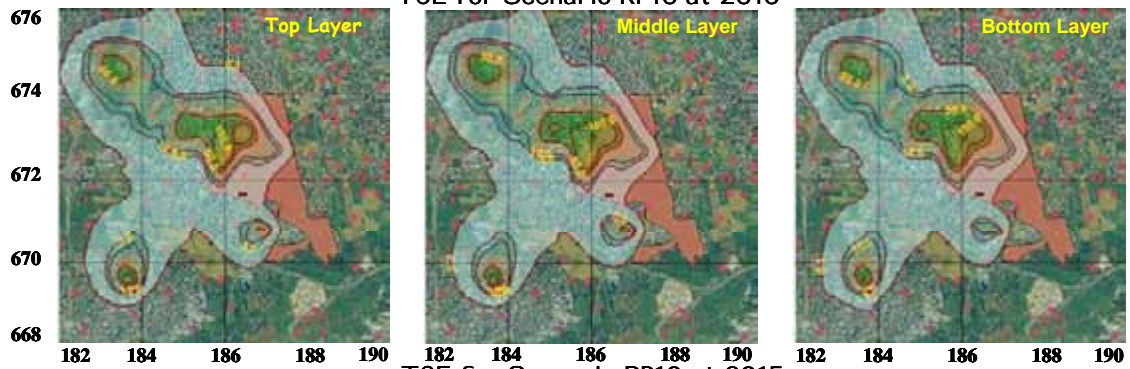


איור 5.15 השתנות הפרוס המרחבי של TCE באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 3.

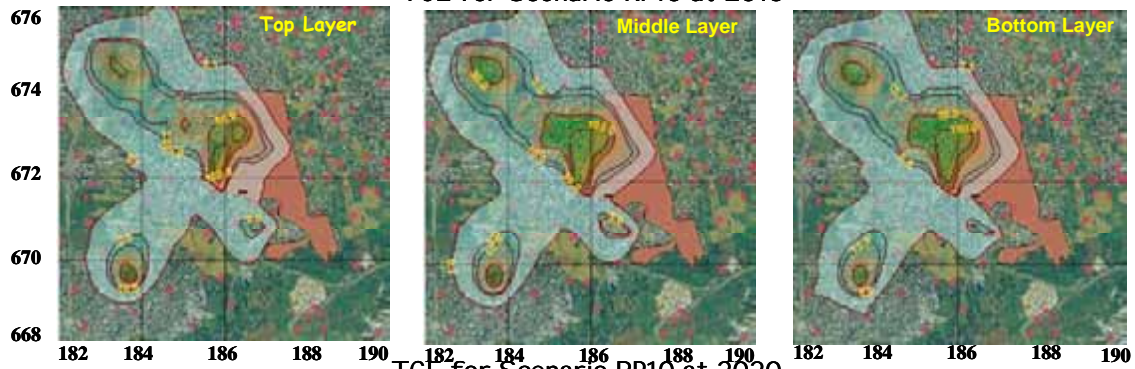


איור 5.16 השתנות הפרוס המרחבי של TCE באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 6

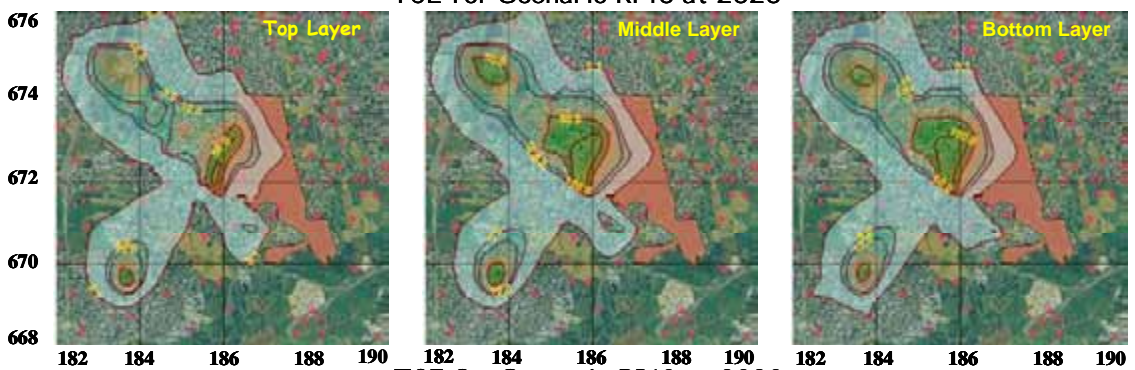
TCE for Scenario RP10 at 2010



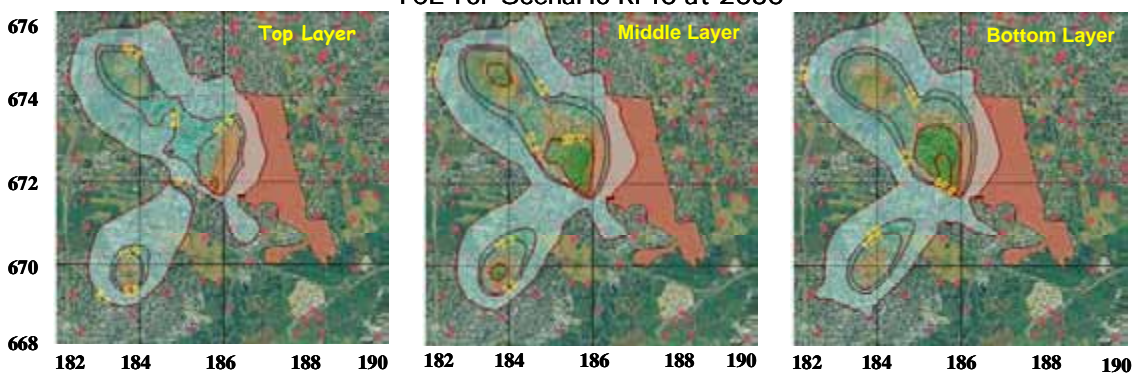
TCE for Scenario RP10 at 2015



TCE for Scenario RP10 at 2020



TCE for Scenario RP10 at 2030



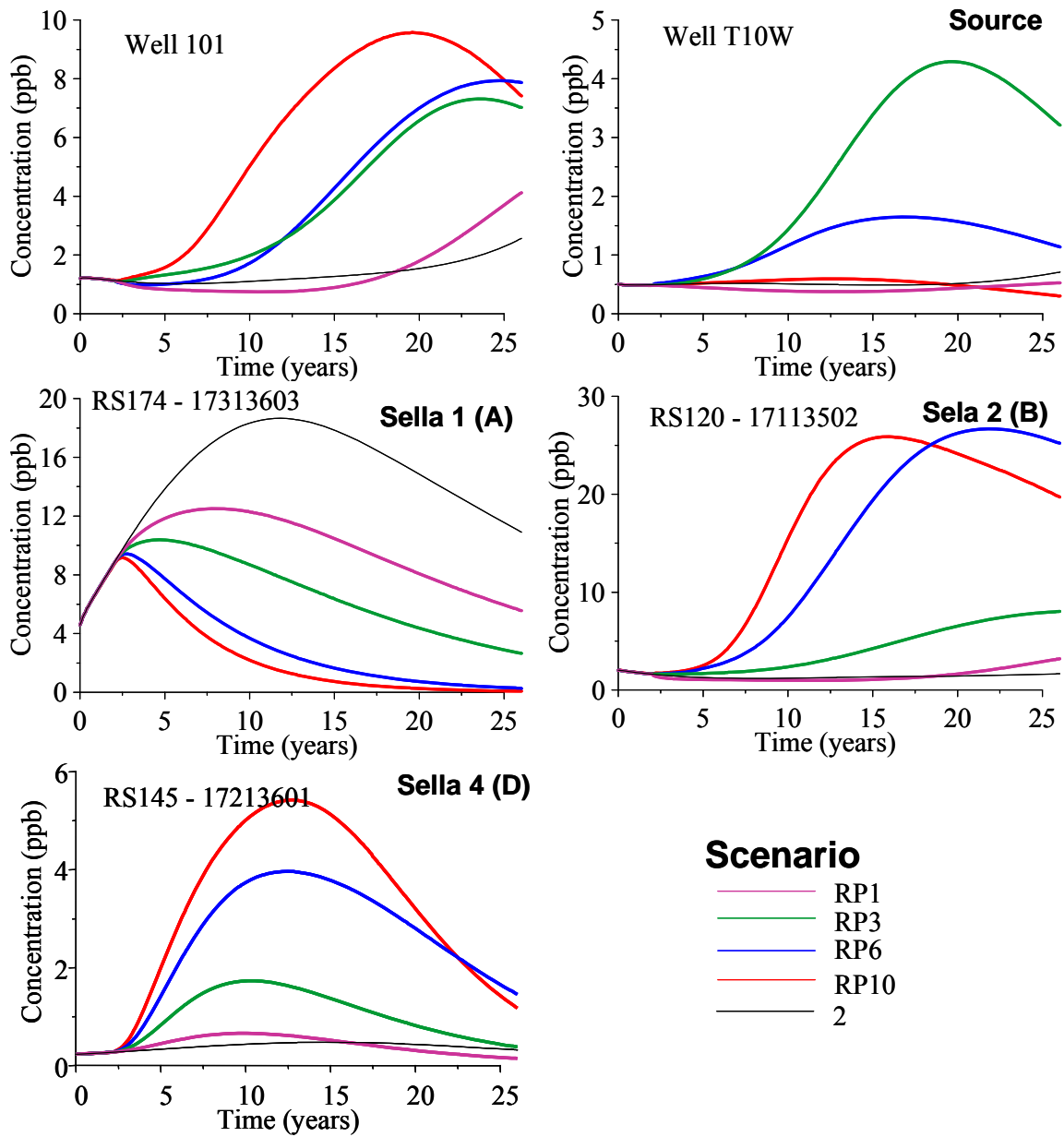
איור 5.17 השתנות הפרוס המרחבי של TCE באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 10

השתנות הריכוזים החזויה של TCE במי התהום במגוון קידוחים במתחם התע"ש מוצגת באיור 5.18 לכל אחד מארבעת התרחישים. על פי תרחיש חלופת באפס (S-2) הצמדות למצב הקיים לא הטבה או גרמה לשינוי לרעה מהותי במרבית הקידוחים שבמתחם התע"ש למעט באזור קידוח סלע א' שם ריכוז ה-TCE צפוי לעלות בכ-12 מיקרוגרם לליטר במהלך 10 השנים הבאות לפני שתחל דעיכה רציפה בהמשך (איור 5.18). בהתאם למיקום הכתמים של TCE באזור התע"ש, הפקה לשיקום על פי תרחיש RP1 (שאיבה של 100 מ³/שעה מקידוח אחד בלבד בתחום התע"ש - סלע ב') לא תחולל כל שינוי מהותי באזור מלבין ואף לא באזור הקידוחים סלע ב' וסלע ד'. העלייה המשמעותית היחידה באזור (מ-4 ל-13ppb) צפויה באזור קידוח סלע א' כתלות במסלול הזרימה באזור זה לעבר מוקד השאיבה באתר מלבין.

הכפלת נפח ההפקה ופרוס השאיבות ממלבין ועד לקידוח רמת השרון ז' על פי תרחיש RP3 תוביל לעלייה קלה בריכוז ה-TCE של בין 2 ל-4 ppb בכל אזור התע"ש במהלך 5-10 השנים הראשונות ובאזור מלבין העלייה תמשך על פני כ-20 שנה. בכל הקידוחים מדובר בעליה קלה שמעידה בעיקר על המגמה יותר מאשר על הערכים המוחלטים הצפויים. לשילובם של קידוחי ההפקה במרחב רמת השרון (RP6) וקידוחי ההפקה של תל אביב צפון (RP10) השפעה מהותית של גרירת כתם הזיהום הצפוני אל עבר מוקד מלבין וסביבתו הקרובה עם עלייה משמעותית בריכוזים בקידוחים סלע א' ו סלע ב', כשבזה האחרון מדובר בעליה בריכוז ה-TCE בסדר גודל עד לכדי כ-28 ppb במהלך 15-20 שנה החל מתחילת ההפקות (איור 5.18).

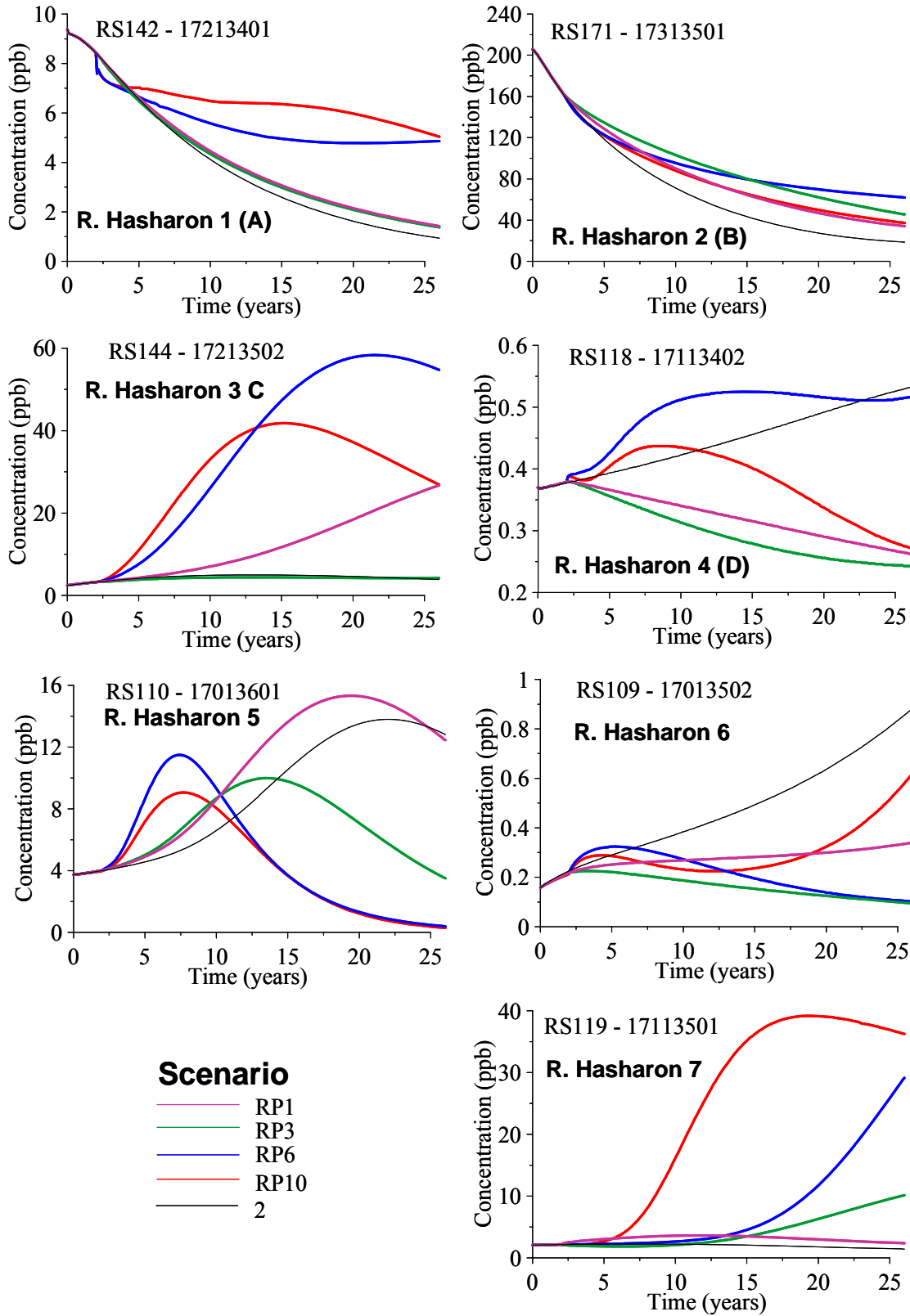
איור 5.19 מציג את תחזית השתנות הריכוזים של TCE במרחב קידוחי ההפקה של רמת השרון. על פי תרחיש (S-2) לא צפוי כל שינוי בריכוז ה-TCE בסביבת קידוח רמת השרון ז' ושינויים מזעריים (עם מגמת עליה) בקידוחי רמת השרון ד', ה', ו-ו'. מגמת ירידה חזויה בקידוח רמת השרון א' וירידה משמעותית של כ-80 מיקרוגרם לליטר צפויה במהלך 25 השנים הבאות בקידוח רמת השרון ב'. על פי תרחיש השאיבות במוקד (סלע ב') וברמת השרון ז' (RP1), עליה משמעותית בריכוז ה-TCE צפויה להתחיל תוך חמש שנים בסביבת קידוח רמת השרון ג' ובקידוח רמת השרון ה'. הגדלת נפח ההפקה הכולל במוקד לכדי 400 מ³/שעה (עפ"י תרחיש RP3 ; מ-4 קידוחי הפקה) למעשה מונעת את התקדמות כתם ה-TCE לעבר רמת השרון למעט עליה קלה של עד 5 ppb במהלך ה-15 השנים הבאות הקידוח רמת השרון ה'. הפעלת קידוחי ההפקה ברמת השרון על פי תרחיש RP6 תגרור עליה בריכוז ה-TCE בסביבת הקידוחים רמת השרון ג', ד', ה', ו-ז', כאשר העליה ברמת השרון ה' היא זמנית למשך כ-10 השנים הראשונות בלבד. חידוש ההפקה גם בקידוחי תל אביב צפון (תרחיש RP10) ממתנת את העליה בריכוזי ה-TCE החזויים לקידוחים רמת השרון ג', ד', ו-ה', אך מעלה את הריכוז באופן משמעותי בקידוח רמת השרון ז' כתלות במיקום הקידוח ביחס לכתם ה-TCE הצפוני ולמסלולי הזרימה שיתפתחו במערך השאיבות לפי תרחיש RP10.

Time series of simulated TCE concentration in selected TA'AS wells



איור 5.18 תחזית השינוי בריכוזים של TCE במי התהום במתחם התע"ש לתרחישים נבחרים ביחס למצב השאיבות הנוכחי (S2).

Time series of simulated TCE concentration in selected Ramat Ha'Sharon wells

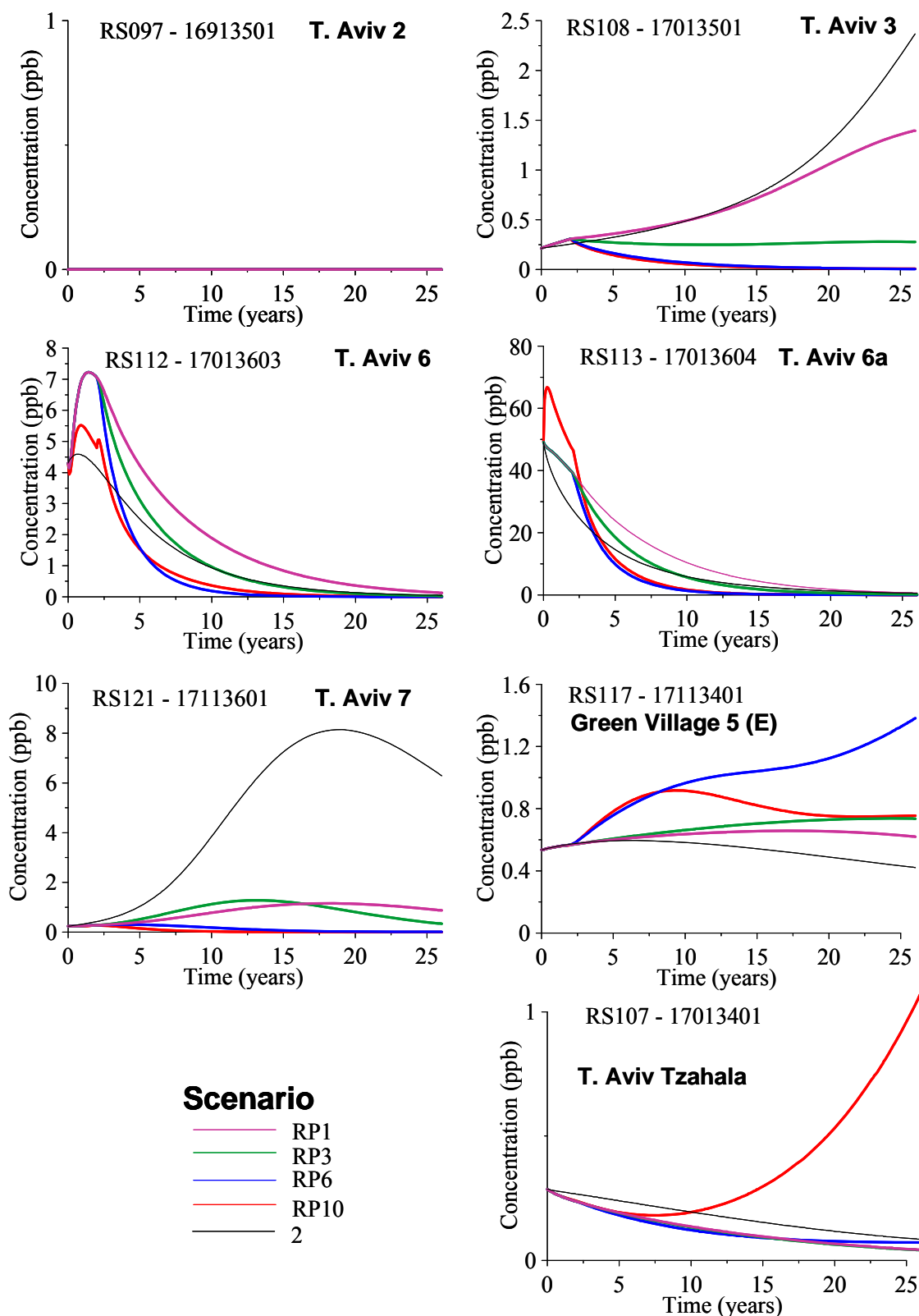


איור 5.19 תחזית השינוי בריכוזים של TCE במי התהום במרחב רמת השרון לתרחישים נבחרים ביחס למצב השאיבות הנוכחי (S2).

איור 5.20 מתאר את תחזית השתנות ריכוזי ה-TCE בקידוחי ההפקה של צפון תל אביב מדרום למתחם התעשייה ורמת השרון. תרחיש S-2 חוזה ריכוז מזערי נמוך ויציב בקידוח הכפר הירוק 5 ומגמת עליה מזערית בקידוח תל אביב צפון 3. מגמת עליה (עד 10 ppb) בריכוז ה-TCE צפויה על פי תרחיש זה בקידוח תל אביב צפון 7. לעומת זאת המודל צופה מגמה ברורה של ירידה בריכוז ה-TCE בסביבת קידוח תל אביב צפון 6.

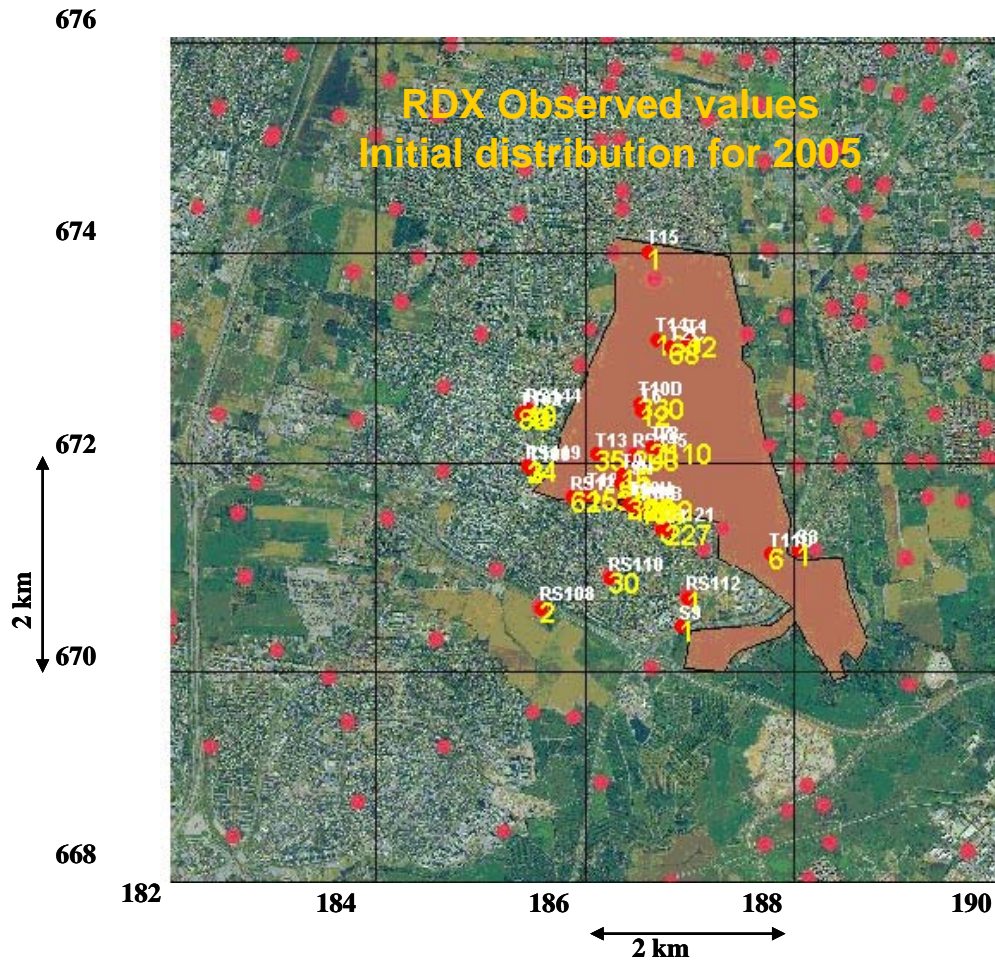
בכל התרחישים מדובר בשינויים מזעריים בריכוזים למעט בסביבות קידוח 6 א', שם הריכוזים צפויים לרדת באופן משמעותי מערכים של סביב 50 ppb במהלך 5 עד 10 שנים מתחילת השאיבות כתלות בתרחיש. הפעלת קידוח שאיבה אחד במוקד מלבין (RP1) לא תימנע את עליית הריכוזים בסביבת קידוחי תל אביב צפון 3 ו-7. הכפלת התפוקה על פי תרחיש RP3 תשפר את המצב בתל אביב צפון 3 אך לא תשנה ואולי אף תגביר את קצב עליית הריכוז של TCE בקידוח תל אביב צפון 7 במהלך 10-15 השנים הראשונות. שילוב של שאיבה במוקד מלבין והפקה מקידוחי רמת השרון (RP6) תוביל למגמה של עליה בקידוח הכפר הירוק 5 ואילו חידוש ההפקה גם בצפון תל אביב תוביל למגמה של עליה גם בקידוח צהלה. כאמור מדובר בעליות מזעריות שמציננות מגמה יותר מאשר ערכים מהותיים.

Time series of simulated TCE concentration in selected Tel Aviv wells

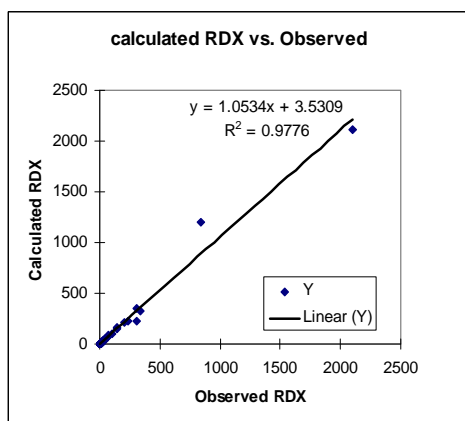
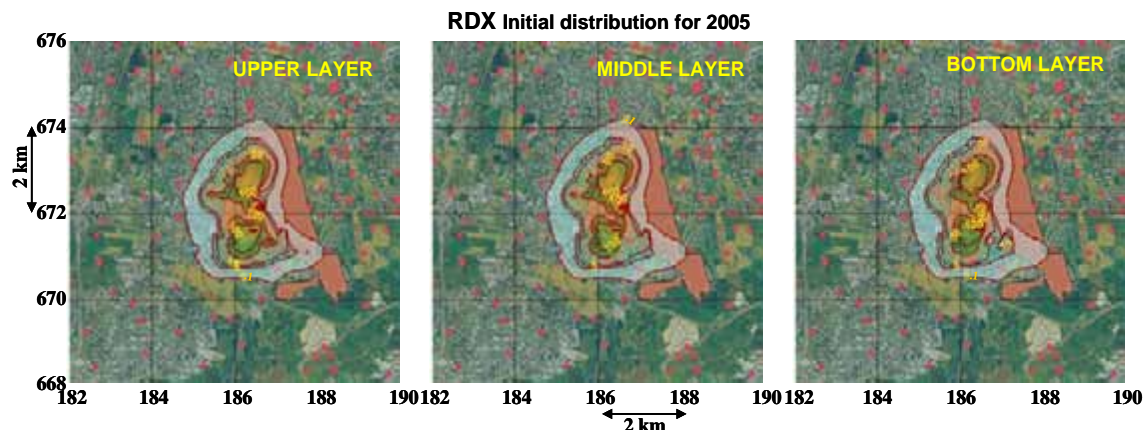


איור 5.20 תחזית השינוי בריכוזים של TCE במי התהום באזור תל אביב צפון לתרחישים נבחרים ביחס למצב השאיבות הנוכחי (S2).

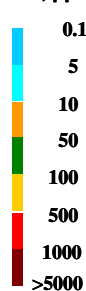
בשנת 2005 נמצאו שלושים ושתיים בארות שזוהמו ב-RDX במרחב רמת השרון. מרביתן נמצאות בתחום מפעלי התע"ש ובמוקד הזרימה בקרבה מיידית למתחם התע"ש. מיקום הקידוחים וערכי הזיהום שמשמשים כערכים ראשוניים (תחיליים) לחיזוי התפשטות של RDX כפי שנמדדו במרחב רמת השרון מוצגים באיור 5.21. את הערכים ניתן גם לבחון על רקע תוצאות דיגום נוספות של הפרוס המרחבי מתוך אינטרפולציה תלת ממדית של ריכוז RDX באקוויפר העליון, התיכון והתחתון לשנת 2005 כמוצג באיור 5.22. מרבית הזיהום הנוכחי ב RDX נמצא בתחום התע"ש וחלקו נדד מערבה אל מתחת למזרח ומרכז רמת השרון. מדובר בהשתרעות מרחבית מאוד מצומצמת (בדומה לאזיד) לעומת הפרוס המרחבי של פרכלורט ואפילו של כרום. המתאם הליניארי בין הערכים המחושבים למדודים בקידוחים הנ"ל מגיע לכ-98% ($R^2=0.972$) עם חריגה משמעותית בקידוח תצפית אחד בלבד, מוצג אף היא באיור 5.22.



איור 5.21 מיקום קידוחים בהם נמצא RDX והערכים שנמדדו בדיגום 2005.



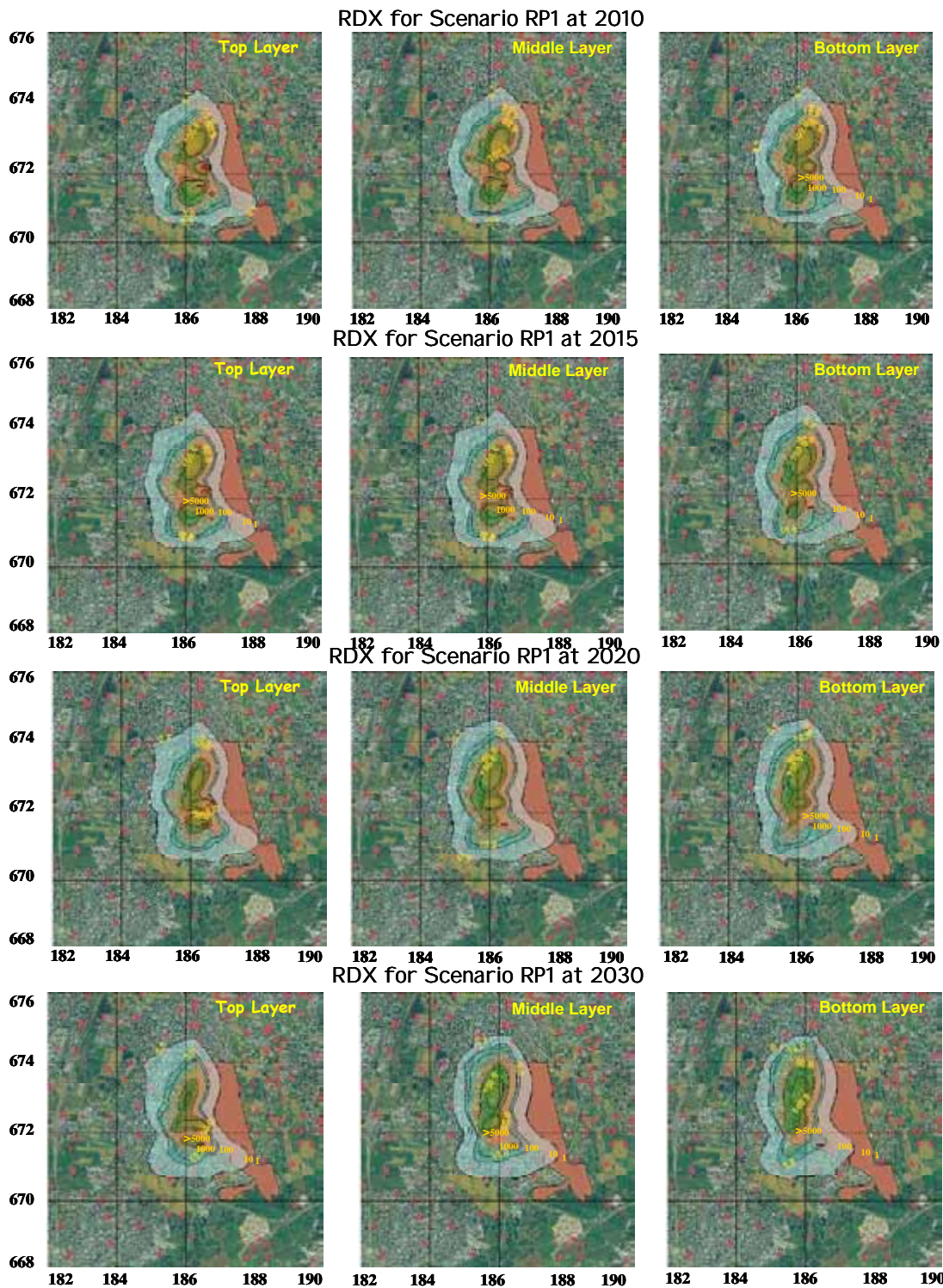
Concentration, ppb



WELL	x m	y m	CALCULATED ppb	OBSERVED ppb
RS110	186230	670900	28.8	28
RS119	185450	671970	14.14	10
RS120	185870	671670	61.7	58
RS144	185450	672510	19.1	22.7
RS145	186470	672080	208	203
RS108	185570	670810	2.3	2.5
RS112	186980	670710	0.5	0.4
RS121	186730	671370	0.2	1.31
S1	186776	671360	227	233
S3	189030	671159	0.5	0.5
S9	186907	670440	0.5	0.5
T1	186975	673170	12.4	10.2
T10	186418	671615	225	305
T101	186025	671697	159	140.5
T102	185382	672469	82	69
T103	185383	672472	36	36.1
T108	185454	671954	3.32	3.2
T109	185455	671952	1.75	2.3
T10B	186515	671568	154	142
T10C	186448	671592	1200	840
T10D	186507	672568	330	336
T10H	186414	671614	349	305
T11D	187771	671131	5.93	5.3
T13	186095	672082	35	35
T14	186675	673182	100.4	104
T15	186600	674018	1.21	0.5
T2C	186813	673103	67.5	58.3
T6	186530	672505	12.3	11.8
T7	186635	672149	2110	2100
T8	186701	672141	1.4	2
T9	186356	671886	16.3	20.1
T9N	186335	671815	52	45

איור 5.22 הפרוס המרחבי של ריכוז RDX באקוויפר העליון, התיכון והתחתון לשנת 2005

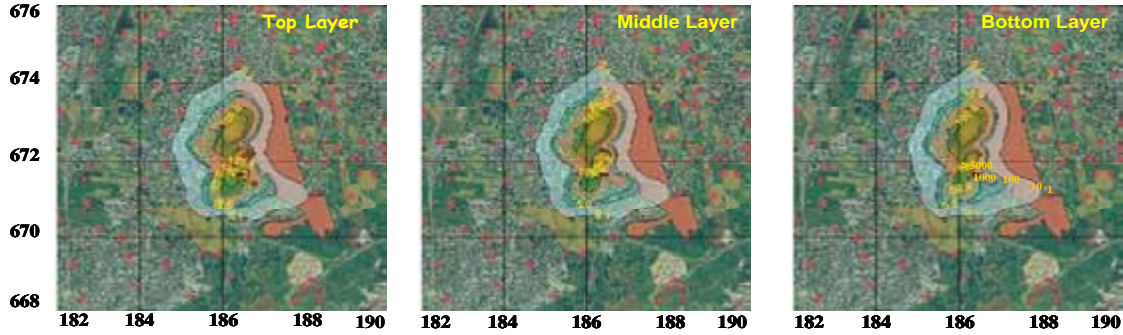
סדרת האיורים 5.23 מתארת את השתנות הפרוס המרחבי של RDX באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 1 לארבעה פרקי זמן: 2010, 2015, 2020 ו 2030. על פי תרחיש RP1, החל מ-2007 מתחילים בשאיבות מצומצמות במוקד (כפי שהוגדר על פי הפרוס של פרכלורט) בהיקף כולל של כ-200 מ²/שעה לשיקום האקוויפר משתי בארות במוקד הזיהום (סלע ב) ובשוליו המערביים (ר). השרון ז) כשכל שאר בארות ההפקה משבתות לפי המצב היום. השאיבה משני הקידוחים מפחיתה את הריכוזים של RDX באופן משמעותי אך אינה מצמצמת כמעט את ההיקף של הנפח האקוויפר המזוהם ב RDX.



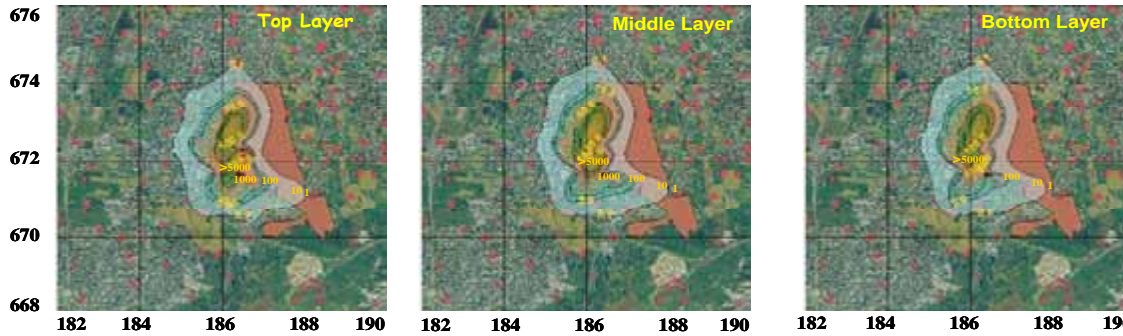
איור 5.23 השתנות הפרוס המרחבי של RDX באקויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 1

הכפלת ההפקה לכדי נפח שאיבה כולל של $400 \text{ מ}^3/\text{שעה}$ במוקד מארבע בארות הפקה לאורך ציר מוקד הזיהום (ר. השרון ז, סלע ב, T101, ומ T10) על פי תרחיש RP3 לא משנה מהותית את השתרעות נפח האקויפר המזוהם ב-RDX (מפות פרוס מרחבי באיור 5.24). עיקר ההפחתה בריכוזים תורגש החל מ-2020 באקויפר התיכון והתחתון שממש מתבצעת / תתבצע עיקר ההפקה.

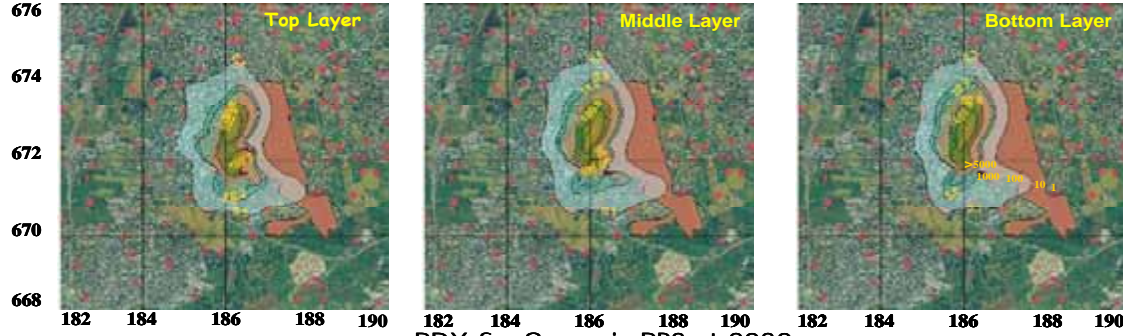
RDX for Scenario RP3 at 2010



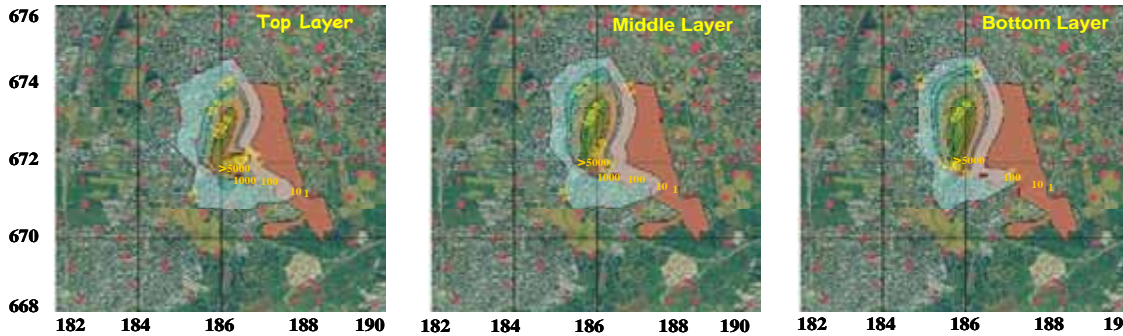
RDX for Scenario RP3 at 2015



RDX for Scenario RP3 at 2020

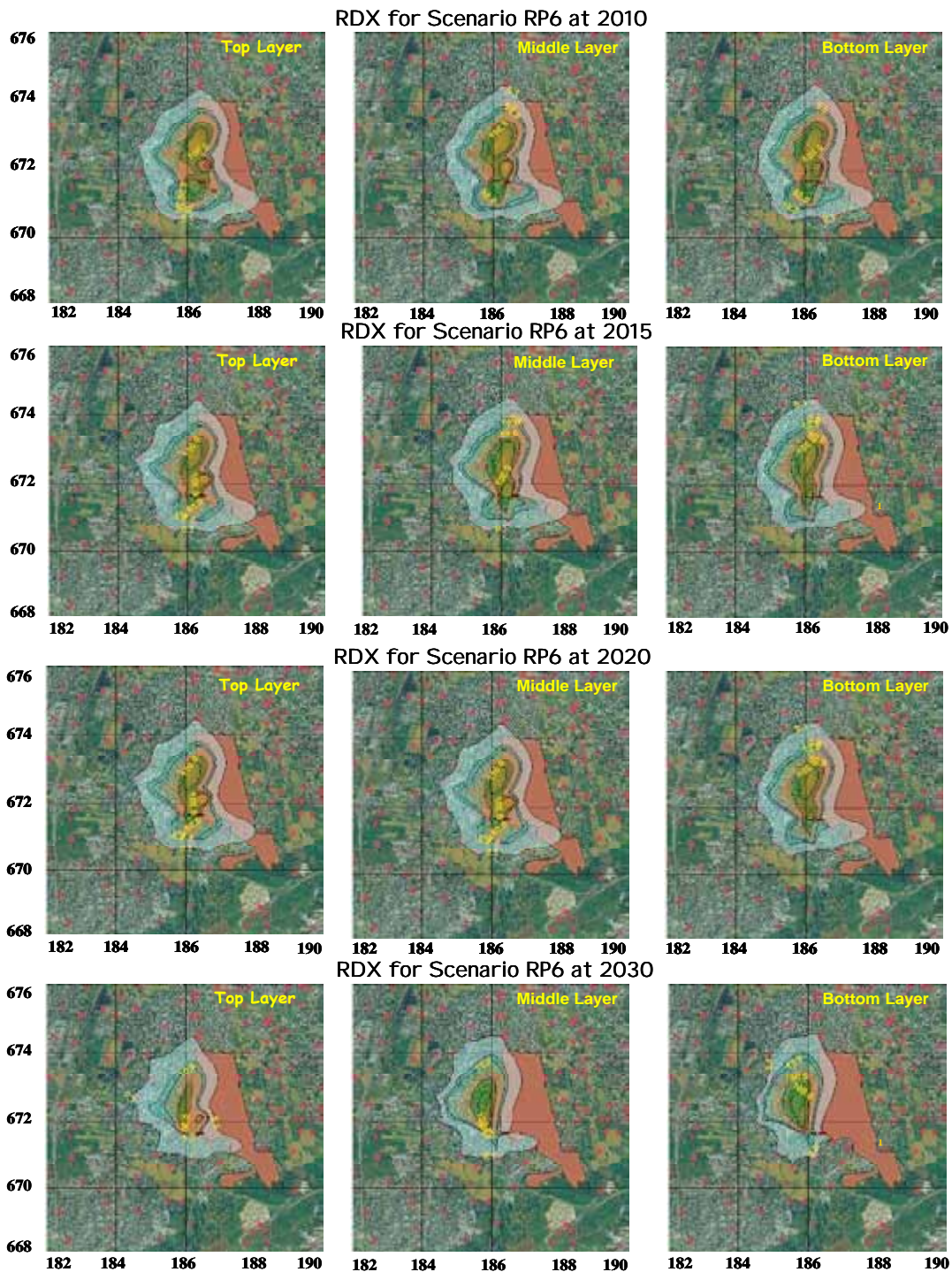


RDX for Scenario RP3 at 2030



. איור 5.24 השתנות הפרוס המרחבי של RDX באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 3 .

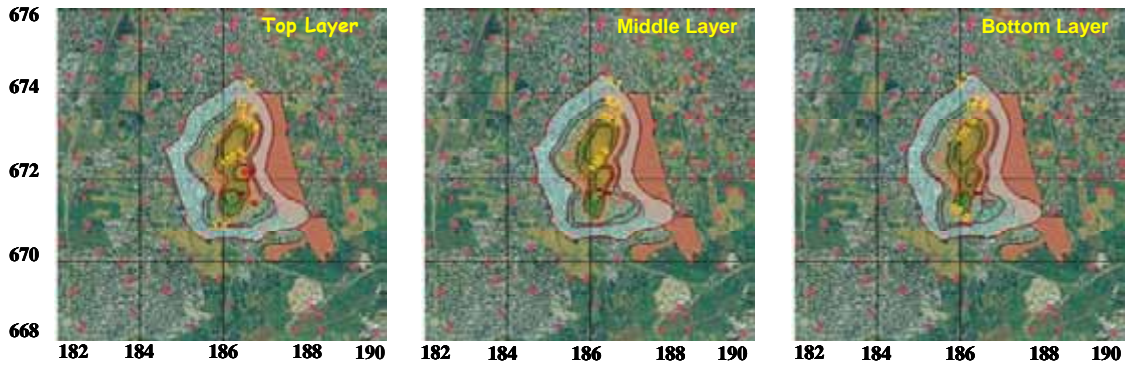
תרחיש RP6, מדמה את פלומת הזיהום הצפויה של-RDX עם החזרה להפקה סדירה וטיפול במים בחלק מקודחי רמת השרון (א, ב, ד, ה ומ- ו) ושאיבה מהמוקד בהפקה כוללת של 400 מ³/שעה (משני הקידוחים : סלע ב ומ- T10). על פי תרחיש RP6, העננה של RDX מתקדמת מערבה כתוצאה מחידוש ההפקה בקידוחי רמת השרון אך במקביל נעצרת ההתפשטות צפונה ופוחתים הריכוזים באופן בולט במוקד ובסביבתו הקרובה (איור 5.25).



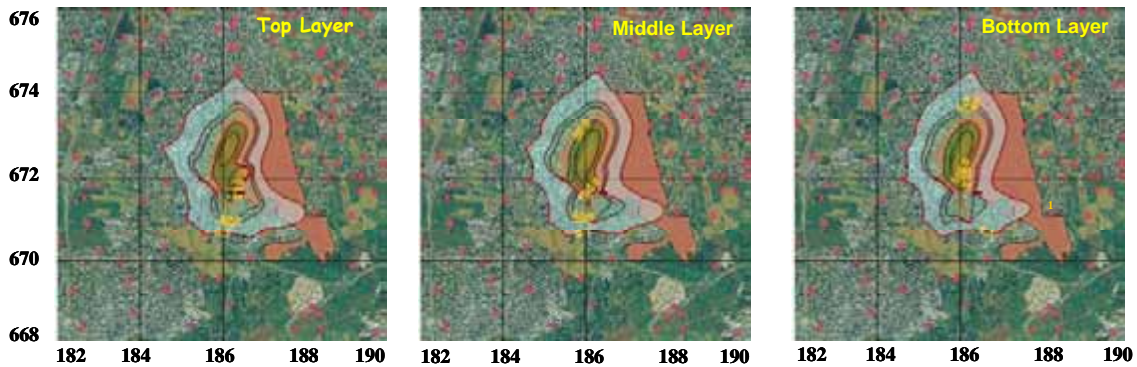
איור 5.25 השתנות הפרוס המרחבי של RDX באקוויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 6.

תרחיש RP10 מדמה חזרה להפקה סדירה במרחב רמת השרון (מקידוחי ההפקה א, ב, ד, ה, ו) וחדוש ההפקה החלקית במתחם תל אביב צפון (2, 3, 6, ו א6) יחד עם הגברת ההפקה והטיפול מהמוקד לכדי 600 מ³/שעה מארבע בארות (ר. השרון ז, סלע ב, T101, ומ T10). סדרת האיורים (איור 5.26) שהפקה מסיבית במוקד הזיהום ברמה של כ-600 מ³/שעה והפקה וטיפול משולב בקידוחי רמת השרון וצפון תל אביב מצמצמת באופן משמעותי את השתרעות פלומת ה RDX וירידת ריכוזים לרמות של מתחת ל- 50 ppb במרבית המרחב המזוהם כבר החל מ-2020.

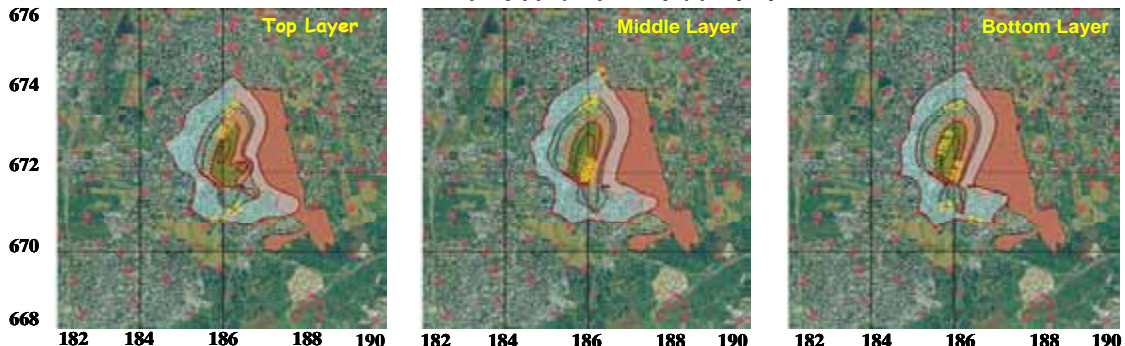
RDX for Scenario RP10 at 2010



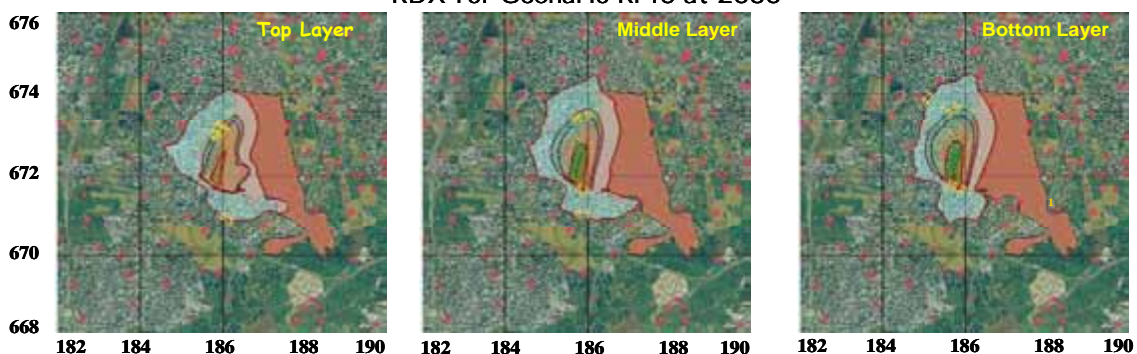
RDX for Scenario RP10 at 2015



RDX for Scenario RP10 at 2020



RDX for Scenario RP10 at 2030

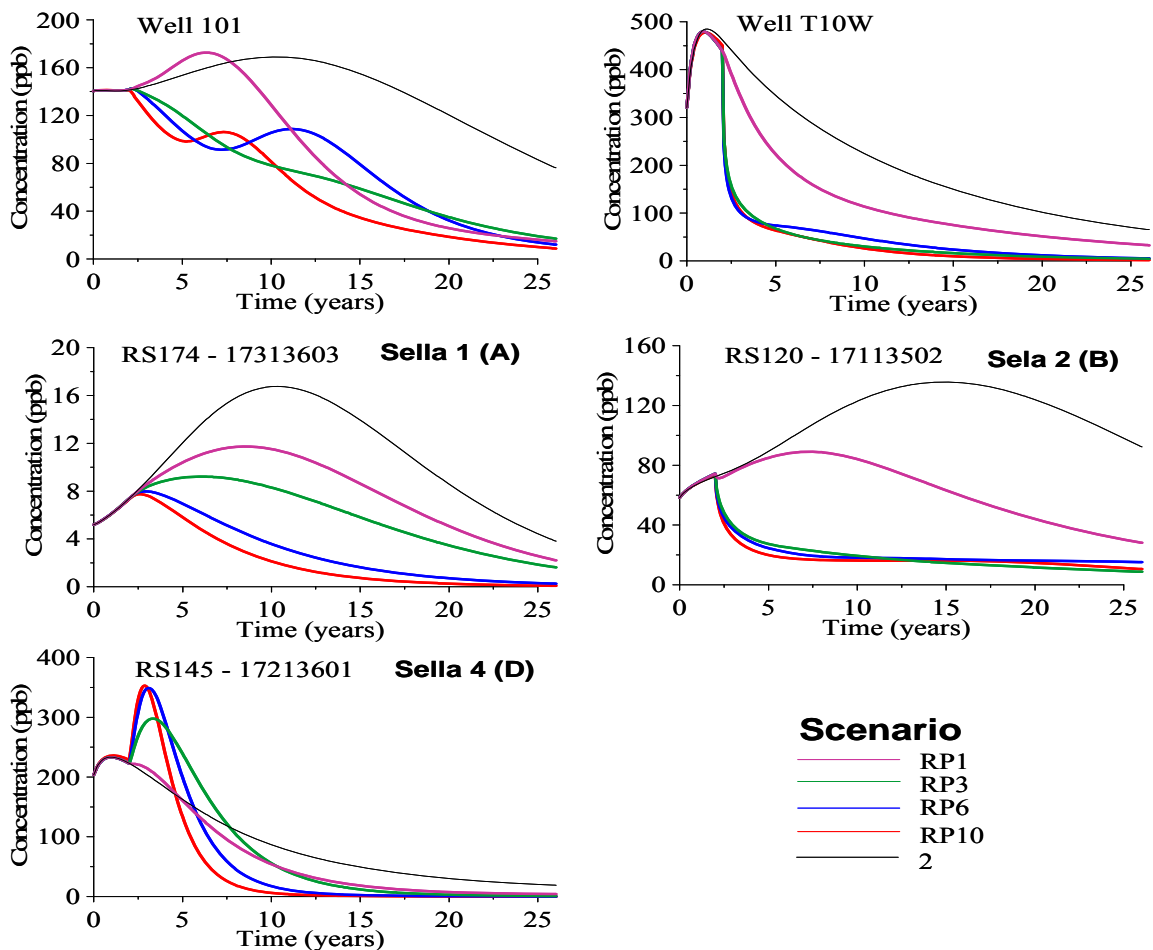


איור 5.26 השתנות הפרוס המרחבי של RDX באקויפר העליון, התיכון והתחתון על פי תרחיש RP 10

איור 5.27 מתאר את השינוי בריכוזים החזויים של RDX במי התהום על פי מודל ההסעה במספר בארות במתחם התעייש לתרחישים נבחרים ביחס לחלופה שבה מערכת ההפקות נצמדת למצב הנוכחי (S2). על פי חליפת האפס (S-2), נכון להיום, ריכוז ה-RDX במי התהום מתחת למתחם

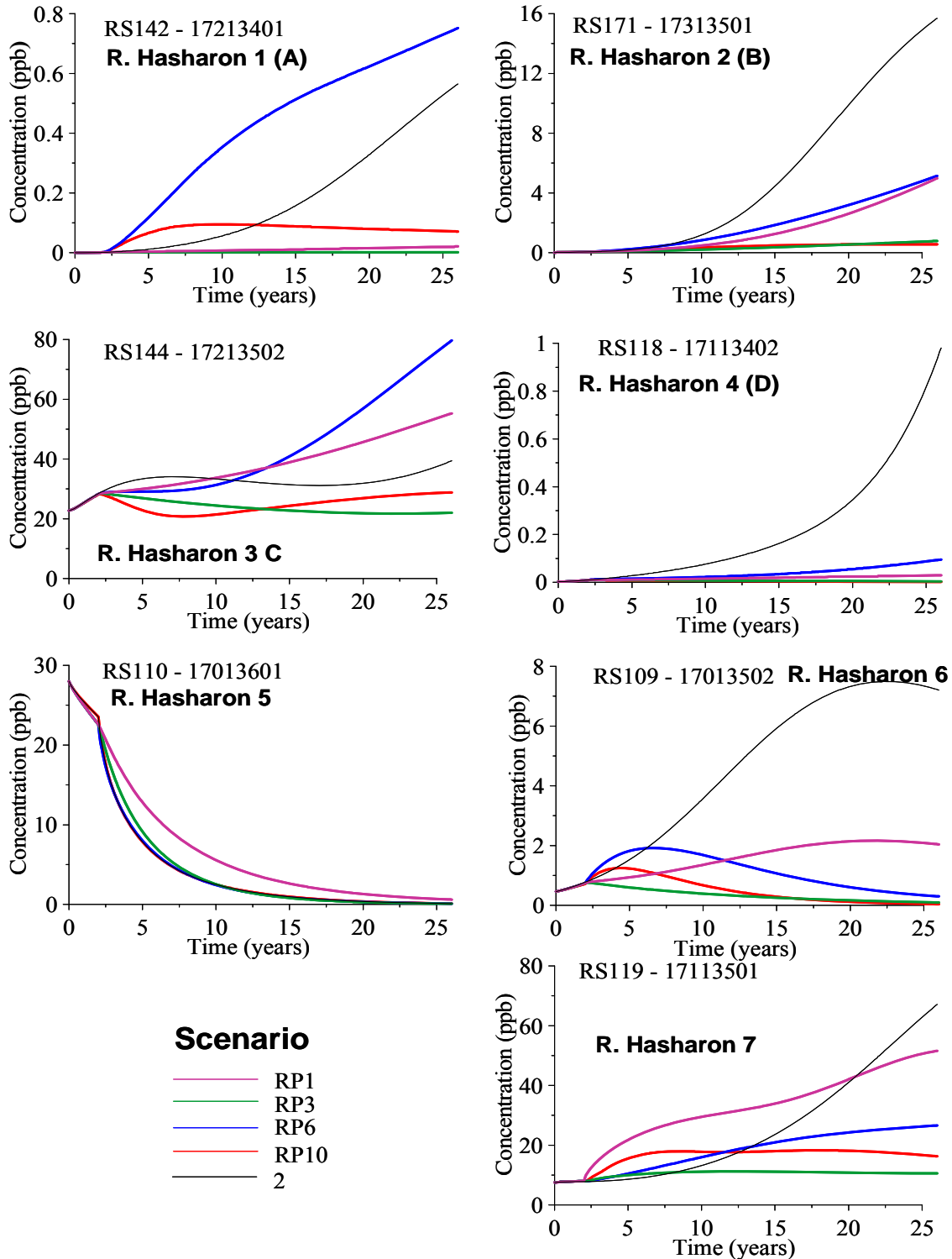
התע״ש צפוי לרדת במהלך 25 השנה הבאות באזור מלבין (T10W) ובאזור סלע ד'. המודל חוזה עליה במהלך 10-15 השנים הבאות ולאחר מכן דעיכה רציפה בקידוחים סלע א', ב' ואפילו באזור T101. על פי תרחיש RP1 של שאיבת שיקום בסלע ב' וברמת השרון ז', בשלב הראשון (בין 3 ל-6 שנים מתחילת ההפקה) המודל צופה עליה בריכוז ה-RDX במוקד T10 ו-T101 ועליה מאוד משמעותית בקידוח סלע ד'. עלייה יותר מתונה אך משמעותית במהלך 10 השנים צפויה גם בקידוחים סלע א' ו-ב'. לאחר תקופה זו המודל צופה ירידה משמעותית בריכוז ה-RDX לרמות מתחת ל-4 מיקרוגרם לליטר בשאר קידוחי התע״ש. בכל שאר התרחישים המודל צופה ירידה ודעיכה בריכוז ה-RDX עם ריכוזים נמוכים במיוחד כעבור 10-15 שנה ב-T10, T101, בסלע א' ובסלע ד'. רק באזור סלע ב' הריכוזים יישארו סביב 20 מיקרוגרם לליטר גם כעבור 25 שנה.

Time series of simulated RDX concentration in selected TA'AS wells



איור 5.27 תחזית השינוי בריכוזים של RDX במי התהום נמתחם התע״ש לתרחישים נבחרים ביחס למצב השאיבות הנוכחי.

Time series of simulated RDX concentration in selected Ramat Ha'Sharon wells



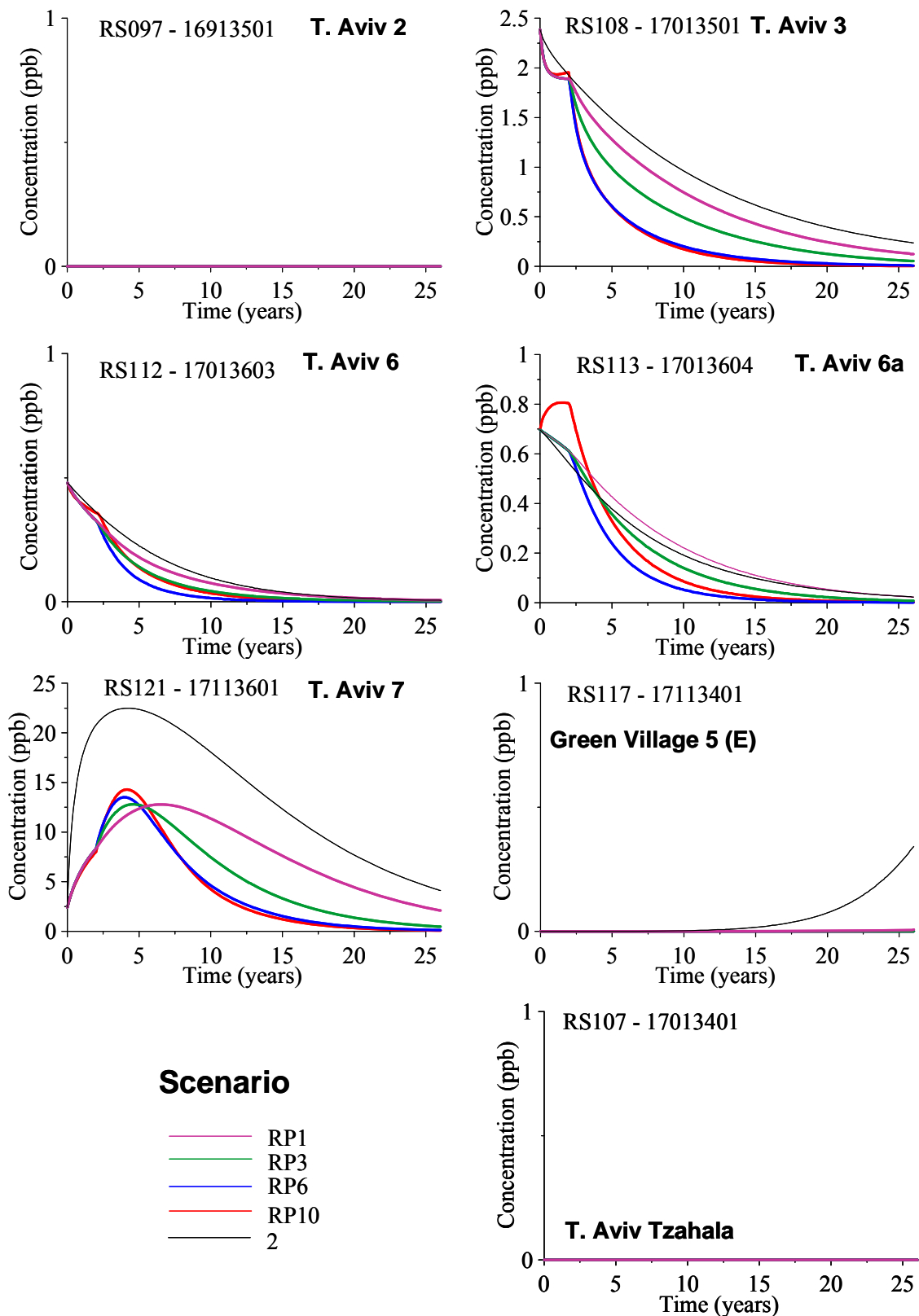
איור 5.28 תחזית השינוי בריכוזים של RDX במי התהום באזור רמת השרון לתרחישים נבחרים ביחס למצב השאיבות הנוכחי.

איור 5.28 מתאר את השינויים הצפויים בריכוזי ה-RDX בקידוחים שבמרחב רמת השרון. הצמדות למצב הנוכחי לא תשנה מהמצב הקיים עם שינויים מזעריים באזור הקידוחים רמת השרון ג', א' ו-

ד' ואף תביא לירידה לרמה אפסית בקידוח רמת השרון ה' תוך כ-15 שנה, אך תגרום לעליה משמעותית ברמת השרון ז' (עליה מ-8 מיקרוגרם לליטר עד לכדי 70 מיקרוגרם לליטר כעבור 25 שנה). ככלל בכל הקידוחים ועל פי כל התרחישים של השאיבות הפקה ולשיקום המודל צופה הפחתה וירידה בריכוז ה-RDX למעט בקידוח רמת השרון ב' על פי תרחיש RP1 ובקידוח רמת השרון ד' על פי תרחיש RP6. הפקה מוגבלת במוקד (סלע ב') ובאזור רמת השרון ז' על פי תרחיש RP1 מן הסתם גוררת חלק מכתם ה-RDX מערבה לעבר רמת השרון ותגרור עליה קלה ב-RDX בקידוח רמת השרון ב'. לעומת זאת, ככלל, חידוש ההפקה של מי תהום במרחב רמת השרון (תרחיש RP6) לא משנה מהותית את המגמה ותורם להורדת הריכוזים למעט בקידוח רמת השרון ד', שם צפויה עליה בריכוז של ה-RDX לאחר כ-8 שנים מתחילת ההפקה. הדבר נובע משיקום קידוח זה ביחס לקו הזרם שייווצר ממוקדי ה-RDX הקיימים במתחם התעש. חידוש ההפקה גם בקידוחי צפון תל אביב משפר עוד יותר את מגמת הירידה בריכוזים בכל מרחב רמת השרון.

איור 5.29 מתאר את השינויים הצפויים בריכוז ה-RDX בקידוחי תל אביב צפון. כל תרחישי המודל מראים על שינויים מאוד קטנים בריכוז ה-RDX במרחב קידוחי תל אביב צפון למעט עליה חדה במשך 5 השנים הבאות בקידוח תל אביב צפון 7 (ולאחר מכן ירידה מתמשכת). חשוב לציין שבמצב הקיים חזית הזיהום ב-RDX צפויה להגיע לאזור הכפר הירוק 5 בעוד כ-12 שנה עם ריכוז משמעותי בעוד למעלה מ-25-30 שנה. על פי תרחיש RP1 של הפקה מוגבלת במוקד הזיהום תגרור עליה מתמדת בריכוז ה-RDX בקידוח צהלה ועליה זמנית במהלך עשר השנים הראשונות בקידוח תל אביב צפון 3. בכל שאר הקידוחים ישנה ירידה מתמשכת של הריכוזים. גם הגברת ההפקה במוקד מ-4 קידוחים לא משנה את המגמה בקידוח צהלה, אך משפרת מהותית את הצפוי בקידוח תל אביב צפון 3. חידוש ההפקה של מי התהום בקידוחי רמת השרון ותל אביב מורידה את הריכוזים בקצב גדול יותר עד לניקוי כמעט מוחלט בכל הקידוחים תוך כ-20-25 שנה למעט הקידוח בצהלה שם בריכוז של RDX בתום 25 שנות שיקום יעמוד על כ-10-15 מיקרוגרם לליטר לתרחישים RP6 ו-RP10 בהתאמה.

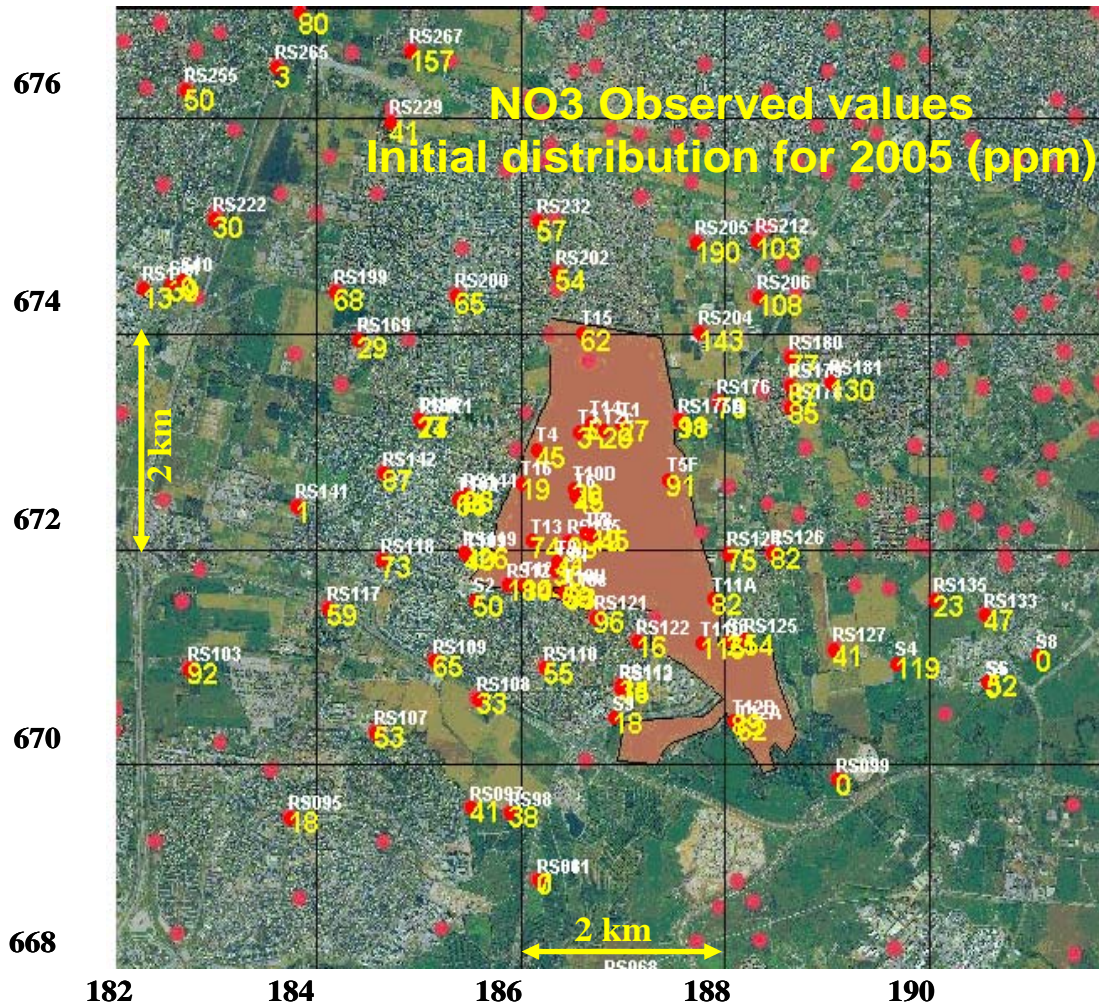
Time series of simulated RDX concentration in selected Tel Aviv wells



איור 5.29 תחזית השינוי בריכוזים של RDX במי התהום באזור צפון תל אביב לתרחישים נבחרים ביחס למצב השאיבות הנוכחי

5.4 חיזוי פרוס הניטרט באקוויפר החוף במרחב רמת השרון על פי מודל ההסעה

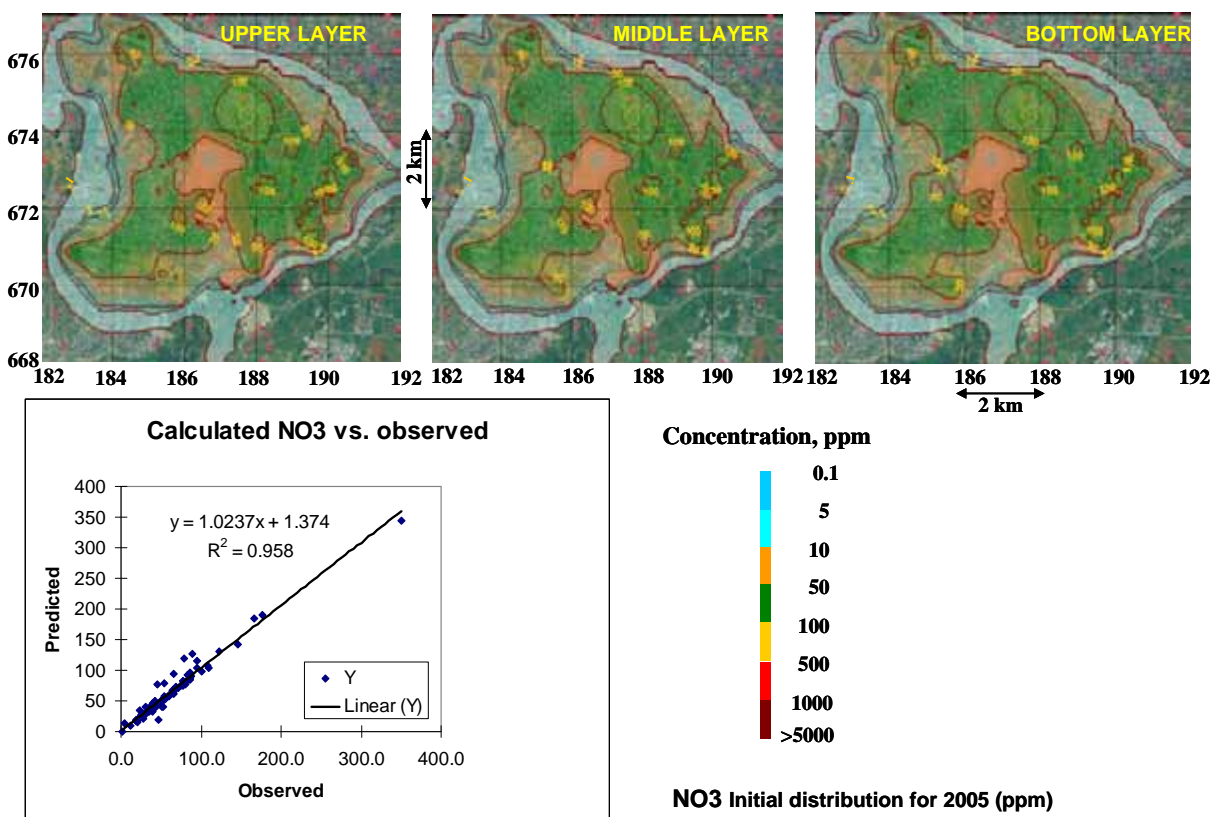
בשבעים בארות וקידוחי תצפית נמצאו ערכים משמעותיים של NO_3 ששימשו ליצירת תשתית לקביעת תנאי התחלה למודל ההסעה בעבור NO_3 . מיקום הקידוחים והערכים המדוּדים של ריכוזי הניטרט כפי שנמדדו במי התהום בקידוחים במרחב רמת השרון ובמעלה הזרימה מוצגים באיור 5.30.



איור 5.30 מיקום הקידוחים בהם נמצאו ריכוזים משמעותיים של ניטרט והערכים כפי שנמדדו ב-2005.

פרוס NO_3 בשלוש שכבות: עליונה, תיכונה ותחתונה באקוויפר שבמרחב רמת השרון, מוצגות באיור 5.31. פרוס מרחבי של הניטרט במרחב רמת השרון מעיד שהזיהום בניטרט מגיע ממקורות מגוונים בנוסף על מקור מוגדר שנמצא בתחומי התע"ש. הניטרט נמצא בריכוזים משמעותיים בכל שכבות האקוויפר גם ממזרח ומצפון למתחם התע"ש במעלה הזרימה (איור 5.31). הפרוס המרחבי הנוכחי הוא תוצאה ישירה של הסעת המזהם ממוקד אחד בתחום התע"ש ומשני מוקדי ההפקדה הפעילים כיום בהרצליה ובצפון תל אביב, שניהם במורד הזרימה ממתחם התע"ש. רמות הניטרט הגבוהות שממזרח לתע"ש משקפות בעיקר את הזיהום הנובע מפעילות חקלאית, מדשנים שחודרים עם התשטיפים דרך שכבת הקרקע העליונה מאזורים חקלאיים אל מי התהום. המתאם

שבין ערכי הניטרט המחושבים על פי מודל הפרוס המרחבי לבין הערכים כפי שנמדדו באותם קידוחים במהלך 2005/6 מוצג אף הוא באיור 5.31. לאור המתאם הגבוה, עננת הפרוס של ניטרט כפי המופיעה באיור הנ"ל משמשת כתנאי התחלה במודל ההסעה לחיזוי פרוס הניטרט כתלות בתרחישי הפקה ושיקים שונים במודל ההסעה. מודל ההסעה מניח שלא צפוי מקור משמעותי חדש/נוסף בכל המרחב שעלול לתרום כמויות ניטרט גדולות לאקוויפר מתוך התווך הלא רווי.

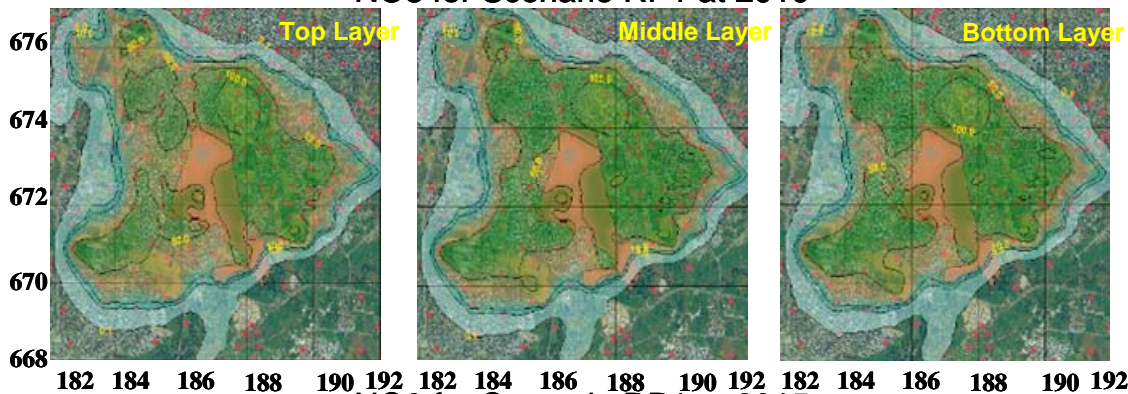


איור 5.31 פרוס NO₃ בשלוש שכבות: עליונה, תיכונה ותחתונה באקוויפר שבמרחב רמת השרון.

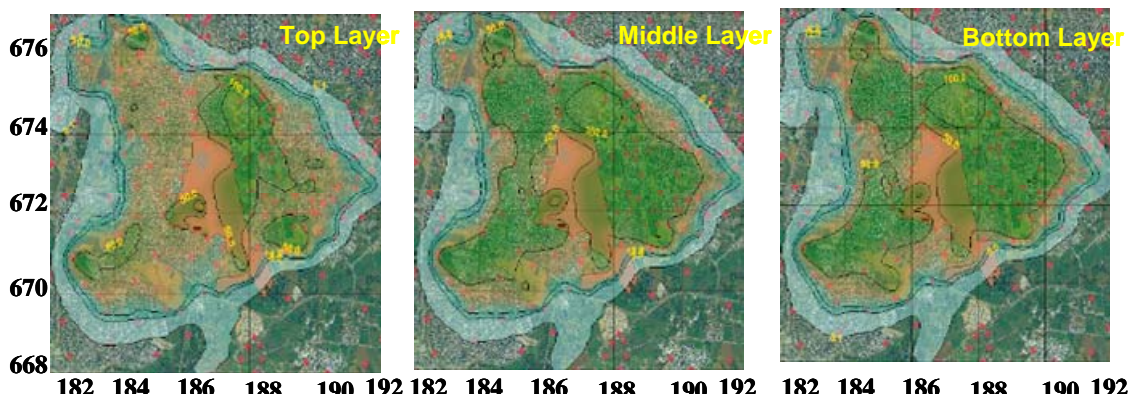
על פי התרחיש של שאיבות מוגבלות לשיקום בסלע ב' וברמת השרון ז' (תרחיש RP1) המודל חוזה שיפור משמעותי בריכוזי הניטרט בעיקר (אך לא רק) באקוויפר העליון כבר ב 2015. במרחב המערבי של המודל: הרצליה, רמת השרון וצפון תל אביב (איור 5.32). במרבית האזור הנ"ל (למעט אזור מצומצם בצפון תל אביב) הריכוזים צפויים לרדת מתחת ל 50ppm. המודל חוזה שרמות הניטרט צפויות להיות גבוהות מ 50ppm בשכבות האקוויפר העמוקות גם לאחר 25 שנות הפקה.

הגדלת ההפקה לצורך שיקום לכדי הפקה כוללת של כ 400 מ³/שעה מארבעה קידוחים לאורך מוקד הזיהום בפרכלורט (תרחיש RP3), אינו משפר בהרבה את ממדי הפרוס המרחבי של הניטרט הצפוי בתום 25 שנות הפקה (איור 5.33). אם כי הקצב של ירידת הריכוז בחלק מהמרחב הנידון מן הסתם יותר מהיר כפי שניתן להתרשם מניתוח הממצאים על ציר הזמן (בהמשך הפרק הנוכחי).

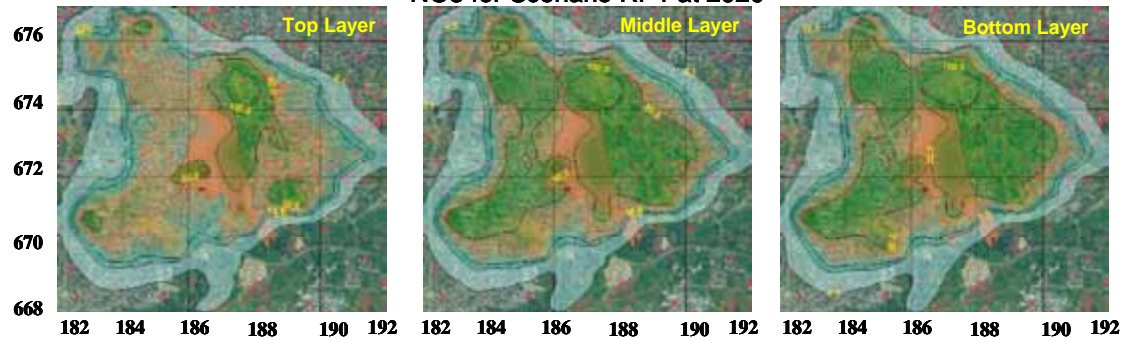
NO3 for Scenario RP1 at 2010



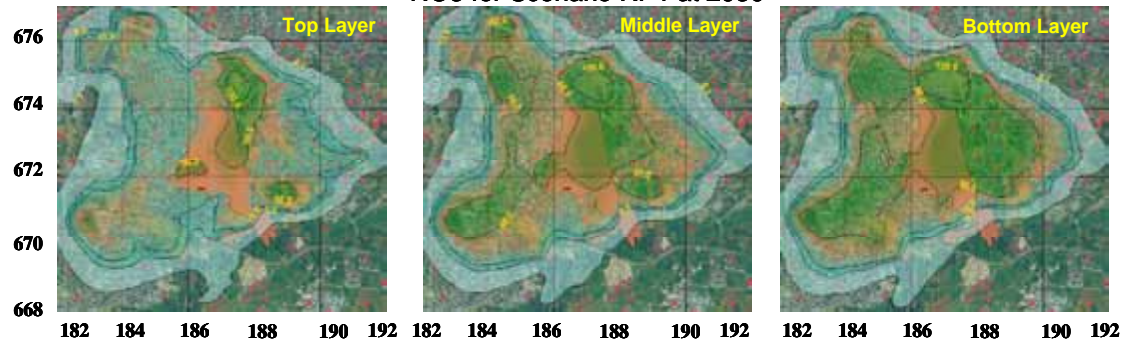
NO3 for Scenario RP1 at 2015



NO3 for Scenario RP1 at 2020

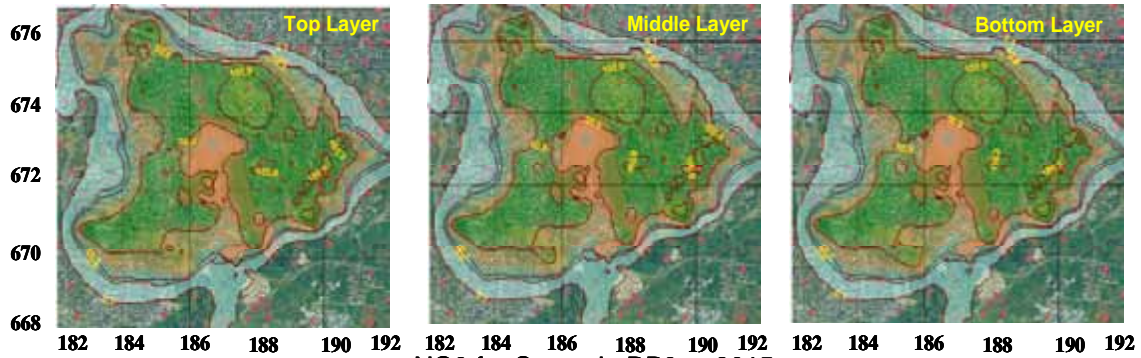


NO3 for Scenario RP1 at 2030

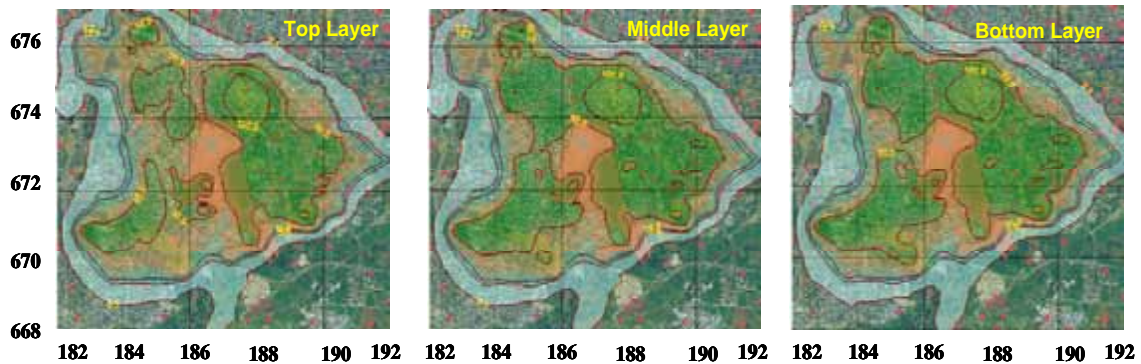


איור 5.32 חיזוי הפרוס המרחבי של ניטרט על פי תרחיש RP1.

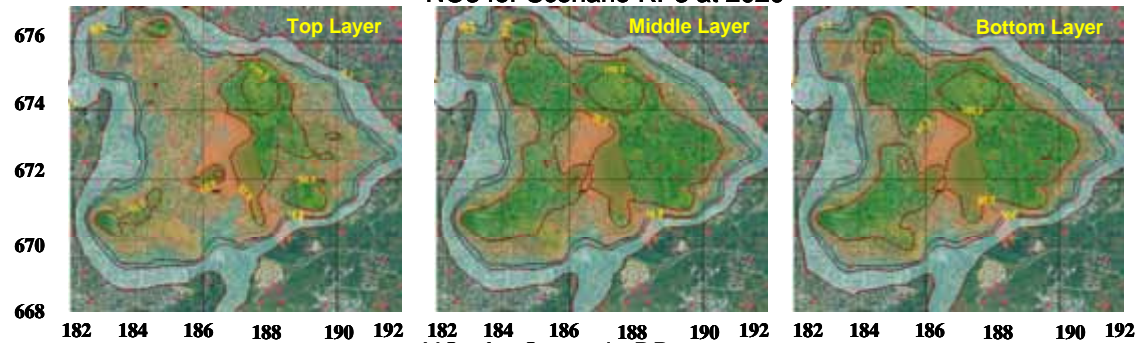
NO3 for Scenario RP3 at 2010



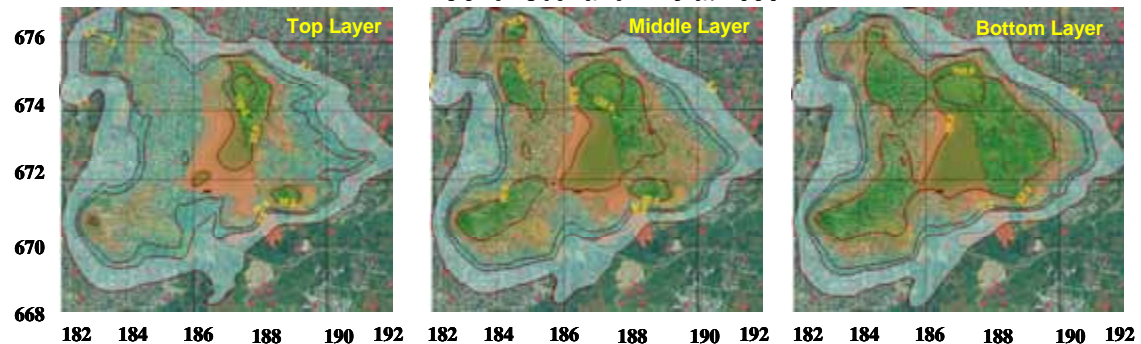
NO3 for Scenario RP3 at 2015



NO3 for Scenario RP3 at 2020



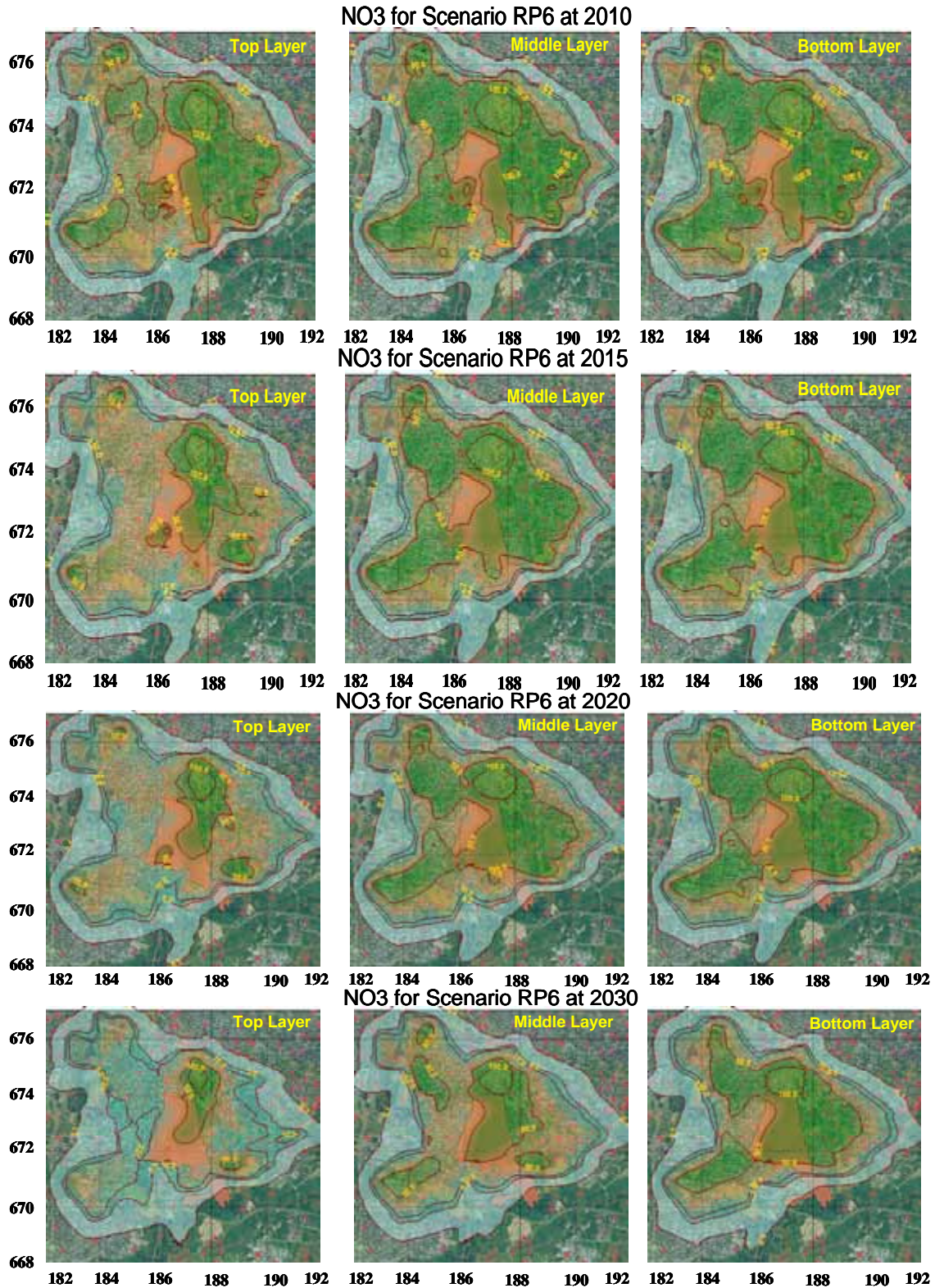
NO3 for Scenario RP3 at 2030



איור 5.33 חיזוי הפרוס המרחבי של ניטרט על פי תרחיש RP3.

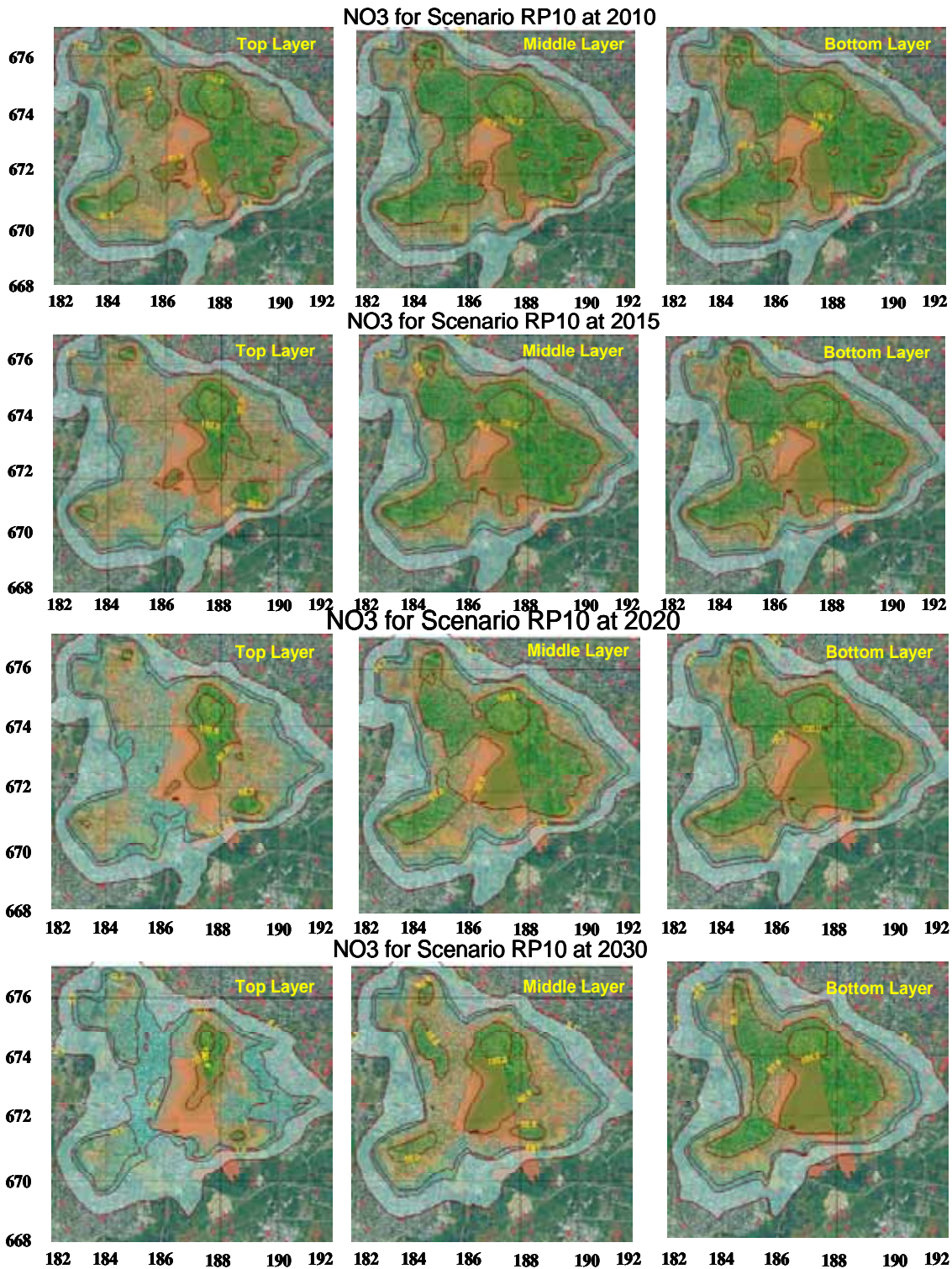
שילוב של שאיבות לשיקום ממתחם התע"ש וחדוש ההפקה מקידוחי רמת השרון על פי תרחיש RP6, גורם לצמצום משמעותי בהיקף ההשתרעות של הניטרט במרחב רמת השרון ולשיפור ניכר בצמצום כתם הזיהום בניטרט ממזרח למתחם התע"ש בתחומי הוד השרון (איור 5.34). על פי תרחיש זה, השיפור ניכר במיוחד באקוויפר העליון אך צפוי גם שיפור משמעותי בשכבות העמוקות

לאור העובדה שהמסננות בחלק מקידוחי ההפקה נמצאות מול תת אקויפר B ומושכים מים גם מהשכבות העמוקות. על פי תוצאות המודל, קטנה ההשתרעות של כתם הזיהום בניטרט מצפון למתחם התע"ש באזור רמות השבים וגבעת חן, אך הערכים במוקד זה עדיין יישארו גבוהים גם לאחר כ 25 שנות תפעול והפקה.



איור 5.34 חיזוי הפרוס המרחבי של ניטרט על פי תרחיש RP6.

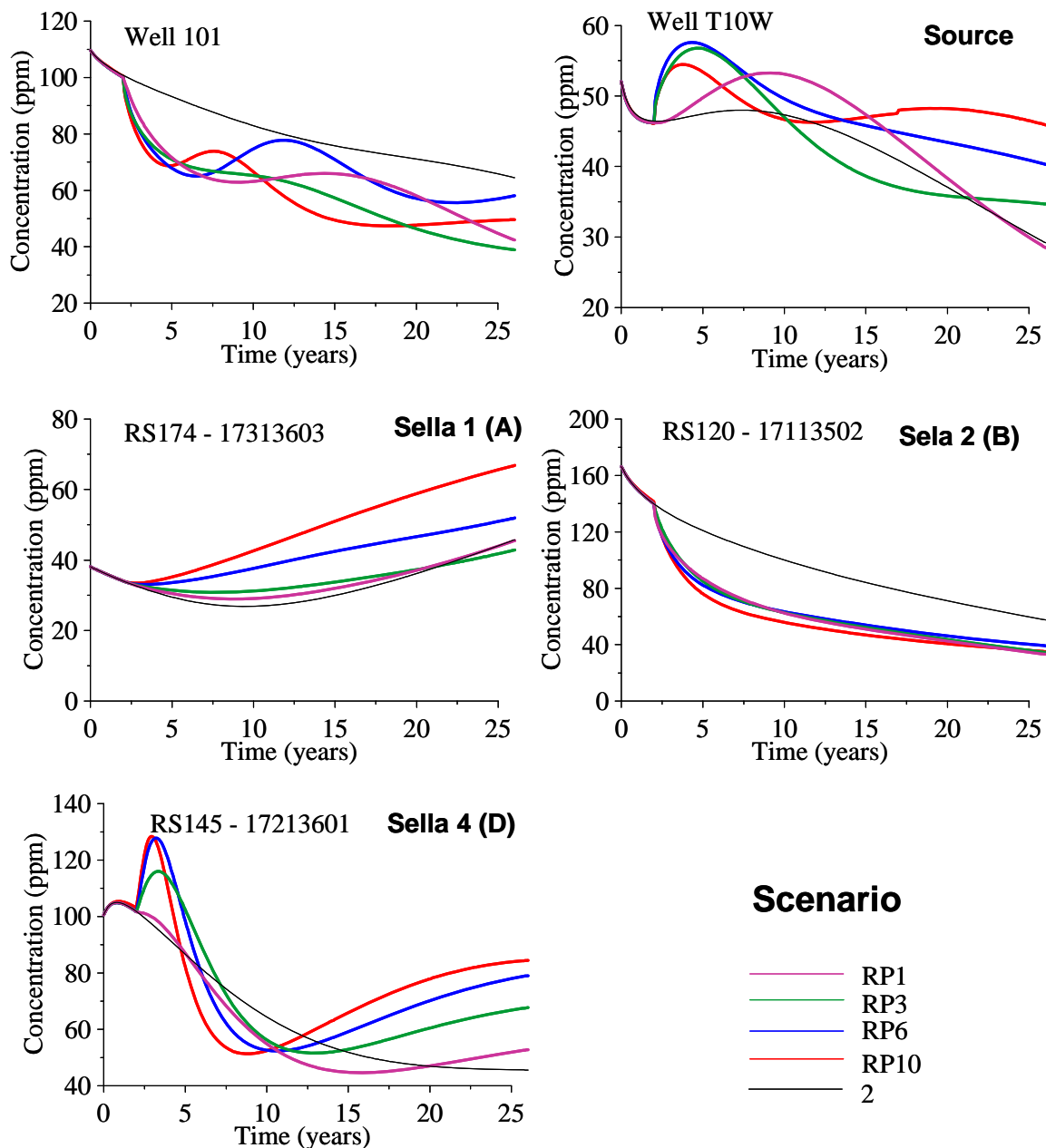
איור 5.35 מציג את הפרוס המרחבי הצפוי של ניטרט כאשר מחדשים את ההפקה בחלק מקידוחי רמת השרון וגם מקידוחי תל אביב צפון (תרחיש RP10). על פי תרחיש זה עננת הזיהום מניטרט מצטמצמת באופן משמעותי גם באזור צפון תל אביב, ורמות הזיהום בכתמים שבמרכז וממזרח לתע"ש פוחתות. למעשה, על פי תרחיש זה נשאר רק מוקד/כתם זיהום אחד מוגדר באזור רמות השבים – גבעת חן עם ריכוזים של מעל ל 100ppm.



איור 5.35 חיזוי הפרוס המרחבי של ניטרט על פי תרחיש RP10.

ריכוז הניטרט בקידוחים שבמתחם התע"ש נע כיום בין כ-50 מיליגרם בליטר באזור מלבין (T10W) לבין כ-160 מיליגרם בליטר באזור קידוח סלע ב'. בהצמדות למצב הקיים (תרחיש S-2) המודל חוזה ירידת מתמשכות בכל מרחב התע"ש למעט עליה בריכוז שצפויה להתחיל כעבור כ-10 שנים בקידוח סלע א' (איור 5.36).

Time series of simulated Nitrate concentration in selected TA'AS wells

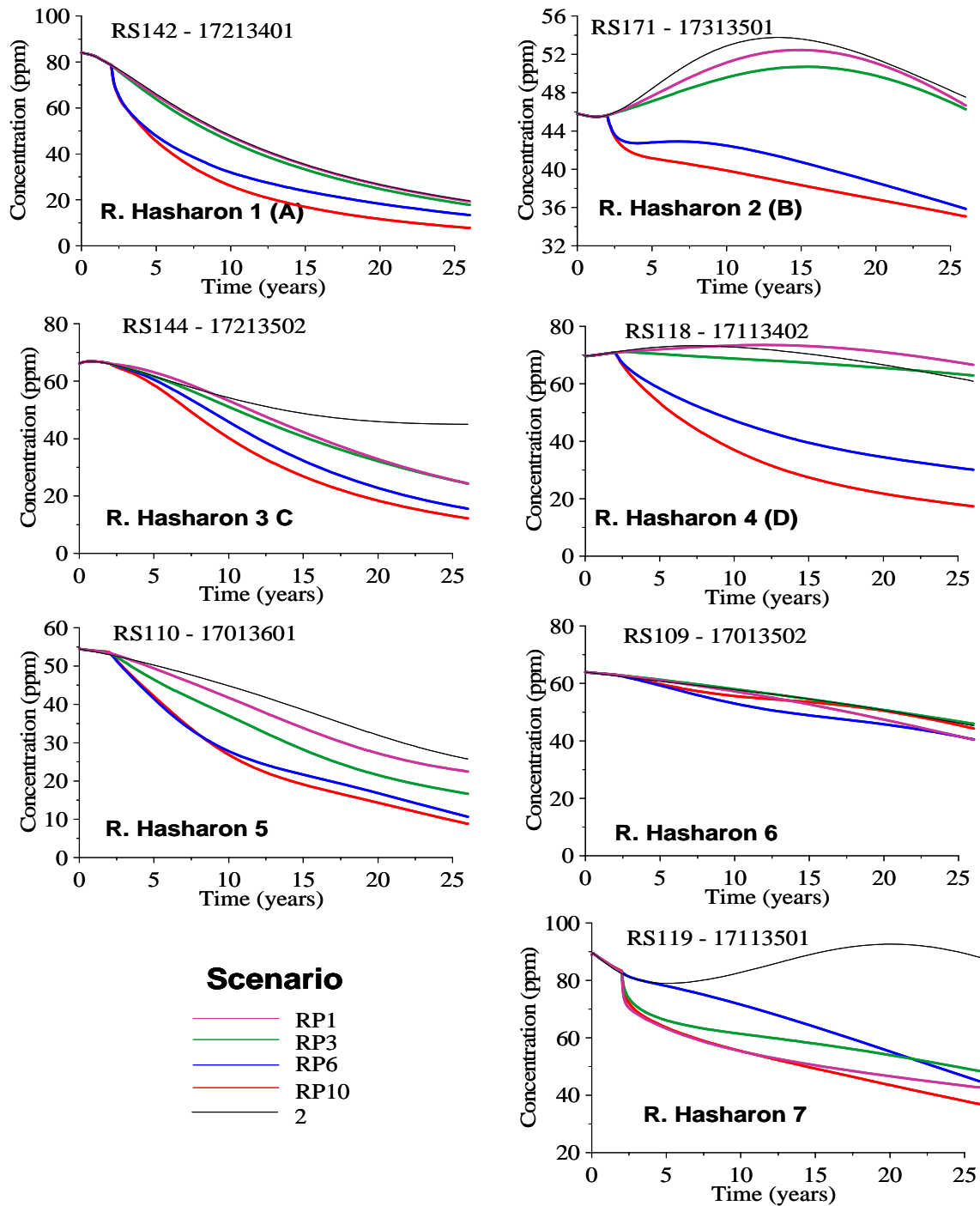


איור 5.36 תחזית השתנות ריכוז הניטרט בקידוחים נבחרים במתחם התע"ש לתרחישי הפקה שונים.

על פי התרחיש של תחילתו של שיקום מוגבל (RP1) עם שאיבה מצומצמת באתר מלבין ושאיבה בקידוח רמת השרון ז', הירידה בתכולת הניטרט במי התהום במרבית המתחם גוברת רק במעט

איור 5.36. עם הפעלת מערך השאיבות ברמת השרון (RP6) ולאחר מכן גם בצפון תל אביב (RP10) אינו משנה את המצב באזור קידוח סלע ב' וגורם לעליה בריכוזי הניטרט בקרבת הקידוחים סלע א' וסלע ד' כעבור 5 ו-7 שנים בהתאמה.

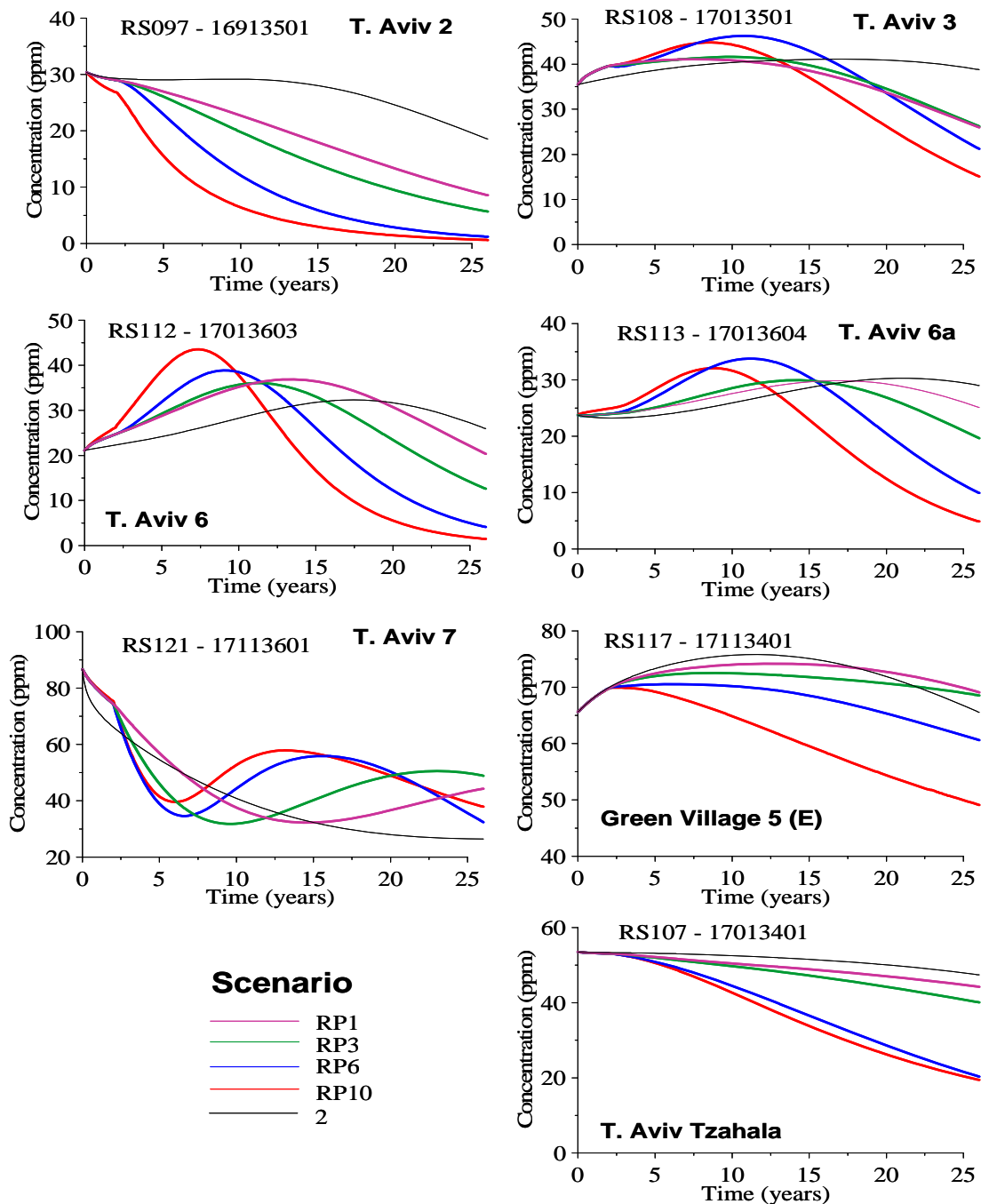
Time series of simulated Nitrate concentration in selected Ramat Ha'Sharon wells



איור 5.37. תחזית השתנות ריכוז הניטרט בקידוחים נבחרים ברמת השרון לתרחישי הפקה שונים.

מערבה מהתע"ש במרחב העיר רמת השרון, רמות הניטרט במי התהום נעות מ-45 מג"ל בקידוח רמת השרון ב' ועד לכדי כ-90 מג"ל בקידוח רמת השרון ז' (איור 5.37). במידה והמצב הקיים יימשך גם להבא, המודל חוזה יציבות ברמת הניטרט בקידוחי רמת השרון ד' ועליה קלה בריכוזי הניטרט בקידוח רמת השרון ב' (תוספת של כ-5 מג"ל) וברמת השרון ז' (תוספת של כ-20 מג"ל) במהלך 10 עד 20 שנה הבאות בהתאמה.

Time series of simulated Nitrate concentration in selected Tel Aviv wells

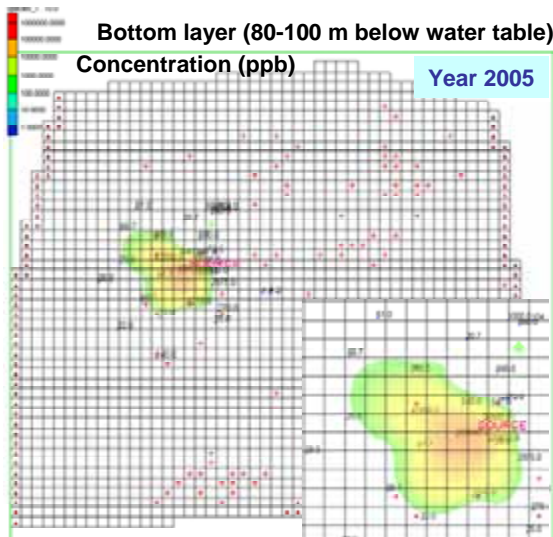
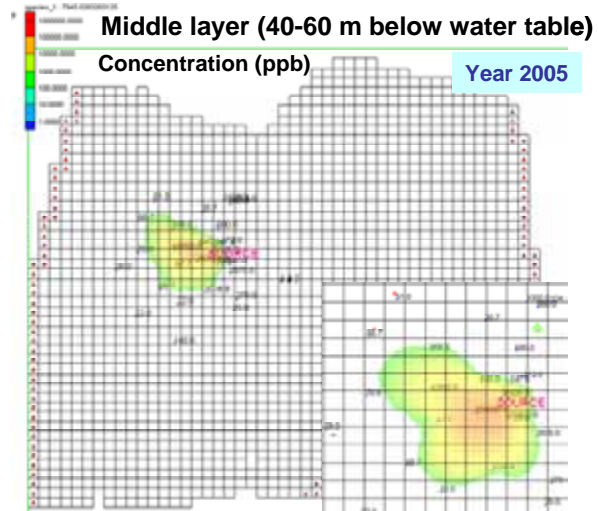
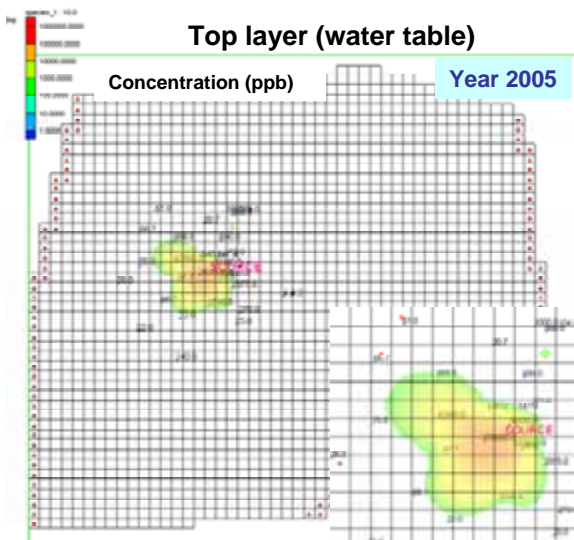


איור 5.38 תחזית השתנות ריכוז הניטרט בקידוחים נבחרים בצפון תל אביב לתרחישי הפקה שונים.

המצב הצפוי בקידוחי צפון תל אביב על פי תרחיש S-2 הוא יציבות עם מעט ירידות קלות באזור הקידוחים תל אביב 2, 3 ובצהלה (איור 5.38). המודל חוזה עליה של כ-10 מג"ל במהלך 15 השנים הבאות בקידוחים תל אביב 6 ו-6 א', וירידה איטית ורצופה ב-50 מג"ל באזור תל אביב 7. הפעלת מערך השיקום המוגבל (RP1) ולאחר מכן השיקום המוגבר (RP3) משפר רק במעט את המגמה הנוכחית. להפעלת מערך ההפקה ברמת השרון (RP6) ולאחר מכן גם מדרום למתחם התע"ש, בקידוחי תל אביב צפון ישנה השפעה ממשית על ירידה בריכוזי הניטרט במיוחד באזור קידוח תל אביב 5, 6, 6 א' ובקידוח צהלה (איור 5.38). לחיזוי תפרוסת הריכוזים של ניטרט והצפי של שינוי הריכוז במהלך השנים חשיבות עליונה לכל תרחיש אפשרי לטיפול מיקרוביאלי בפרכלורט. נמצא (כרך II, פרק 2) שנוכחות של ניטרט מעכבת פרוק מיקרוביאלי של פרכלורט בתנאים מסוימים.

5.5 השתנות ריכוז הפרכלורט במי התהום כתלות בתרחישי שיקום והפקה RP3, RP1, RP10 ו RP6.

התפרוסת וההשתנות של ריכוזי הפרכלורט במרחב רמת השרון תלויים בראש וראשונה בריכוזים ההתחלתיים שהוכנסו למודל ההסעה על פי מודל הזרימה הדינאמי שמשתנה כתלות במשטר השאיבות לשיקום ו/או להפקה. כל התרחישים (RP1, 3, 6, 10) נבחנו ביחס לחלופת האפס – היא החלופה שבה נבחן הפרוס המרחבי של המזהמים השונים על פי המצב ההידרולוגי בהתאם למשטר ההפקות והשאיבות כפי שהוא כיום מאז סגירת הבארות ברמת השרון וצפון תל אביב במהלך 2005-2006 (תרחיש S-2). כמו כן המודל (לגבי פרכלורט בלבד) הורץ גם לתרחיש מקביל שבו האוגר האדיר של פרכלורט בחתך הלא רווי לכוד בחתך הקרקע באופן טבעי או כתוצאה מאיטום מלאכותי, וחדל לדלוף ולזהם את מי התהום.

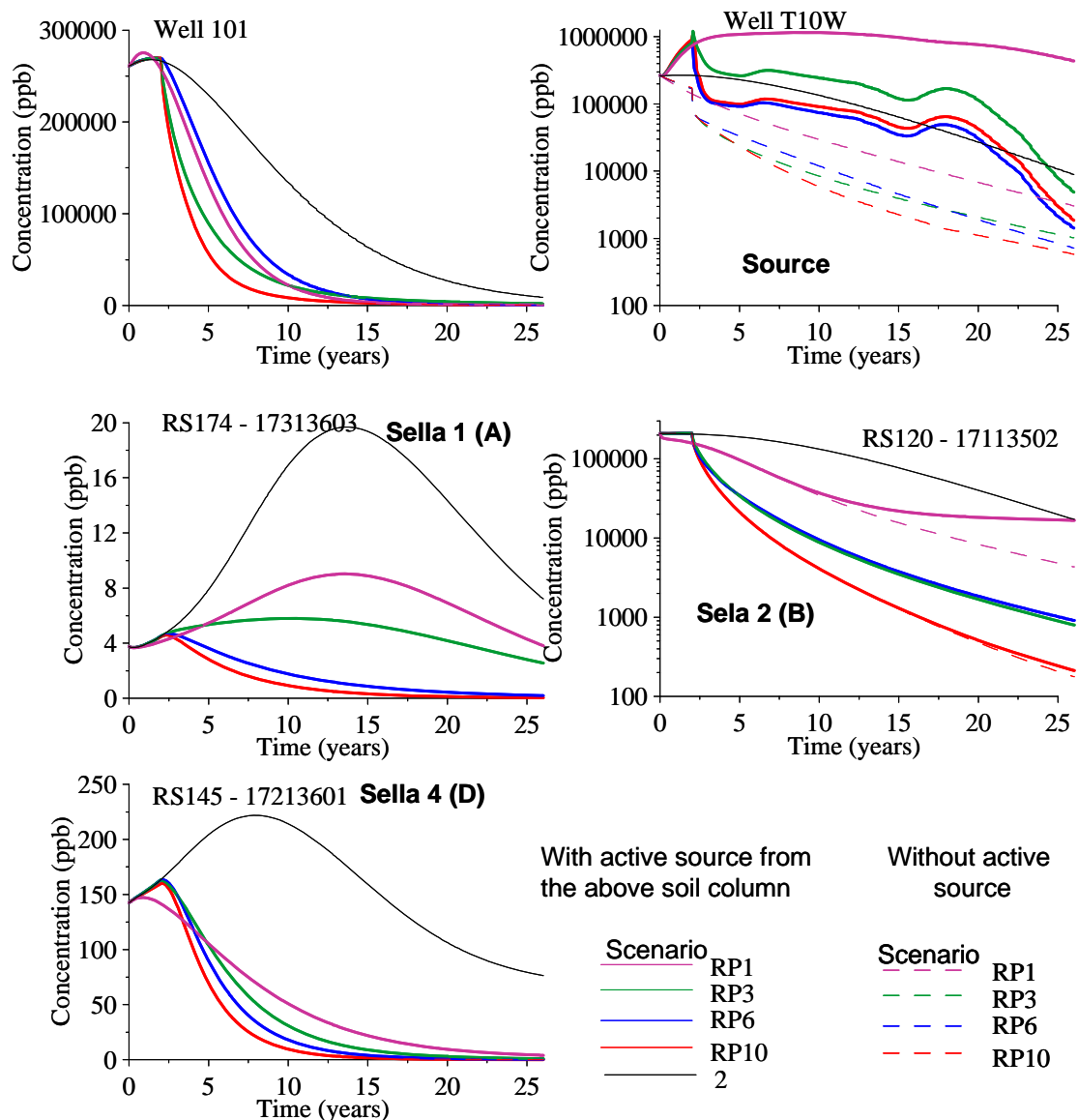


איור 5.39 פרוס מרחבי של פרכלורט לאקויפר העליון, התיכון והתחתון כפי שחושב מתוך תוצאות דיגום 2005/6.

איור 5.39 מציג את הפרוס המרחבי (נכון ל שנת 2005/2006) של פרכלורט לאקויפר העליון, התיכון ולתת האקויפר העמוק. פרוס ערכים זה שימש כערכי התחלה במודל ההסעה הדינמי לחיזוי פרוס הפרכלורט במהלך 25 השנים הבאות.

איור 5.40 מציג את השתנות ריכוז הפרכלורט במי התהום במרחב קידוחי התע"ש ל-25 השנים הבאות לתרחישים RP1,3,6,10 ביחס לחלופת האפס המבוססת על מצב ההפקות הנוכחי (S2). על פי המצב הקיים (תרחיש S-2) תהיה ירידה משמעותית בריכוזי הפרכלורט בקידוחים סלע ב', T10W ואף ב-T101. למרות הירידה המסיבית, בחלוף עשרים וחמש שנה המודל צופה/חזוה עדיין ריכוזים גבוהים מאוד של מעל ל-10,000 מיקרוגרם לליטר בשלושת הקידוחים הראשונים. בקידוחים סלע א' ואף בסלע ד', בהם רמת הזיהום הנוכחית בפרכלורט נמוכה במספר סדרי גודל מאשר בקידוחים הקודמים (4 ו-150 מיקרוגרם לליטר בהתאמה), המודל צופה עליה חדה ברמת הזיהום במהלך עשר עד חמש עשרה השנים הראשונות בטרם תחל ירידה מתמדת בהמשך.

Simulated Perchlorate concentration in selected TA'AS wells



איור 5.40 חיזוי ריכוז הפרכלורט במי התהום באזורים הסמוכים לקידוחים שבמרחב התע"ש ל-25 השנים הבאות לתרחישים RP1,3,6,10 ביחס למצב השאיבות הנוכחי (S2).

הפעלת שאיבה מצומצמת של כ-100 מ³/שעה במוקד הזיהום ועוד שאיבה בספיקה דומה בשוליים המערביים בקידוח רמת השרון ז', (תרחיש RP1) מאיצה את קצב ירידת הריכוזים בקידוחים

שבהם רמת הזיהום צפויה לרדת, ממתנת את שיעור עליות הריכוז בקידוח סלע א' ומבטלת את העלייה הזמנית שצפויה על פי תרחיש S-2 בקידוח בסלע ד' (איור 5.40). האצה של הליך השיקום על פי תרחיש RP3 מאיצה את קצב ירידת הריכוזים על פי מודל דומה לתרחיש RP1. לאיטום הדליפה של פרכלורט מהתווך הלא רווי תהיה השפעה משמעותית רק בסביבה הקרובה לאתר מלבין (קידוחים T10 וסלע ב'). אפקט האיטום אינו משמעותי כבר כ-400-500 מטרים במורד הזרימה: לא ב-T101 ואף לא בקידוח סלע ד'.

במצב שבו מחדשים את ההפקה של מי תהום מקידוחים נבחרים ברמת השרון (תרחיש RP6) ולאחר מכן מקידוחים בצפון תל אביב (תרחיש RP10) ריכוז הפרכלורט במי התהום מתחת למוקד הזיהום בקידוח T10 יורד מתחת ל-10,000 מיקרוגרם לליטר, בקידוח סלע ב' ואף ב-T101 – לרמות של מתחת ל-1,000, ואילו בקידוחים סלע א' וגם בסלע ד' הריכוזים ירדו מתחת ל-10 מיקרוגרם לליטר כעבור 15-20 שנה.

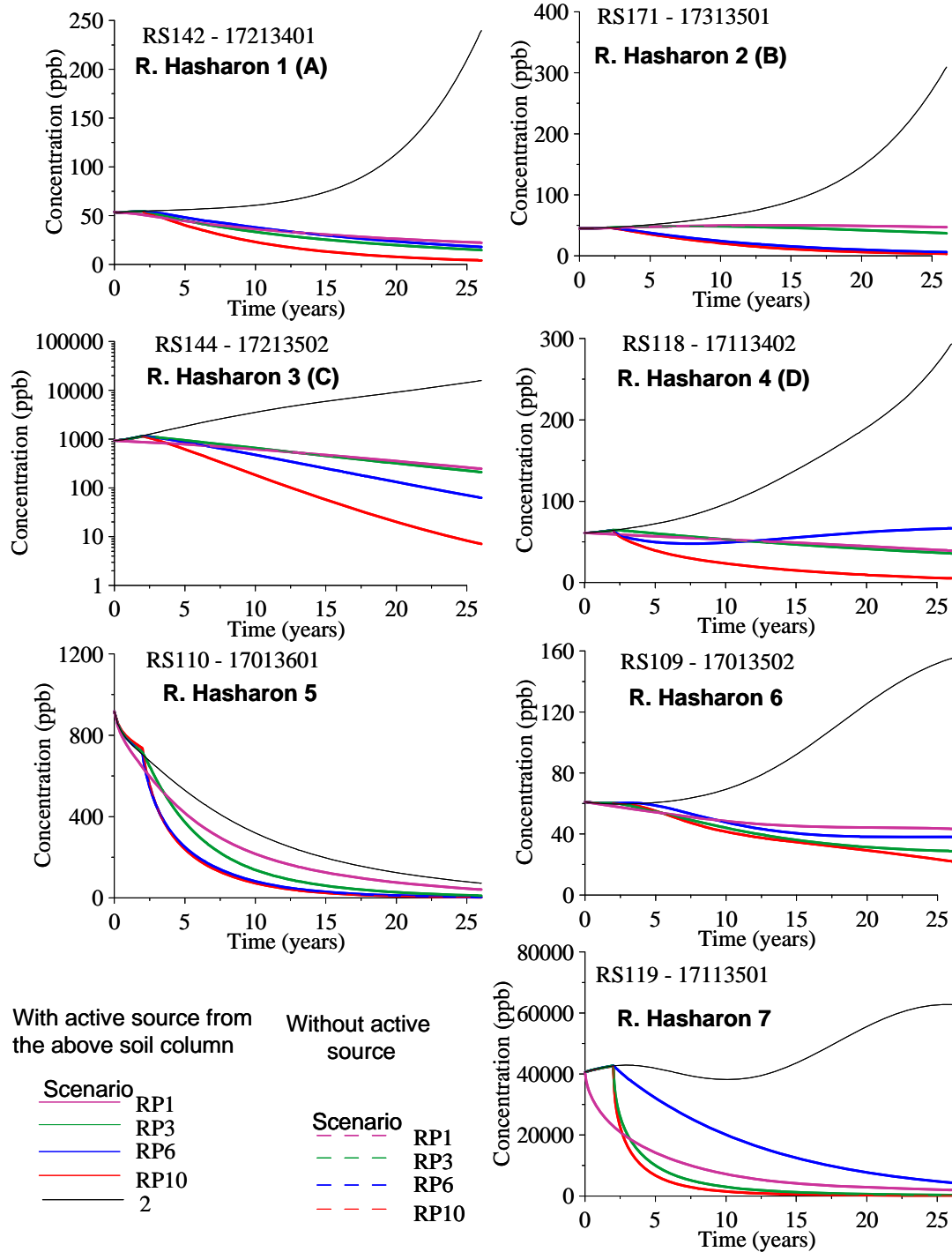
איור 5.41 מציג את השתנות הריכוזים של פרכלורט בקידוחי רמת השרון. על פי חלופת האפס (תרחיש S-2). המצב הנוכחי מעלה את ריכוז הפרכלורט באופן בולט ומשמעותי תוך חמש – עד עשר שנים בכל הקידוחים למעט באזור קידוח רמת השרון ה'. על פי כל שאר התרחישים: החל משאיבה מצומצמת לשיקום (RP1), או שאיבה מוגברת (RP3) ודרך מערך משולב של שיקום והפקה מקידוחי רמת השרון וקידוחי תל אביב צפון (תרחישים 10, RP6) קצב הירידה בריכוז הפרכלורט עולה וגובר. לפי תרחישים המשולבים של שיקום והפקה, הריכוזים בקידוחי רמת השרון א', ב', ג', ד' ירדו כעבור עשרים וחמש שנה לרמות של מתחת ל-10 מיקרוגרם לליטר ואילו, באזור רמת השרון ה', ו', ו-ז' לרמות של מתחת ל-100-50 מיקרוגרם לליטר כתלות בתרחיש.

איור 5.42 מציג את תחזית ריכוז הפרכלורט במי התהום במרחב הקידוחים של תל אביב צפון. על פי תרחיש S-2, ואפילו עם שאיבה מוגבלת במוקד (תרחיש RP1) ועם שאיבה מוגברת מהמוקד (תרחיש RP3), המודל צופה עליה מתמדת בריכוז הפרכלורט בשיעור של תוספת של 15-18 מיקרוגרם לליטר על פני 25 השנים הבאות באזור צהלה. במצב הנוכחי (S-2), קיים סיכוי סביר לעליה נוספת בריכוז הפרכלורט ב-10 מיקרוגרם לליטר על פני כ-20 שנה בקידוח תל אביב צפון 3. באזור הכפר הירוק הריכוז אמור להשתנות ולהתייצב סביב כ-25 מיקרוגרם לליטר לאורך כל התקופה. על פי תוצאות המודל צפויה תוספת לריכוז של כ-50 מיקרוגרם לליטר על פני כ-5 שנים בתל אביב צפון 7 לפני שהריכוזים ישובו וירדו. מובהקות תוצאות המודל לגבי חיזוי ריכוז הפרכלורט באזור קידוחי תל אביב צפון 6 ו 7 היא בעייתית בעיקר בגלל פערים עצומים בריכוז הפרכלורט בין הקידוחים 6, 6א ו 7, מה שיוצר גרדיינט ריכוזים תלול במיוחד על פני מרחקים קצרים ואף במימד האנכי. גם במקרה זה, בדומה לחיזוי תפרוסת האזיד, התוצאות מצביעות בעיקר על מגמה עם נטייה להחמיר בתחזית לעתיד.

המודל אינו צופה שינוי מהותי בריכוז הפרכלורט בין שאיבה מוגבלת (RP1) לשאיבה מוגברת (RP3). בכל שני המקרים הללו צפויה ירידה מתונה של הריכוזים. עם הפעלת התרחישים המשולבים של שיקום וחיזוש ההפקה ברמת השרון (RP6) ובתל אביב צפון (RP10) הריכוז

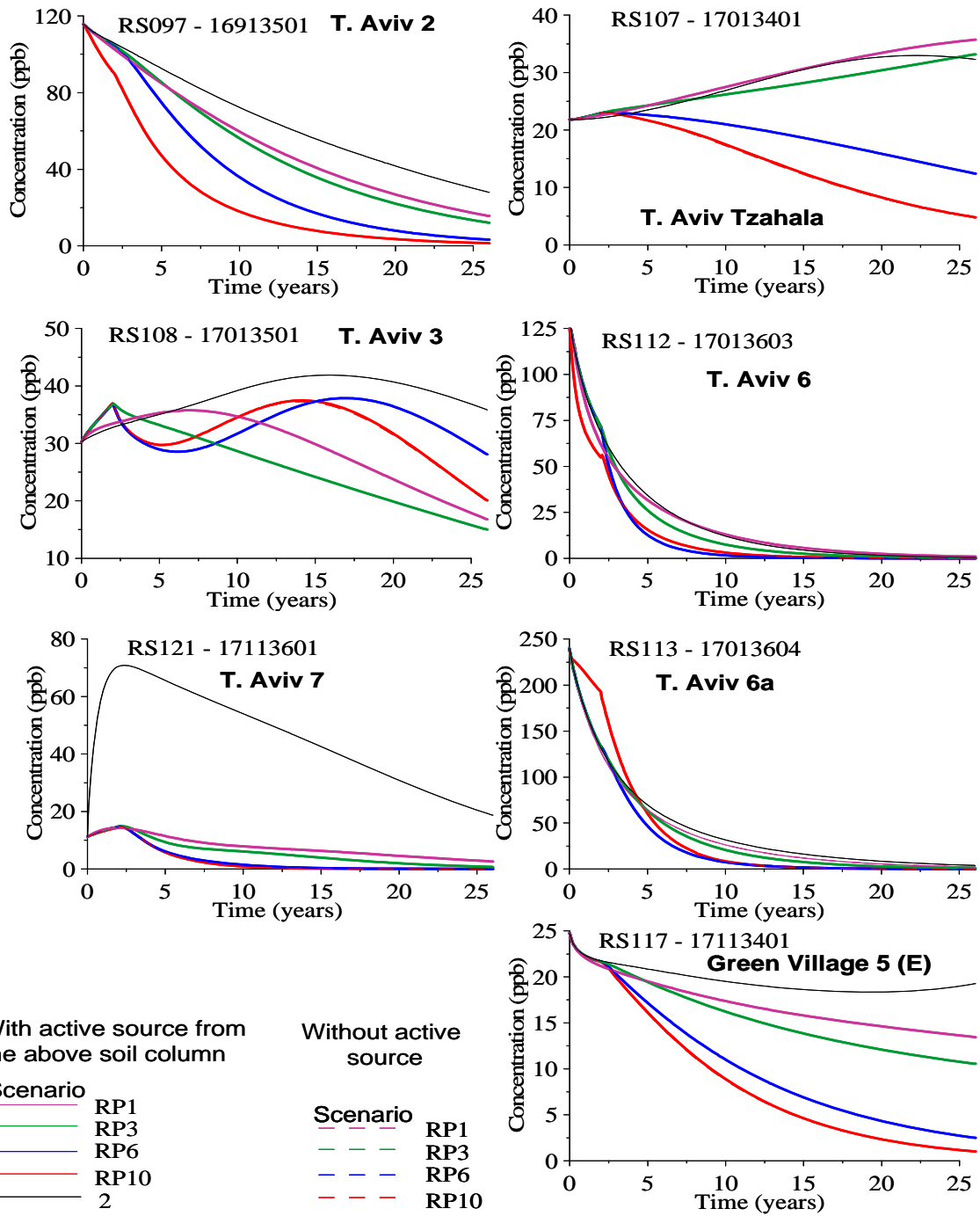
בקידוחים תל אביב 6, 6א' ו-7 צפוי לרדת מתחת ל-10 מיקרוגרם לליטר תוך 10 שנים, ובתל אביב 2 וכך גם באזור הכפר הירוק תוך 12-15 שנה.

Simulated Perchlorate concentration in selected Ramat Ha'Sharon wells



איור 5.41 חיזוי השתנות ריכוז הפרכלורט במי התהום באזורים הסמוכים לקידוחים שבמרחב רמת השרון ל-25 השנים הבאות לתרחישים RP1,3,6,10 ביחס למצב השאיבות הנוכחי (S2).

Simulated **Perchlorate** concentration in selected Tel Aviv wells



איור 5.42 חיזוי השתנות ריכוז הפרכלורט במי התהום באזורים הסמוכים לקידוחים שבמרחב קידוחי תל אביב צפון ל-25 השנים הבאות לתרחישים RP1,3,6,10 ביחס למצב השאיבות הנוכחי (S2).

נפח מי התהום באקויפר החוף במרחב רמת השרון המזוהם בפרכלורט חושב מתוך אינטגרציה של הריכוזים של פרכלורט כפי שנמדדו בקידוחי הניטור לשנים 2005-2006 ואינטרפולציה בכל היחידות האקויפריות לכל עומקו של התווך הרווי. הנפחים חושבו לחמש רמות זיהום: 8-100, 1,000-100, 1,000-5,000, 5,000-10,000 ולרמות זיהום של מעל 10,000 מיקרוגרם לליטר בהתאמה. טבלה מס' 5.1 מציגה את נפחי המים המזוהמים בכל אחת מהקטגוריות הנ"ל למצב הנוכחי ותחזית נפחי המים המזוהמים לשנים 2015 ו-2030 לארבע חלופות תפעול של האקויפר: RP 1, 3, 6, 12 בהתאמה. מדובר בהערכה המבוססת על המבנה ההידרוגאולוגי ופרוס ערכי הנקבוביות.

בהנחה של נקבוביות אפקטיבית של כ-20%, נכון להיום, כ- 700×10^6 מ³ של מי תהום מזוהמים בפרכלורט ברמה של בין 8 ל-100 מיקרוגרם לליטר, כ- 220×10^6 מ³ מזוהמים ברמה של בין 100 ל-1,000 מיקרוגרם לליטר, כ- 55×10^6 מ³ מזוהמים ברמה של בין 1,000 ל-5,000 מיקרוגרם לליטר, כ- 17×10^6 מ³ ברמות זיהום של בין 5,000 ל-10,000 מיקרוגרם לליטר וכ- 60 מיליון מטרים מעוקבים ברמות זיהום גבוהות של מעל ל-10,000 מיקרוגרם לליטר. כלומר, נפח של כ-1.05 מיליארד מטרים מעוקבים של מי תהום באקויפר החוף נמצא ברמת זיהום כך שאינו יכול לשמש כאוגר תפעולי כולל להחדרה בשנים ברוכות ולא ניתן להשתמש באוגר זה לויסות השאיבות בין שנים ברוכות לשחונות.

בשתי חלופות התפעול של RP-1 ו-RP-3 המודל מצביע על הפחתה ברורה בנפח מי התהום המזוהמים בקטגוריות הזיהום הגבוהות, קרי במוקד הזיהום. ב RP1 ירידה של שני סדרי גודל בקטגוריה של בין 5,000 ל-10,000 מיקרוגרם לליטר יחד עם ירידה משמעותית בנפח בקטגורית הזיהום הגבוהה מ-60M ל-11M מ³. הכפלת נפח השאיבות לשיקום (RP3) מורידה ב-3 סדרי גודל את הנפח הנותר בשתי הקטגוריות הגבוהות שבמוקד הזיהום, מה שיכול להיחשב כהישג משמעותי. יחד עם זאת, ישנו גידול של נפח הזיהום עם השנים בקטגוריה הנמוכה שדי בכמות הזיהום שבה כדי להוציא את האקויפר ממערך אספקת המים ללא טיפול. בתרחיש RP1, נפח הזיהום בקטגוריה הנמוכה (8-100 מיקרוגרם לליטר) יגדל ב-80M מ³ ב-2015 ויגיע לכדי 780M מ³, ויגדל בכ-160M מ³ ב-2030 עד כדי 860M מ³. גידול מתון יותר בנפח המזוהם בקטגוריות הנמוכות (יחסית) של עד 1000 מיקרוגרם בליטר צפוי גם על פי תרחיש RP3. הדבר נובע מכך שבשתי חלופות התפעול של RP-1 ו-RP-3 חלקים נרחבים מהאקויפר באזור מוקד הזיהום ובשוליו אמנם שוקמו באופן ניכר אך לא עד תום, ובכך הצטרפו לקטגורית הזיהום הנמוכה.

הקטנה משמעותית של נפחי מי התהום המזוהמים בכל קטגוריות הזיהום צפויה על פי תרחיש RP6 ותרחיש RP10. בשני התרחישים האלו ישנה שאיבה מסיבית במוקד הזיהום: 400 מ³/שעה (משני קידוחי הפקה במוקד הזיהום) ו-600 מ³/שעה (מארבע קידוחי הפקה לאורך מוקד הזיהום)

בהתאמה. ובנוסף הפקה מחודשת במרחב רמת השרון (RP6) והפקה מחודשת ברמת השרון וצפון תל אביב (RP10). על פי התרחיש האחרון יקטן נפח מי התהום המזוהמים ב- 2030 לכדי כ-235M³ מ³ מ-700M³ בקטגוריית הזיהום הנמוכה, ולכדי כ-40M³ לעומת כ-220M³ בקטגוריית הזיהום של בין 100 ל 1000 מיקרוגרם לליטר. נפח הזיהום ירד מ-54M³ ל-1.5M³, מ-17.5M³ ל-0.3M³ ומ-60M³ ל-0.2M³ בשלושת קטגוריות הזיהום הגבוהות.

טבלה 5.1 : חישוב נפח מי התהום המזוהמים בפרכלורט לחלופות תיפעול נבחרות

Calculated volumes of contaminated groundwater with Perchlorate (ClO4)

1. Flow Scenario RP1

Category ($\mu\text{g Perchlorate}$)	Present (10^9 m^3)	2015 (10^9 m^3)	2030 (10^9 m^3)
8-100	0.699	0.782	0.861
100-1000	0.219	0.246	0.246
1000-5000	0.054	0.061	0.030
5000-10000	0.0174	0.013	0.007
10000-<	0.060	0.028	0.011

2. Flow Scenario RP3

Category ($\mu\text{g Perchlorate}$)	Present (10^9 m^3)	2015 (10^9 m^3)	2030 (10^9 m^3)
8-100	0.699	0.759	0.815
100-1000	0.219	0.225	0.151
1000-5000	0.054	0.057	0.0067
5000-10000	0.0174	0.009	0.0008
10000-<	0.060	0.012	0.0009

3. Flow Scenario RP6

Category ($\mu\text{g Perchlorate}$)	Present (10^9 m^3)	2015 (10^9 m^3)	2030 (10^9 m^3)
8-100	0.699	0.592	0.432
100-1000	0.219	0.172	0.102
1000-5000	0.054	0.056	0.033
5000-10000	0.0174	0.015	0.008
10000-<	0.060	0.019	0.0003

4. Flow Scenario RP10

Category ($\mu\text{g Perchlorate}$)	Present (10^9 m^3)	2015 (10^9 m^3)	2030 (10^9 m^3)
8-100	0.699	0.57	0.236
100-1000	0.219	0.180	0.039
1000-5000	0.054	0.032	0.0016
5000-10000	0.0174	0.0046	0.0003
10000-<	0.060	0.0038	0.0002

ראוי לציין שנפחים מחושבים האלו התקבלו מתוך אינטגרציה של תוצאות המודל להסעת פרכלורט בתווך הרווי במרחב ובזמן, ונדרשת זהירות בהתייחס לרמת הדיוק והמובהקות של הנפחים המחושבים כבסיס לבחינת חלופות שיקום והערכת עליות שיגורו מתוך תחזית נפח מי התהום המזוהמים.

החישובים מראים שכבר היום נפח של כ 1.05 מיליארד מטרים מעוקבים אקויפר החוף עם אוגר של כ $10^6 \times 160 \text{ מ}^3$ של מי תהום (לפי נקבוביות של 20%) נמצא ברמת זיהום שאינה מאפשרת שימוש באוגר זה לויסות השאיבות בין שנים ברוכות לשחונות ואינו יכול לשמש כאוגר תיפעולי כולל להחדרה בשנים ברוכות. לפי תרחיש RP1, שאיבה במוקד משני קידוחי שיקום בהיקף כולל של 200 מ^3 /שעה לא יואיל לצמצום נפח האקויפר המזוהם כאשר הנפח המזוהם יגדל לכדי 10^9 $1.13 \times 10^3 \text{ מ}^3$ ב 2015 ויגיע לכדי $1.15 \times 10^3 \text{ מ}^3$ ב 2030 (טבלה 5.1). גם המעבר לתרחיש שבו נפח השאיבות במוקד עולה לכדי 400 מ³/שעה מ 4 קידוחי הפקה לא משפר את המצב באופן משמעותי ($1.00 \times 10^3 \text{ מ}^3$ ו $0.975 \times 10^3 \text{ מ}^3$ ב 2015 ו 2030 בהתאמה). אמנם על פי תרחיש שיקום RP3 רמות הזיהום יורדות באופן בולט, אך אין בכך די כדי לשקם את האקויפר ולהשיבו למצב תפעולי. לשם כך, נדרשת הפקה וטיפול יותר מסיבים מהמוקד ומשולי עננת הזיהום, למשל RP6 או RP10.

שיפור משמעותי יושג על פי תרחיש RP6 שבו השאיבה במוקד הזיהום היא בסך כולל של 200 מ^3 / שעה משתי בארות הפקה יחד עם חידוש ההפקה וטיפול לסילוק מזהמים מ 5 קידוחי ההפקה של רמת השרון שנמצאים בשולי עננת הזיהום. על פי תרחיש זה הנפח המזוהם של האקויפר יפחת לכדי $0.85 \times 10^9 \text{ מ}^3$ ו $0.575 \times 10^9 \text{ מ}^3$ ב 2015 ו 2030 בהתאמה.

שיפור מהותי וצמצום של נפח האקויפר המזוהם צפוי להתקבל על פי תרחיש RP10 שבו מפיקים 600 מ^3 / שעה באזור מוקד הזיהום מ 4 קידוחים יחד עם חידוש ההפקה וטיפול לסילוק מזהמים ב 5 קידוחי ההפקה של רמת השרון וב 4 קידוחי הפקה של צפון תל אביב. על פי תרחיש זה הנפח המזוהם של האקויפר יפחת לכדי $0.8 \times 10^9 \text{ מ}^3$ ו $0.28 \times 10^9 \text{ מ}^3$ ב 2015 ו 2030 בהתאמה. על פי התרחיש האחרון נפח מי התהום המזוהם לא יעלה על 25 מליון מ^3 ב 2030, בסדר גודל אחד פחות מהמצב כיום.

החישוב של הנפחים לכל אחת מקטגוריית הזיהום לתרחישים הנ"ל נעשו כדי לקבל מושג והערכה של נפחי האקויפר הצפויים לשיקום לתרחישים אלו. עם גיבוש האסטרטגיות האפשריות והמקובלות לשיקום האקויפר, יהיה צורך לבצע אנליזה דומה לקטגוריות זיהום יותר מפורטות. בכל מקרה, אין להסיק מהאנליזה הנוכחית בלבד על אסטרטגיית השיקום המומלצת. יחד עם זאת, ברור שידרשו שאיבות מסיביות של מי תהום מאזור המוקד ומשולי עננת הזיהום כדי להשיג תוצאות משמעותיות בהקשר להשבת אוגר תפעולי באקויפר החוף.

פרק 6

בחינת ההשפעה של חידוש הפקה ושיקום בקידוחי רמת השרון וצפון תל אביב לתרחישים בהם השאיבה וטיפול במוקד יחלו רק בשנת 2012

בניסיון לעצור את התפשטות הזיהום צפונה מערבה ולדרום מערב לעבר קידוחי ההפקה של הרצלייה וצפון תל אביב בהתאמה, נבחנה האפשרות שכבר בעתיד הקרוב תחל הפקה של מי תהום משולי כתם הזיהום עם רמות זיהום נמוכות לטיפול והספקה תוך כדי תכנון והקמה של מערך כולל של טיפול במוקד כתם הזיהום שיושלם רק כעבור 5 שנים. בפרק זה, נבחנה התפרסות הצפויה של פרכלורט, Cr, TCE, ניטרט ו RDX במרחב רמת השרון לשני תרחישים בהם ההפקה של מי התהום לטיפול בזיהום והשבה תחל תוך שנה מהיום במספר קידוחי הפקה מושבתים בצפון תל אביב (RP11), ומחלק מקידוחי רמת השרון במשולב עם הפקה מקידוחי תל אביב צפון (RP12), כאשר מערך השאיבות לשיקום מי התהום במוקד יחל רק ב-2012 (מארבע בארות הממוקמות לאורך ציר כתם הזיהום בפרכלורט: T101, T10W, סלע ב' (Sela B), ו ר"ה ז' (RH7) בספיקה של כ-100 מ³/שעה מכל אחד מהקידוחים הנ"ל). ההשוואה נעשתה ביחס לתרחיש חלופת האפס (S2), ולתרחישים מקבילים ל RP11 (S7) ו RP12 (S8) של חידוש ההפקה לטיפול והשבה ללא שאיבה מסיבית ושיקום מהמוקד.

על פי תרחיש RP11, השאיבה בשנת 2008 תחודש רק בחלק מקידוחי תל אביב צפון (TV2, TV3, TV6, TV7) (TV6a, TV7) כ-0.5M מ³/שנה מכל אחת מהבארות למעט 0.2M מ³/שנה מ-TV7. על פי התרחיש השני (RP12) השאיבה בשנת 2008 תחודש בקידוחי צפון תל אביב וגם בחלק מקידוחי רמת השרון (לא כולל את RH3 ו-RH5) שיפיקו את אותן ספיקות כפי ששאבו ב-2004, לפני שנסגרו בשנת 2005. המטרה היא לנסות ולחזות את הריכוזים של תמהיל כל המזהמים כבסיס לתכנון של מערך טיפול ביוכימי לשיקום מי התהום במרחב רמת השרון.

התרחישים הנ"ל נבחנו ביחס לשלוש חלופות ללא שיקום במוקד הזיהום: S2, חלופת האפס הצמודה למצב הקיים שבו מקבעים את המצב הנוכחי ללא הפקה בתל אביב צפון וברמת השרון; S7, חלופה שבה מתחילים ב-2008 להפיק ולשקם רק את קידוחי צפון תל אביב ללא שאיבות לשיקום במוקד; ו-S8, החלופה שב-2008 מחדשים הפקה וטיפול בקידוחי צפון תל אביב ובקידוחי ההפקה הקיימים ברמת השרון אך ללא שאיבה וטיפול במוקד.

חשוב להדגיש שמדובר בתוצאות שהתקבלו ממודל הסעה של מזהמים/מומסים באקויפר האזורי על בסיס התפרוסת המרחבית (תלת ממדית) של המומסים השונים כפי שנמצאו בסקר מי התהום ב 2005. הפרמטרים ההידרולוגיים שהותאמו למודל ההסעה של הפרכלורט שמשו אותנו גם לחיזוי הסעה של מזהמים אחרים שיתכן ואינם "קונסרבטיבים" כמו הפרכלורט, למצב של "התרחיש הגרוע מכל". באזורים באקויפר, בהם נמצא גרדיינט ריכוזים תלול וחד (כמו למשל לגבי פרכלורט באזור קידוחי ההפקה: תל אביב צפון 6, 6א ו 7, שממוקמים באזור החזית הדרומית של עננת הזיהום בפרכלורט), רגישות המודל היא גבוהה במיוחד כך שיתכנו סטיות משמעותיות בצפי הריכוזים על פני מרחקים קצרים (במיוחד שמדובר בגודל תאים של עשרות מטרים). ניתן להתגבר על קושי כגון זה

בכלים נומרים לתווך הומוגני ואיזוטרופי או כאשר ישנו ידע ברור על מצב ההטרונגיות, מה שלא ניתן ולא קיים במרחב ההידרולוגי האמור. אי לכך, המהימנות חיזוי הפרכלורט בערכים מוחלטים, באזור כגון זה מוטל בספק במיוחד במימד האנכי (בין תת אקויפריס כגון בין תל אביב צפון 6 ו 6א ואפילו 7). יחד עם זאת התוצאות לגבי האבולוציה של הריכוזים בזמן הן מובהקות והצגתם נועדה לאמוד וללמד על המגמות הצפויות במהלך עשרים וחמש השנים הבאות.

הרצת מודל ההסעה לחיזוי תפרוסת האזיד נתקלה בקשיים נומריים. כאמור (כרך II, פרק 5, טבלה 5.6), ריכוז מובהק של אזיד מעל סף הכימות נמצא רק במספר מועט של קידוחים (5 קידוחים; ב 2005). בפועל, נמצאו ריכוזים נמוכים של אזיד מתחת לסף הכימות אך מעל סף הזיהוי בעוד מספר קידוחים. בקידוחים אלו, למרות שהזיהוי מובהק, המובהקות של הערכים המדודים היא נמוכה. אי לכך, למרות שלא ניתן לשלול ריכוזים נמוכים של אזיד במי התהום בקידוחים במעטפת שמחוץ למתחם התע"ש, לא ניתן לקבוע בוודאות מהם הריכוזים המוחלטים. זאת מאחר ובהליך הכיול האנליטי לא הושגה מובהקות נדרשת לריכוזים שמתחת ל 100-130 מיקרוגרם בליטר (כרך II, פרק 5.5, שלב IV ובנספח 5.1). לצורך קביעת תפרוסת תחילית של אזיד במי התהום החיונית למודל ההסעה, נבחנו תרחישים שונים להערכת התפרוסת התחלתית של אזיד גם על בסיס מדידות מאתרים במרחב שמחוץ למתחם התע"ש בהם נמצא אזיד מתחת לסף הכימות. במצב שבו טווח הריכוזים של האזיד בחמש בארות בהם נמצא אזיד מעל סף הכימות משתרע על פני שלושה סדרי גודל במרחב מאוד מצומצם ואי וודאות לגבי הערכים המוחלטים במי התהום שבמורד הזרימה, לא ניתן היה להציב תנאי התחלה מדויקים למודל ההסעה במרחב רמת השרון. דבר המעלה מיד הסתייגות והשגות לגבי מהימנות החיזוי של התקדמות פלומת הזיהום של האזיד, שלא לדבר על מהימנות הערכים החזויים. לאור זאת, ועד שתפותח שיטה אנליטית לכימות ריכוז אזיד במים בריכוזים נמוכים מ 100ppb, לא ניתן להציג תחזית אמינה לפרוס עתידי של ריכוזי אזיד במי התהום במרחב רמת השרון.

6.1 תחזית השינוי של ריכוז הפרכלורט במרחב רמת השרון לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

ההשוואה היא בין השתנות הצפויה בפרוס של פרכלורט בזמן ובמרחב במהלך 25 השנים הבאות כתוצאה מחידוש ההפקה של מי תהום החל מ 2008 בקידוחי תל אביב (לשיקום והספקת מים, תרחיש S7) לבין אותו מודל של הפקה כאשר בעוד כ 5 שנים יחלו גם בהפקה ושיקום ממוקד הזיהום (תרחיש RP11). בדומה, מוצגת גם ההשוואה היא בין השתנות הצפויה בפרוס של פרכלורט בזמן ובמרחב במהלך 25 השנים הבאות כתוצאה מחידוש ההפקה של מי תהום החל מ 2008 בקידוחי תל אביב ורמת השרון (לשיקום והספקת מים, תרחיש S8) לבין אותו מודל של הפקה כאשר בעוד כ 5 שנים יחלו גם בהפקה ושיקום ממוקד הזיהום (תרחיש RP12).

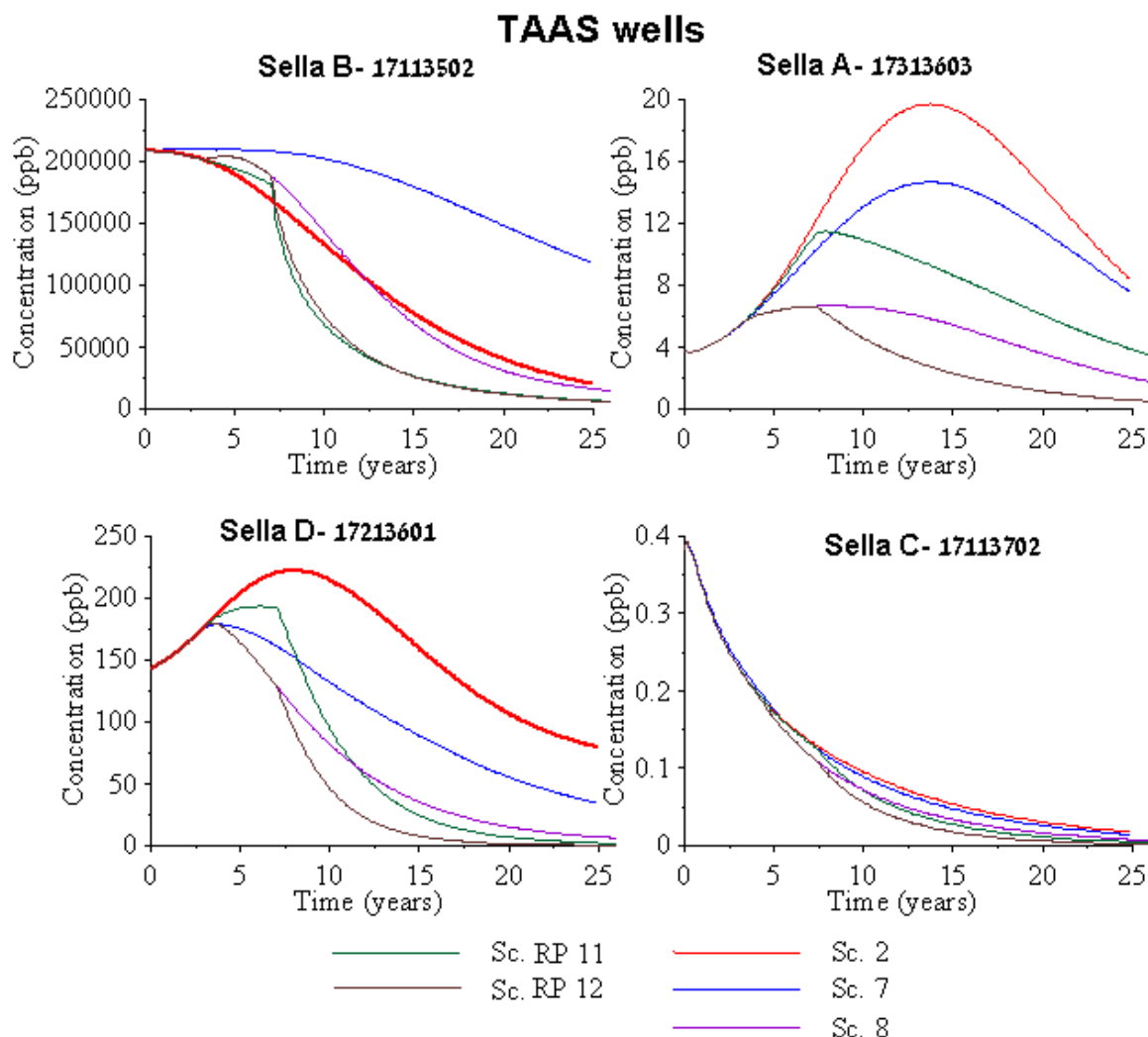
6.1.1 חיזוי ריכוז הפרכלורט במי התהום במתחם התע"ש – רמת השרון.

חידוש ההפקה לצורך טיפול והשבה של מי תהום מחלק מקידוחי ההפקה בצפון תל אביב (תרחיש S7) ללא שאיבה וטיפול במוקד כתם הזיהום במתחם התע"ש אינו משנה דבר ביחס לצפוי על פי מודל ההסעה למצב הנוכחי (תרחיש S2) באזור קידוח סלע ג', שם רמות הזיהום בפרכלורט נמוכות וזניחות

(איור 6.1). לעומת זאת, המודל צופה שרמת הזיהום בפרכלורט בקידוח סלע ב' תישאר ברמתה הנוכחית עוד כ 10 שנים לעומת דעיכה משמעותית בריכוז הצפויה על פי המצב הנוכחי, זאת בעקבות נדידת כתם הזיהום מערבה לעבר רמת השרון. באזור הקידוחים סלע א' וסלע ד', חידוש ההפקה בחלק מקידוחי רמת השרון יזרז את קצב הירידה ברמות הזיהום ביחס לחלופת האפס (S2).

תחזית השתנות הריכוזים של פרכלורט בקידוחי התע"ש כתוצאה מחידוש ההפקה לצורך טיפול והשבה של מי תהום בחלק מקידוחי רמת השרון ומקידוחי צפון תל אביב (תרחיש S8) מראה שלא צפויים שינויים משמעותיים בקידוחים סלע ב' וסלע ג' בהשוואה למה שצפוי על פי המצב הנוכחי (תרחיש S2). לעומת זאת, רמת הזיהום בקידוח סלע א' לא תעלה על 10ppb בהשוואה לחלופת האפס שבה הזיהום צפוי לעלות לכדי 20ppb תוך 15 שנה מהיום (איור 6.1). על פי תרחיש S8 רמת הזיהום בקידוח סלע ד' תעלה באופן מתון בכ 50ppb במהלך חמש השנים הקרובות (בדומה תרחיש S2) ואז תרד בקצב מהיר יחסית לרמה של מתחת ל 10ppb כעבור 25 שנה.

על פי תרחיש S11 שבו מחדשים את ההפקה והטיפול במי התהום מקידוחי רמת השרון והפעלת מערך שאיבות וטיפול מתוך כתם הזיהום תחל רק ב 2012, יגבר קצב השיקום וירידת הריכוזים בכל מרחב התע"ש, אולם השיפור המשמעותי ביותר יתקיים בקידוח סלע ב' שם רמת הפרכלורט צפויה לצנוח תוך פחות מעשר שנים בסדר גודל מרמות זיהום של מעל 150,000ppb לפחות מ 25,000ppb. שיפור מהותי צפוי באזור קידוח סלע א כאשר ההפקה תתחדש החל מ 2008 בקידוחי תל אביב ורמת השרון ובעוד כ 5 שנים יחלו גם בהפקה ושיקום ממוקד הזיהום (תרחיש RP12).



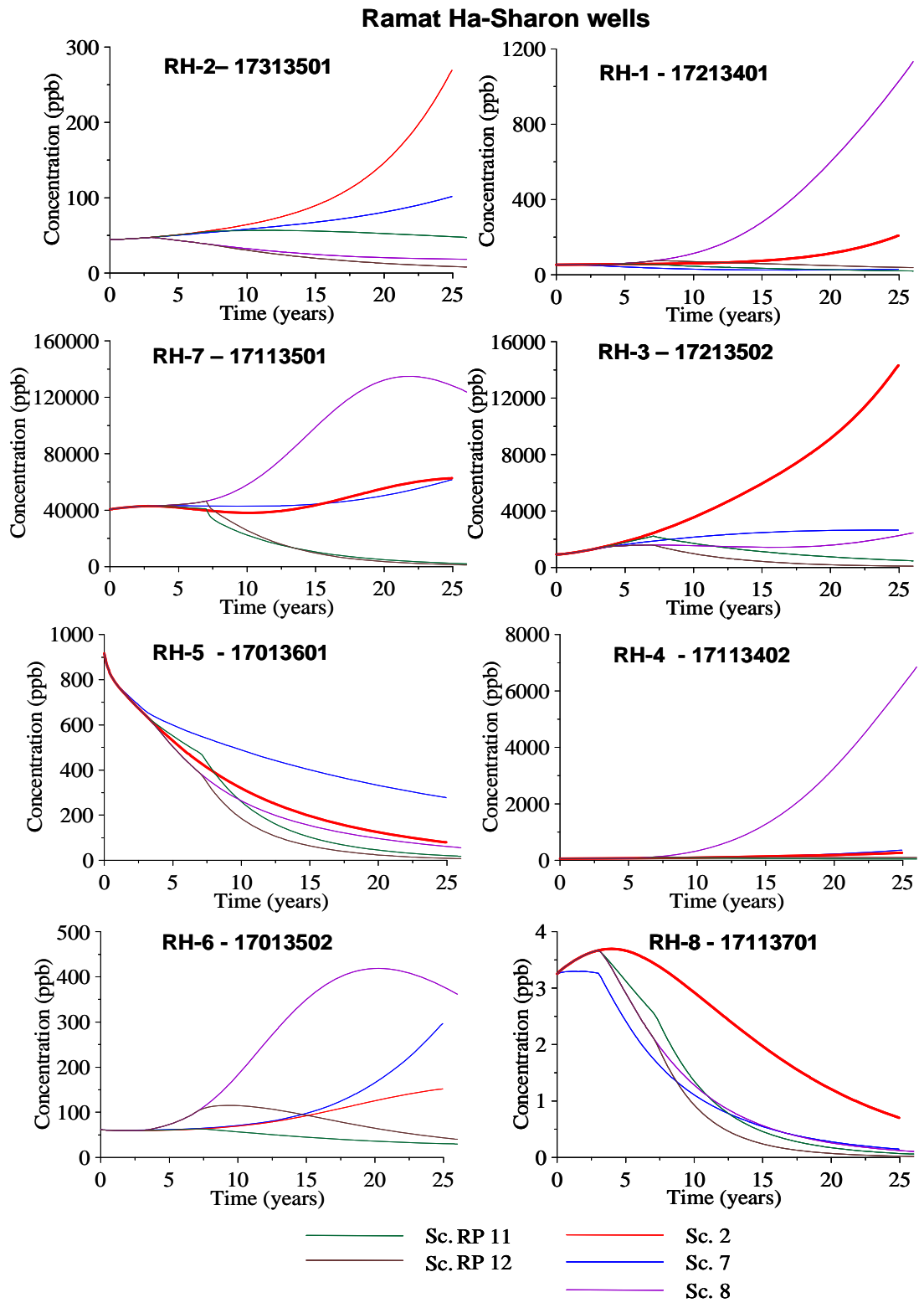
איור 6.1 חיזוי ריכוז פרכלורט במי התהום במרחב התע"ש לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2) באזורים שמוצגים ע"י קידוחים נבחרים.

6.1.2 חיזוי ריכוז הפרכלורט במי התהום באזור קידוחי ההפקה של רמת השרון.

באיור מס' 6.2 מוצגים הריכוזים הצפויים של פרכלורט במהלך 25 השנה הבאות במרחב רמת השרון באזורים שמוצגים ע"י קידוחים נבחרים. על פי חלופת האפס של "שב ואל תעשה דבר" (תרחיש S2) כתם הזיהום צפוי לנדוד ולהתפשט מערבה ובעקבות כך הזיהום יעלה תוך 5–15 שנה באזורים של רמת השרון א', ב', ג', ד', ו' ו-ז'. רק באזור רמת השרון ה' ו ח' הריכוזים צפויים לרדת. על פי תרחיש S7 של התחלת הפקה ושיקום בשוליים הדרום מערביים של כתם הזיהום (תל אביב צפון), התחזית צופה שיפור לעומת תרחיש S2 באזורים של רמת השרון א', ב', ג', ד' ו ח'. לא צפוי שינוי מהותי ברמת השרון ז' אך צפויה ירידה ביחס לקצב השיקום הטבעי ברמת השרון ה'.

חידוש השאיבות בקידוחי תל אביב צפון במקביל לשאיבות במרחב רמת השרון ללא טיפול במוקד כתם הזיהום (תרחיש S8) יגרור התפשטות מואצת של כתם הזיהום ועליה דרמטית בריכוז הפרכלורט בקידוחים באזור קידוחי רמת השרון א', ד', ו', ו-ז'. על פי איור 6.2 הפעלת מערך שאיבות וטיפול במוקד כתם הזיהום לתרחיש שבו ההפקה, תחל ב 2012 רק במרחב רמת השרון (תרחיש RP11)

ולתרחיש שבו ההפקה תחל במקביל במרחב רמת השרון ובקידוחי תל אביב צפון (תרחיש RP12), תגרום לירידת ריכוזים דרמטית בכל המרחב ובמיוחד באזור הקידוחים רמת השרון ב', ג' ו-ז', ולמניעת עלייה בריכוז במי התהום באזור רמת השרון ו'.



איור 6.2 חיזוי ריכוז פרכלורט במי התהום במרחב רמת השרון לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2) באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים.

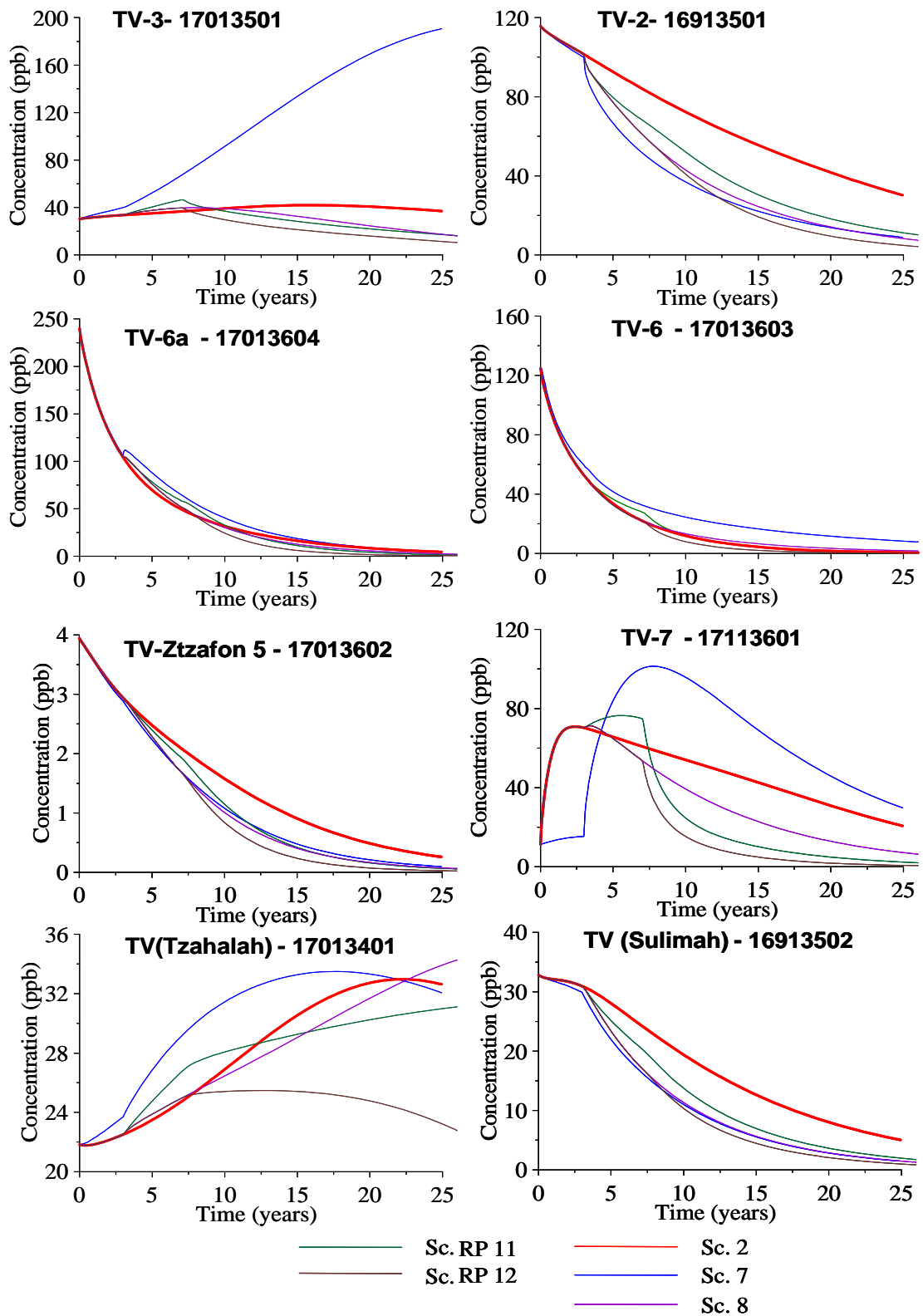
כפי שנאמר בפתיח לפרק זה, במרחב אזור קידוחי ההפקה של צפון תל אביב נמצא גרדיינט ריכוזים תלול וחד של פרכלורט בסמוך לאזור קידוחי ההפקה: תל אביב צפון 6, א 6 ו 7, שממוקמים באזור החזית הדרומית של עננת הזיהום בפרכלורט. מאחר ורגישות המודל היא גבוהה במיוחד באזורים עם גרדיינטים תלולים, יתכנו סטיות משמעותיות בצפי הריכוזים על פני מרחקים קצרים. אי לכך, מהימנות הערכים המוחלטים של חיזוי הפרכלורט באזור כגון זה מוטלת בספק במיוחד במימד האנכי (בין תת אקוויפרים כגון בין תל אביב צפון 6 ו 6א ואפילו 7). לאור האמור, יש להתייחס אל הריכוזים החזויים לעתיד באזור קידוחי תל אביב צפון 6 ו 6א ואפילו 7 כאל מגמה מסתמנת שמחייבת לנקוט משנה זהירות תוך הפעלת ניטור לעיתים תכופות לוודא שאין עליה חריגה ברמות הזיהום.

איור 6.3 מציג את התחזית לשינוי בריכוז הפרכלורט באזורים סביב קידוחי צפון תל אביב. על פי תרחיש S2 (חלופת האפס) למעט באזור קידוח תל אביב צפון 3, שבו ריכוז הפרכלורט לא צפוי להשתנות באופן משמעותי, בכל האזורים שמדרום למתחם התע"ש, בחלופה זו הריכוזים יורדים משמעותית ובקידוח סולימה ובאזור תל אביב צפון 6 הריכוזים אף ירדו מתחת ל 10ppb תוך 15 ו 20 שנה בהתאמה. על פי חלופה זו, המודל צופה עליה בריכוז הפרכלורט באזור צהלה, וסימני זיהום בפרכלורט צפויים תוך 5 – 10 שנים באזור הדר יוסף, צור ובאזורי הכפר הירוק ב' ו ד' ובאזור תל ברוך בעוד כ 15 שנה. הערכים התחיליים שמוצגים בגרף לאזור תל אביב צפון 6, אינם משקפים את המציאות ונקבעו כתוצאה מאינטרפולציה של הפרכלורט בין שני תאים סמוכים על פני גרדיינט ריכוזים תלול. העיוות נובע מעצם הדיספרסיה שנקבעה לסקלה הכוללת של מרחב המודל וגודל התאים הוא 9X70X50 מטרים (Z,Y,X) כאשר הפער בין המסננות בקידוחים 6 ו 6א הוא כ-20-25 מ בלבד. הדבר נכון במידת מה גם לגבי אזור קידוח תל אביב 7 שעל פי חלופה S2, המודל צופה עליה משמעותית בריכוז הפרכלורט כבר ב 9-2008, מה שרחוק מהמציאות. על פי מה שנמדד בקידוח זה, הריכוז של פרכלורט לא עלה עד היום על 11ppb ואילו לפי המודל הריכוז היה צפוי להגיע היום לערכים של כ 75ppb. אולם חובה לזכור שקידוח זה מוקף בקידוחים בקדוחים קרובים עם ריכוזים של פרכלורט שגבוהים בשני סדרי גודל מזה שב ת.א. 7 כפי שניתן לראות במפה המצורפת. גם כאן העיוות נובע מארטיפקט של ערכי דיספרסיה אזוריים באזור של גרדיינט ריכוזים תלול במיוחד.

לחידוש ההפקה בקידוחי תל אביב על פי תרחיש 7 (ללא שאיבה וטיפול מתוך כתם הזיהום) השפעה שלילית זמנית על מי התהום באזור קידוח תל אביב צפון 3, 7 ואזור צהלה. על פי תרחיש זה סימנים ראשוניים של פרכלורט צפויים תוך 15 שנה באזור שיכון דן. לתרחיש זה השפעה חיובית על מיתון בקצב עליית הריכוזים הצפויה באזור הדר יוסף, צור ובאזור קידוחי הכפר הירוק. הוספת קידוחי צפון תל אביב לקידוחי ההפקה (תרחיש S8) ממתנת את עליית הריכוזים בקידוחים תל אביב 7 וצהלה ומזרזת את קצב הדעיכה בקידוחים כגון הדר יוסף, צור והכפר הירוק ה'.

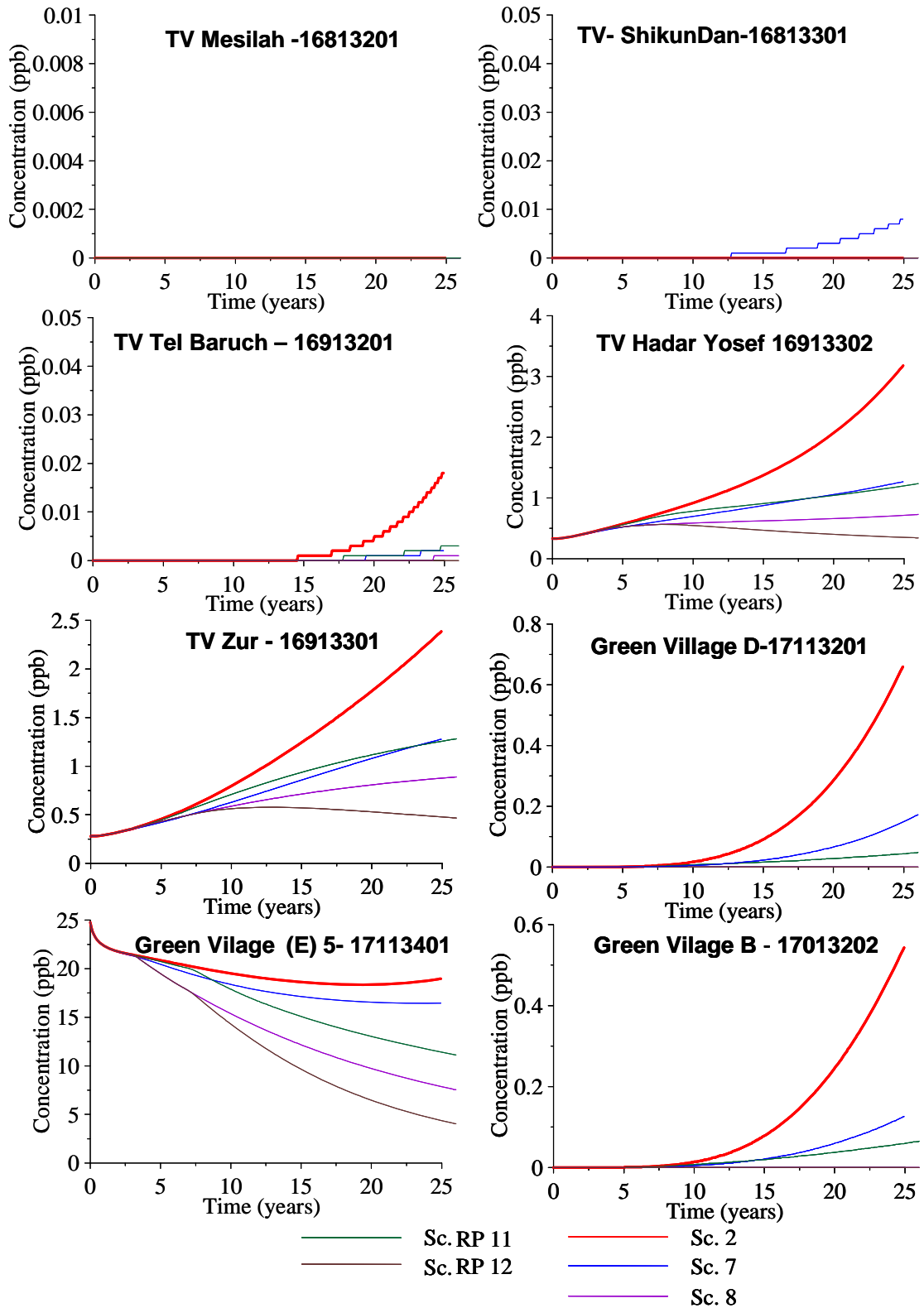
להפעלת מערך שאיבות ושיקום במוקד כתם הזיהום בעוד כ 5 שנים לאחר שחודשה ההפקה בקידוחי רמת השרון (תרחיש RP11) וכך גם בצפון תל אביב (תרחיש RP12), השפעה רבה על האצת קצב דעיכת ריכוז הפרכלורט במי האקוויפר במיוחד באזור תל אביב צפון 7, צהלה ובכפר הירוק ה'. השאיבות במוקד, בנוסף לשאיבות ההפקה ימנעו (כך על פי מודל ההסעה) את זיהום מי התהום באזור הדר יוסף, תל ברוך ואף באזור קידוחי הכפר הירוק ב' ו ד'.

Tel Aviv Tzafon wells



איור 6.3 חיזוי ריכוז פרכלורט במי התהום במרחב תל אביב צפון באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

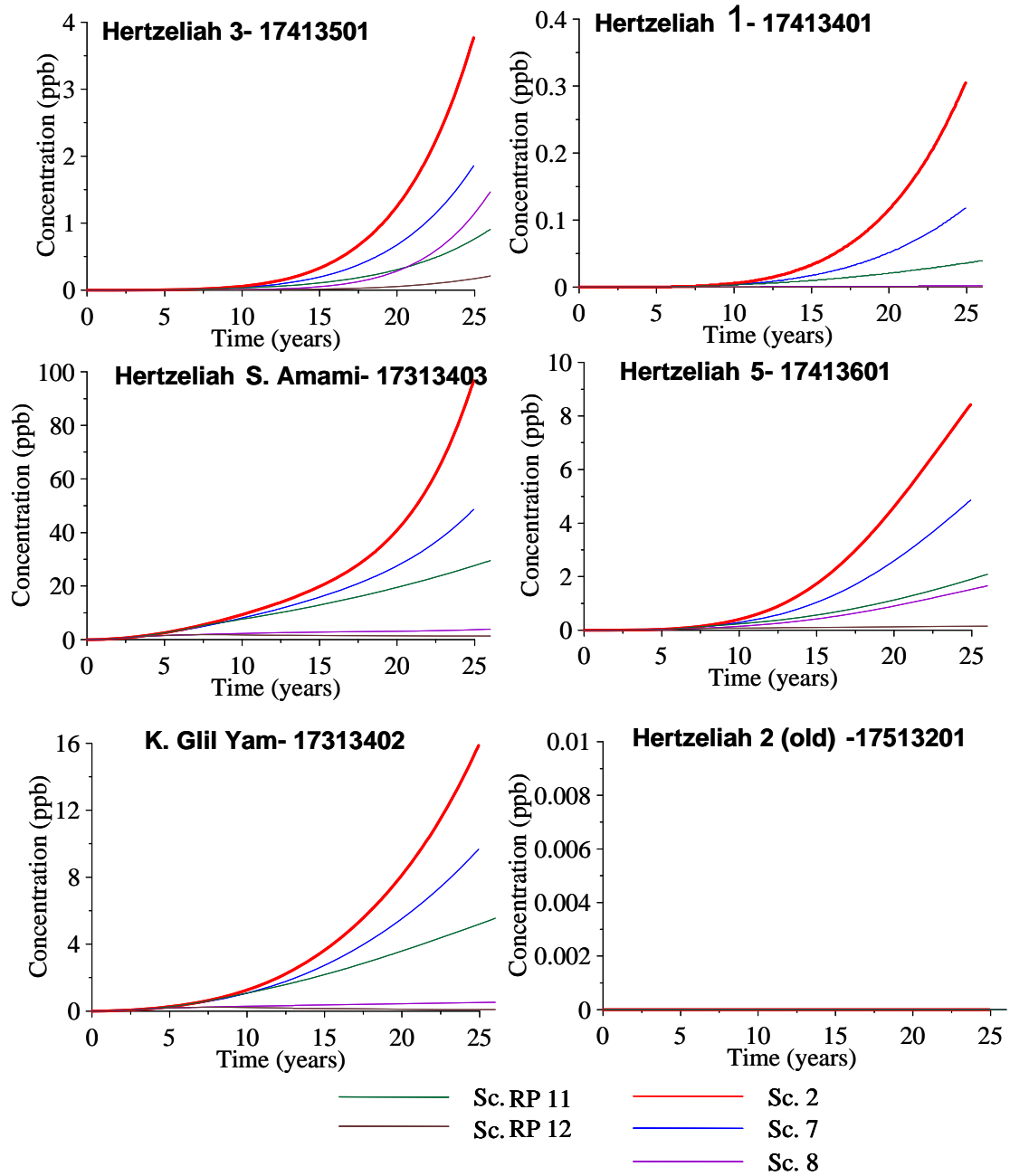
Tel Aviv Tzafon wells



איור 6.3 (המשך) חיזוי ריכוז פרכלורט במי התהום במרחב תל אביב צפון באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

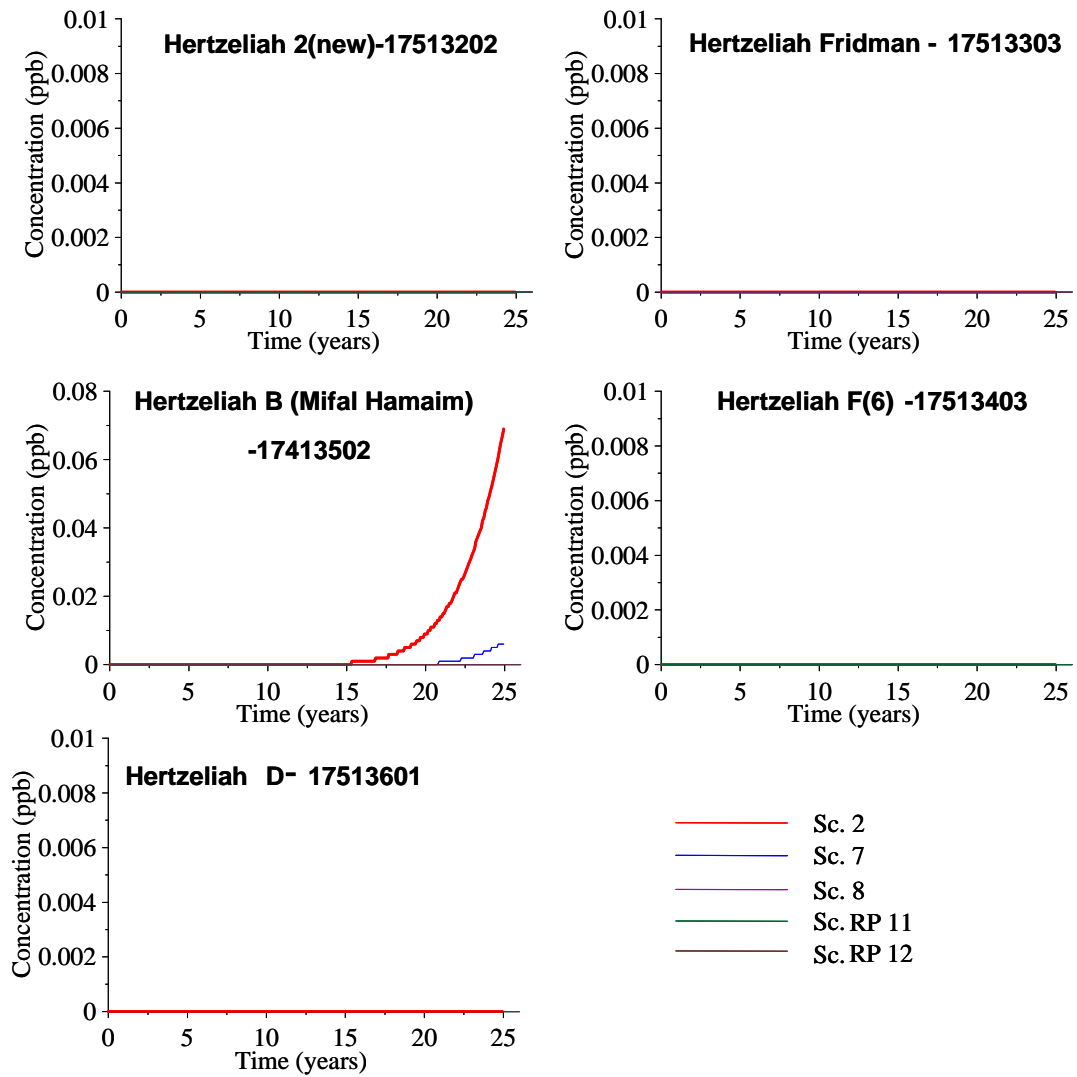
איור 6.4 מציג את הריכוזים החזויים של פרכלורט במרחב הרצלייה. ללא ספק (ובדומה למה שהתקבל עבור חלק מקידוחי צפון תל אביב) הצמדות למצב הקיים (תרחיש S2 – חלופת האפס) תוביל לכך שחזית פלומת הפרכלורט תגיע לאזור קיבוץ גליל ים ולהרצלייה (שיכון עממי) תוך חמש שנים לכל היותר ולריכוזים של מעל 10ppb תוך 10, 20 ו 25 שנה באזור שיכון עממי, גליל ים והרצלייה 5. בקידוחים אחרים כגון הרצלייה 1, 3, 5 סימני זיהום (בלבד) יגיעו תוך 7 – 10 שנים, ולאזור הרצלייה מפעל המים תוך 15 שנה בלבד. **חידוש ההפקה החלקית בחלק מקידוחי ת"א (תרחיש S7) תדחה את הופעת חזית הזיהום בחמש שנים בקרוב לכל היותר ותמתן את קצב עליית המזהמים בכ- 40%**. במצב שבו תחודש ההפקה גם בקדוחי רמה"ש על פי תרחיש S8 הופעת חזית הזיהום בקידוחי הרצלייה 3 ו 5 תהיה בעוד כ 10 - 12 שנה וקצב עליית הזיהום יהיה נמוך בכ 60% - 80% לעומת קצב העלייה הצפוי על פי חלופת אפס. הפעלת תרחיש S8 תמנע את הזיהום בקידוח הרצלייה 1, שיכון עממי וגליל ים. הפעלת הליך של שיקום גם במרכז כתם הזיהום תמנע כמעט לחלוטין את הופעת חזית הזיהום בקידוחי הרצלייה ואפילו באזור גליל ים.

Hertzlia wells



איור 6.4 חיזוי ריכוז פרכלורט במי התהום במרחב הרצליה צפון באזורים שמיוצגים ע"י קידוחים נבחרים לתרחישים S2, S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

Hertzlia wells



איור 6.4 (המשך) חיזוי ריכוז פרכלורט במי התהום במרחב הרצליה באזורים שמוצגים ע"י קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

6.2 תחזית השינוי של ריכוז הכרום במרחב רמת השרון לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

פרוס הריכוז ההתחלתי של הכרום שעוצב על פי סט הדיגום של מי התהום מ-2005 מוצג באיור 5.12 בפרק 5.3. לכרום היו שלושה מוקדי חדור וזיהום פוטנציאליים במתחם התע"ש. בשונה משאר המזהמים לגביהם הורץ המודל, אותרו כיום שני כתמי זיהום מרכזיים במי התהום. האחד בצפון המתחם והשני ממערב לו, באזור העיר רמת השרון.

6.2.1 תחזית השינוי בריכוז הכרום במתחם התע"ש

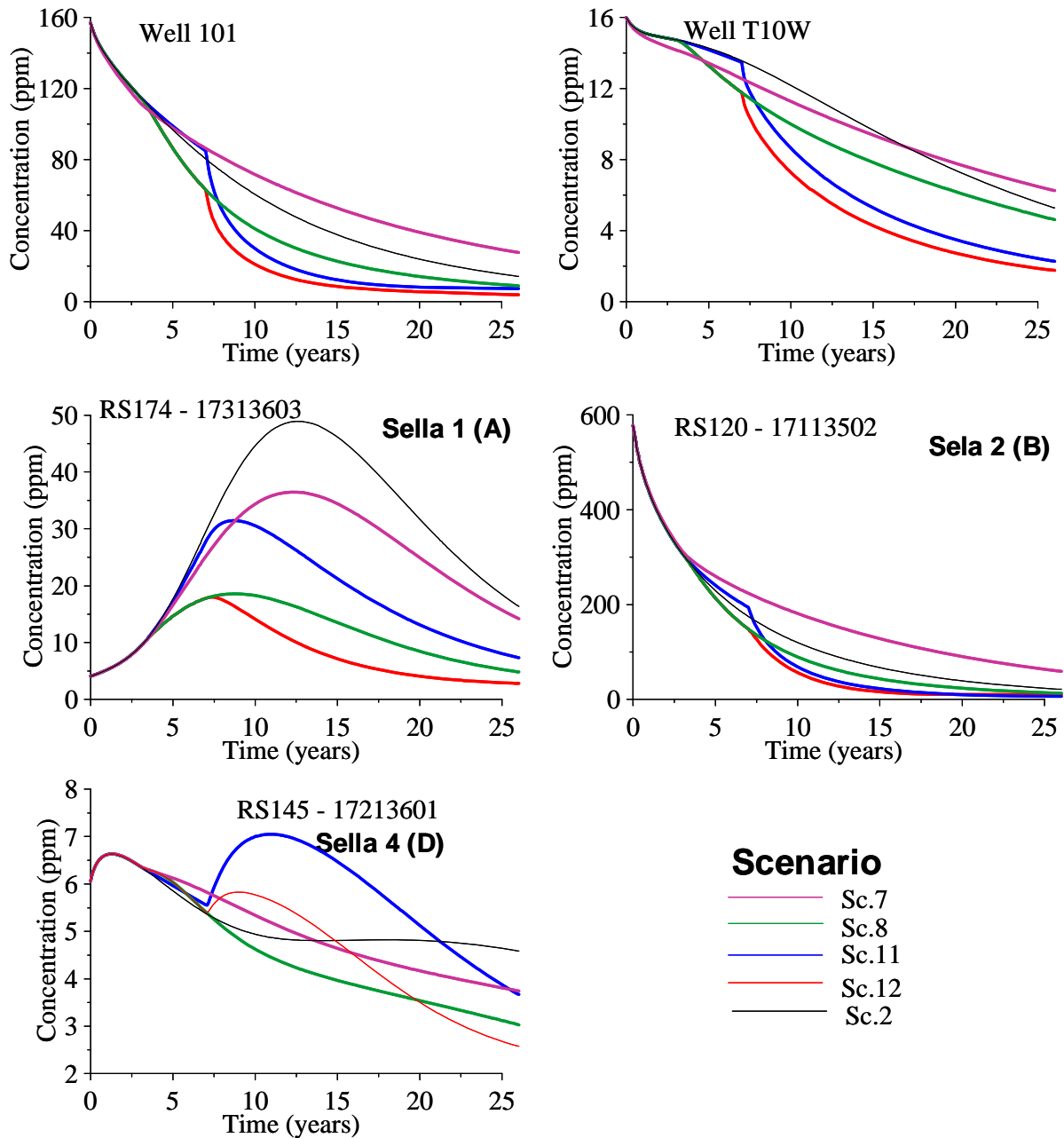
ככלל המודל צופה דעיכה מתונה של ריכוז הכרום במי התהום לכל התרחישים הנדונים באזור מלבין (T101, T10) ובאזור קידוח סלע ב' (איור 6.5). אין שינוי מהותי בין חלופת האפס (S-2) לבין התרחיש של תחילת הפקות מי התהום בקידוחי צפון תל-אביב (תרחיש S-7) ובקידוחי צפון תל-אביב ורמת השרון (תרחיש S-8). יחד עם זאת, התחלה של שאיבות הפקה לאורך מוקד הזיהום מזרזת באופן משמעותי את קצב הניקוי ומורידה את הריכוז בכ-50% כעבור 25 שנה בקידוחים הנ"ל. בקידוח סלע א', כל התרחישים משפרים את קצב הורדת רמת הזיהום ביחס לחלופת האפס. השיפור המקסימלי מושג בתרחיש S-12, כאשר מחדשים את ההפקה בקידוחי רמת השרון ותל-אביב יחד עם פעולות שיקום במוקד, שתחל ב-2012. על פי התרחיש האחרון, שאיבות במוקד עננת הזיהום ובשוליים המערביים והדרומיים ימנעו את ההסעה של מזהמים צפונה ויצמצמו את ההשתרעות הנוכחית.

6.2.2 חיזוי השתנות ריכוזי הכרום בקידוחי רמת השרון

בקידוחי רמת השרון המגמה מעורבת כתלות במקום הקידוחים ביחס לשני כתמי הזיהום ומיקומם בשדה הזרימה. בעוד שחידוש ההפקה בקידוחי תל-אביב (תרחיש S-7), מזרז את קצב דעיכת ריכוזי הכרום במרבית הקידוחים ביחס לחלופת האפס (למעט באזור רמת השרון ה' הממוקם מדרום מערב לאורך מסלול זרימה המושפע משאיבות של ת.א. צפון 2 ו 3). חידוש השאיבות בקידוחי ההפקה של רמת השרון (S-8) מעלה באופן משמעותי את ריכוז הכרום הצפוי במים המופקים בכל הקידוחים, למעט באזור רמת השרון ב' ו-ג' (איור 6.6). על פי תרחיש זה לא צפויים שינויים משמעותיים בקידוחי רמת השרון ה' ו-ז'. בקידוחי רמת השרון ד' ו-ו' המודל צופה עליה משמעותית בריכוז הכרום בעוד כ-10 שנים, אך זאת ברמת ריכוזים נמוכה של עד כ-20 מג"ל לליטר. הפעלת מערך שאיבות שיקום מארבע בארות לאורך כתם הזיהום (על פי השתרעות כתם הפרכלורט) (תרחיש S12), משפר את המגמות עם צפי לשיקום (כמעט מלא ברמת השרון ז', ומניעת הזיהום העתידי בכל שאר הקידוחים שבמרחב העיר רמת השרון).

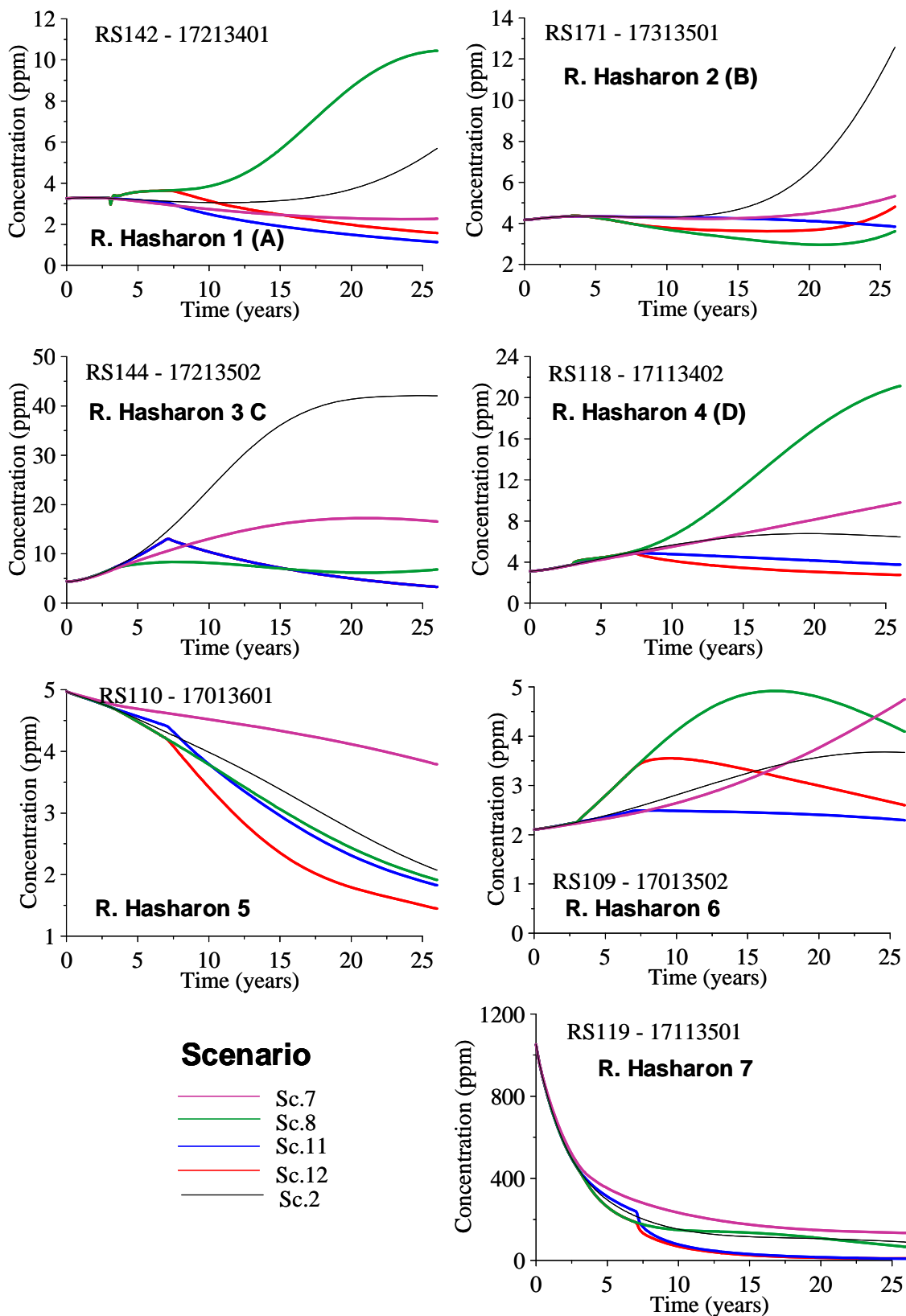
איור 6.7 ממחיש שרמות הזיהום של כרום במי התהום באזור שמדרום לתע"ש, שבו ממוקמים קידוחי ההפקה של צפון תל-אביב, הן נמוכות, ויתכן זניחות, על פי כל מגוון התרחישים. יחד עם זאת, הפעלת השאיבות, הן להפקה והן לשיקום, משנה את המגמה המסתמנת של עליה מתמדת ברמת הזיהום באזור הקידוחים של תל-אביב צפון 2, 3, ו-6, ביחס לחלופת האפס. השילוב של חידוש ההפקה והפעלת מערך שאיבות לשיקום, ימנע תוספת של כרומטים למים המופקים בכל הקידוחים שבמרחב הנידון.

Time series of simulated Chromium concentration in selected TA'AS wells



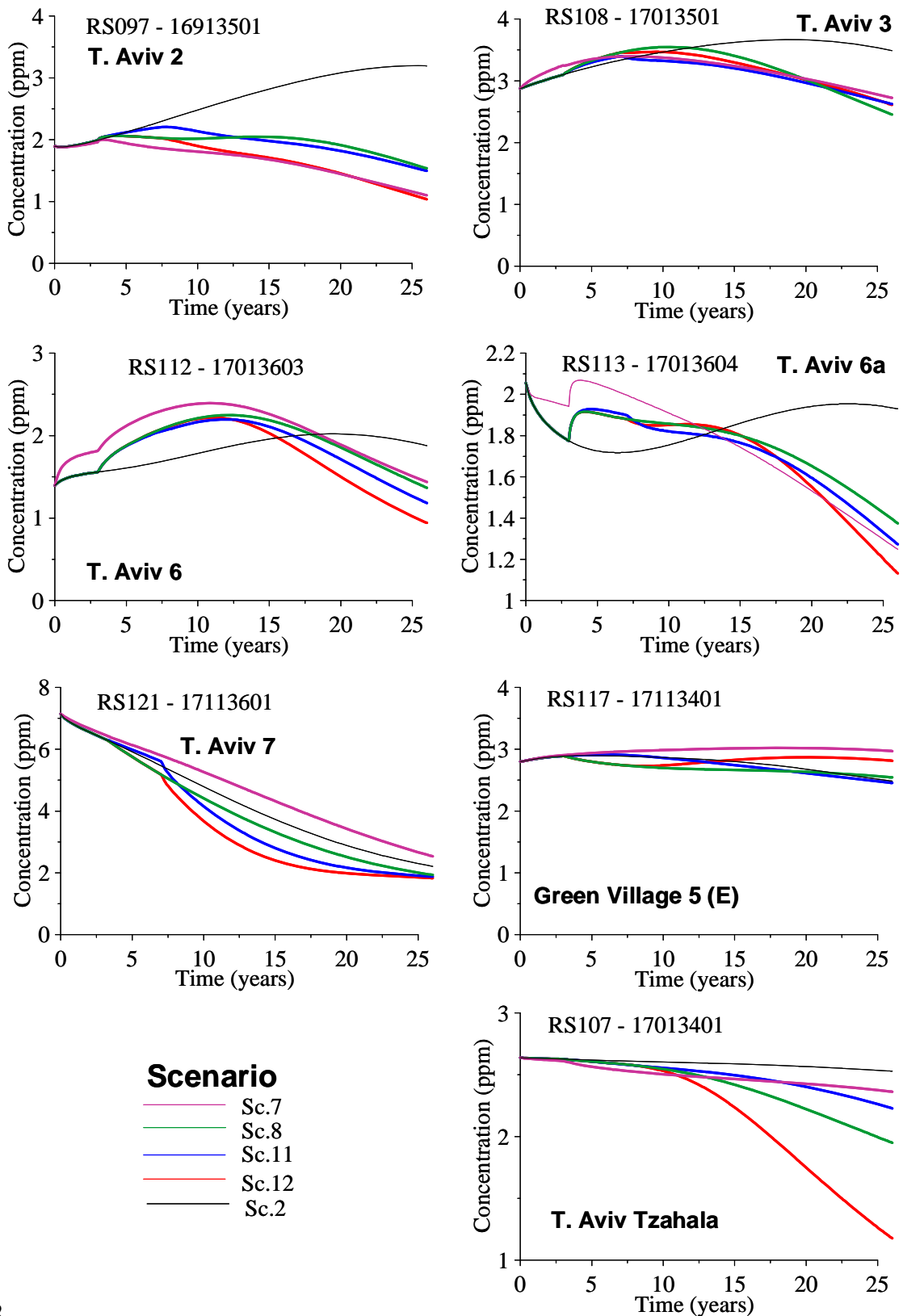
איור 6.5 חיזוי ריכוז כרום במי התהום במרחב התע"ש באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

Time series of simulated Chromium concentration in selected Ramt Ha'Sharon wells



איור 6.6 חיזוי ריכוז כרום במי התהום במרחב רמת השרון באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

Time series of simulated Chromium concentration in selected Tel Aviv wells



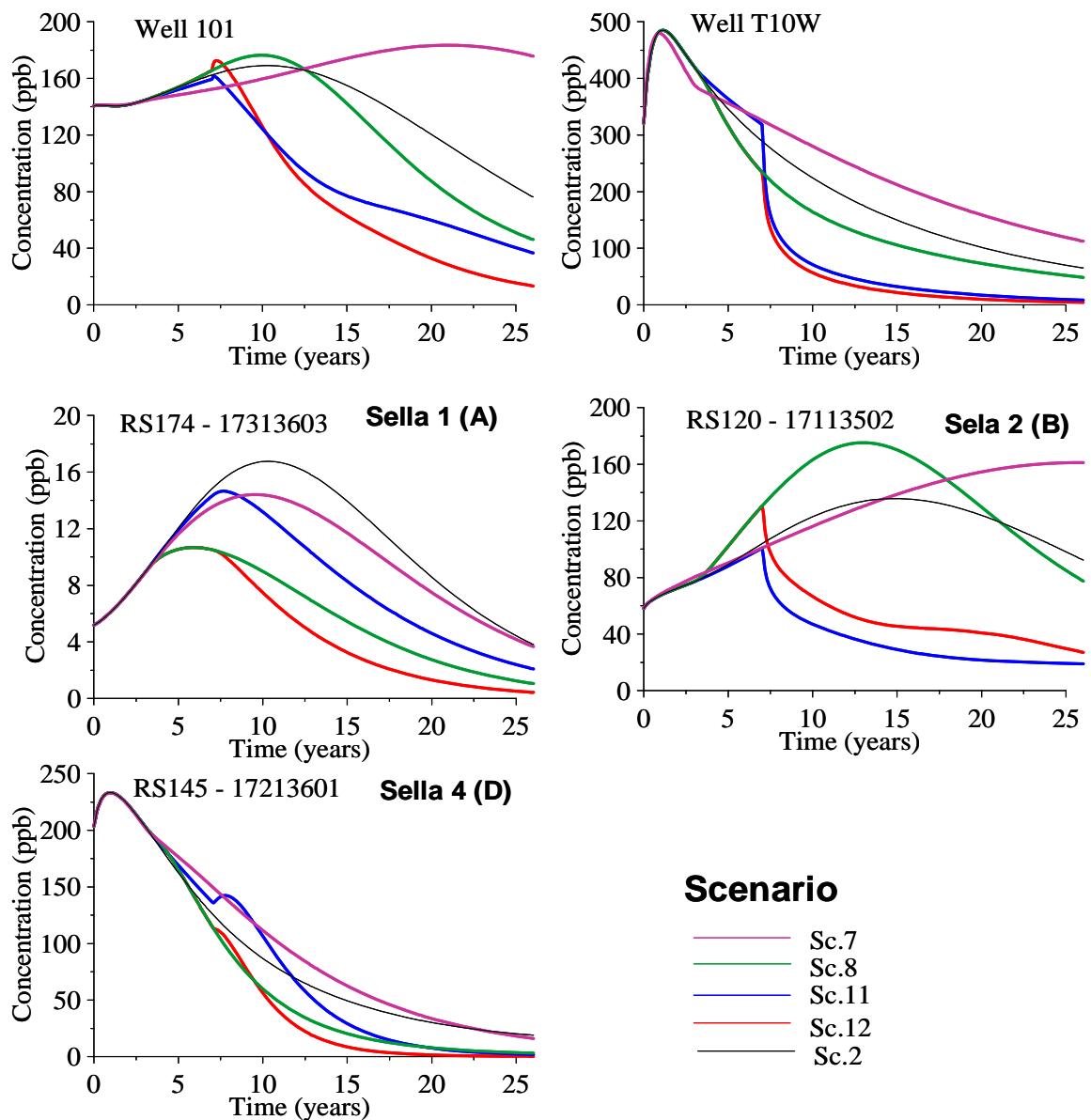
איור

6.7 חיזוי ריכוז כרום במי התהום במרחב תל אביב צפון באזורים שמיוצגים ע"י קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

6.3 תחזית השינוי של ריכוז RDX במרחב רמת השרון לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

הפרוס המרחבי של RDX של פי נתוני דיגום 2005 מוצגים באיור 5.3 בפרק 5.5. בשונה מפרוס הכרום, ובדומה לפרכלורט, חומרי הנפץ המומסים כגון RDX נדדו צפונה ומערבה עם מי התהום אל מחוץ למתחם התע"ש. ריכוזים משמעותיים של RDX נמצאו בקידוחי תצפית והפקה במרחב העיר רמת השרון ולא בקידוחי ההפקה שבצפון תל-אביב.

Time series of simulated RDX concentration in selected TA'AS wells



איור 6.8 חזוי ריכוז RDX במי התהום במרחב התע"ש שמוצגים ע"י קידוחים נבחרים לתרחישים RP12 ו RP11, S8, S7 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

6.3.1 חיזוי השתנות ריכוזי RDX בקידוחי התע"ש

שימור המצב הקיים בחינת שב ואל תעשה מראה על מגמה של עלייה זמנית בריכוז RDX למשך של כ 10-15 שנה ממערב ל"מלבין" באזור קידוח סלע ב' ואף צפונה יותר באזור קידוח סלע א'. חידוש ההפקה בקידוחי תל-אביב צפון בלבד, ללא הפקה במרחב רמת השרון, וללא שאיבות לשיקום מהמוקד המזוהם בפרכלורט וב-RDX, "מושכים" ריכוזים יחסית גבוהים של RDX דרומה ומערבה. תוך כדי כך, המודל חוזה עלייה בריכוז ה-RDX ביחס לחלופת האפס (S-2) באזור מלבין וסלע ב' (איור 6.8). חידוש ההפקה גם בחלק מקידוחי רמת השרון (תרחיש S-8) משפר את המגמה גם ביחס לחלופת האפס (S-2), למעט באזור קידוח סלע ב' שם יעלה הריכוז בכ- 1/3 יותר מאשר צפוי על פי חלופת האפס לפני שתחל דעיכה בעוד כ-12-15 שנה. הפעלת מערך של שאיבות שיקום לאורך מוקד הזיהום (על פי פרוס הפרכלורט), משנה את התמונה לחלוטין, כאשר בכל המרחב של התע"ש המודל צופה/חוזה שינוי וירידה דרסטית בריכוזים של RDX עד לשיקום כמעט מוחלט בעוד 20-25 שנה.

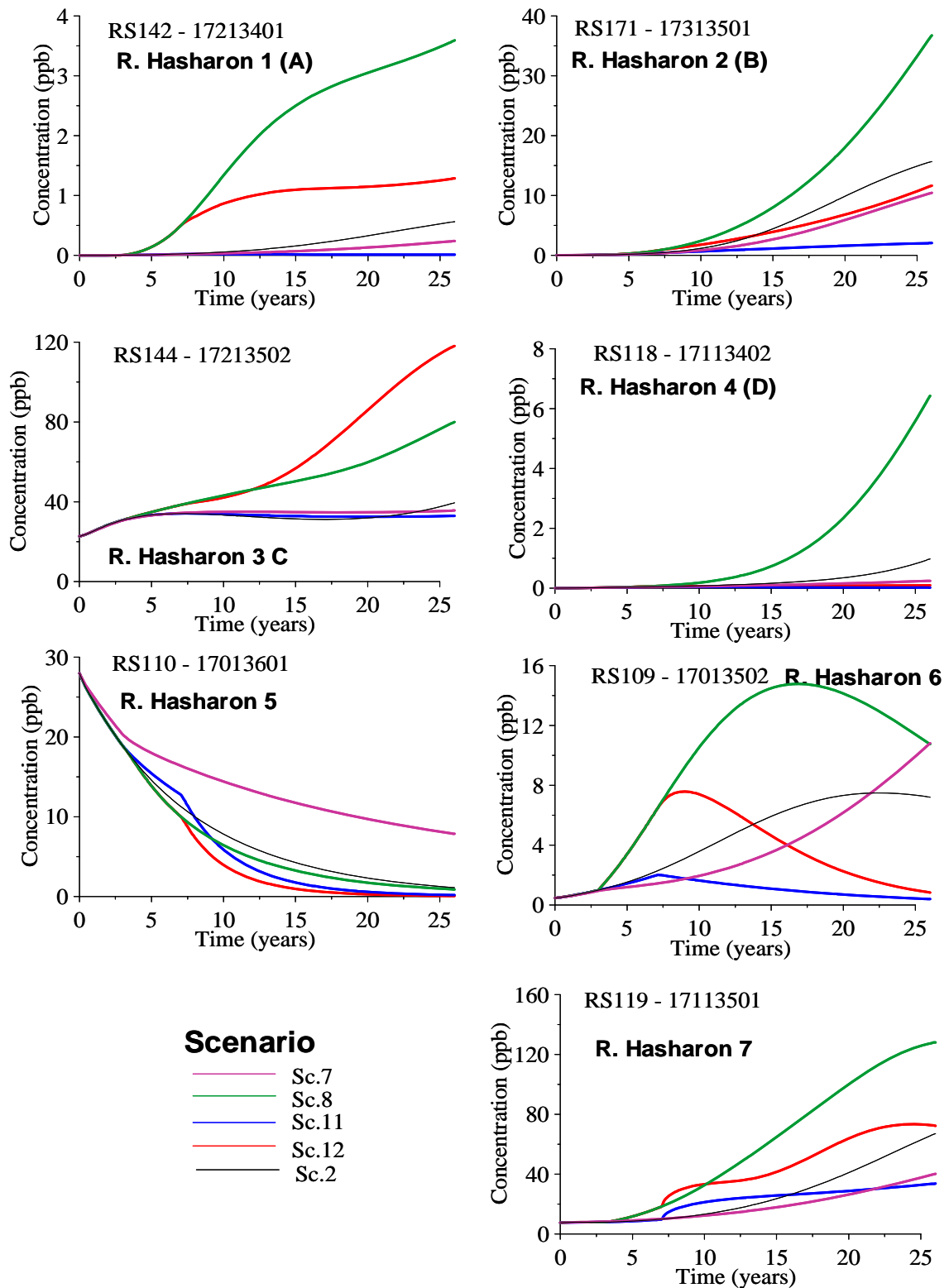
6.3.2 חיזוי פרוס RDX בקידוחי ההפקה שברמת השרון

על פי חלופת האפס (S2), ריכוז RDX ימשיך לעלות באזור רמת השרון ז' ויגיע גם לריכוזים משמעותיים באזור רמת השרון ב' בעוד כ-15-20 שנה. חידוש ההפקה בקידוחי צפון תל-אביב אינו משנה או משפר את המגמות המסתמנות עפ"י חלופת האפס במרבית הקידוחים שבמרחב, למעט בקידוח רמת השרון ה' הממוקם מצפון מזרח לשדה השאיבות של ת.א. צפון 2 ו 3, שם הריכוז של RDX צפוי לעלות (איור 6.9). חידוש ההפקה גם מקידוחי רמת השרון (תרחיש S-8), מושך מים עם ריכוזים גבוהים יחסית של RDX, מה שגורם לעלייה חדה בריכוזים בקידוחי רמת השרון המערביים. הפעלת מערך שאיבות השיקום צפוי לשנות את המגמה הנ"ל בקידוחי רמת השרון ו', ולמתן את עליית הריכוזים הצפויים בקידוחים רמת השרון א', ב', ג', ד', ו-ז'. על פי המודל, שילוב של הפקת מי תהום במרחב רמת השרון וצפון תל אביב והפעלת מערך שיקום (RP12), לא ימנע את המגמה של עליית ריכוז ה-RDX גם בתום 25 השנים הבאות באזור רמת השרון ב' ו ג'.

6.3.3 תחזית שינוי ריכוזים של RDX בקידוחי ההפקה בצפון תל-אביב

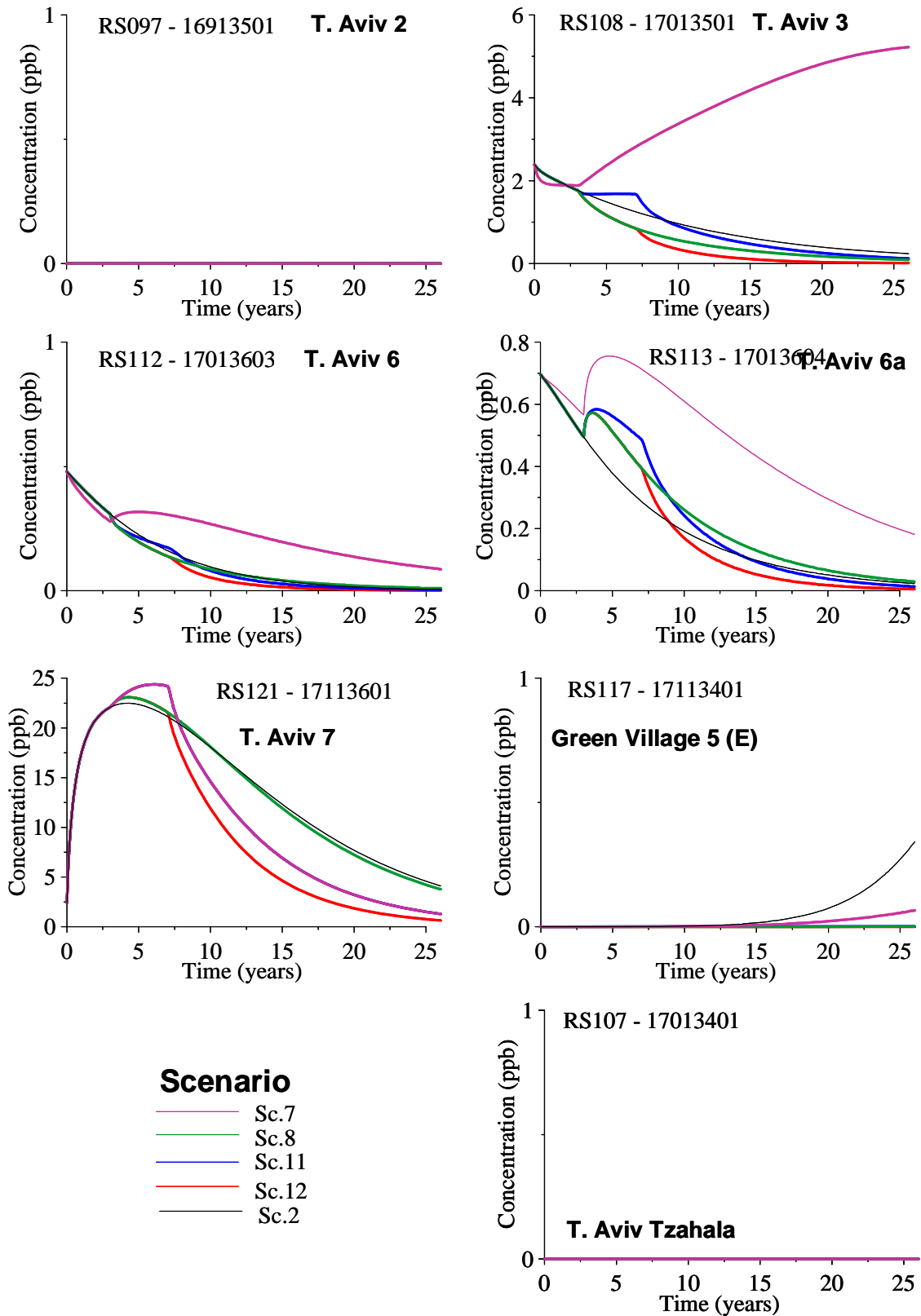
איור 6.10 מציג את ההשתנות הצפויה לאורך הזמן בריכוז כ-RDX בקידוחי ההפקה שבצפון תל-אביב. לפי חלופת האפס, ולמעט הבעייתיות שכבר הוזכרה לגבי ת.א. צפון 7, ריכוז ה RDX צפוי לדעוך למעט המגמה המסתמנת של הגעת חזית הזיהום בעוד כ 15 שנה לאזור הכפר הירוק. חידוש ההפקה מקידוחי תל-אביב צפון צפוי לשנות את המגמה בקידוח תל-אביב צפון 3 ולגרום לעלייה קלה ולא משמעותית של הריכוז (מ-2 ל-6 מיקרוגרם לליטר בלבד!). הקידוח היחיד באזור שבו על פי המודל צפוי ריכוז ה-RDX לעלות, הוא תל-אביב צפון 7. גם עליה זו היא זמנית והריכוזים יחלו לדעוך בעוד 7-8 שנים, ללא תלות באיזה מהתרחישים שנבדקו. מוקדי הזיהום הנוכחיים והפרוס המרחבי של RDX ביחס למסלולי זרימת מי התהום עלולים לזהם את הקידוחים שבמרחב תל אביב צפון על פי התרחישים הנ"ל רק בשוליים, וגם זאת לפרק זמן קצוב.

**Time series of simulated RDX concentration
in selected Ramat Ha'Sharon wells**



איור 6.9 חיזוי ריכוז RDX במי התהום במרחב רמת השרון באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

Time series of simulated RDX concentration in selected Tel Aviv wells



איור 6.10 חיזוי ריכוז RDX במי התהום במרחב תל אביב צפון באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

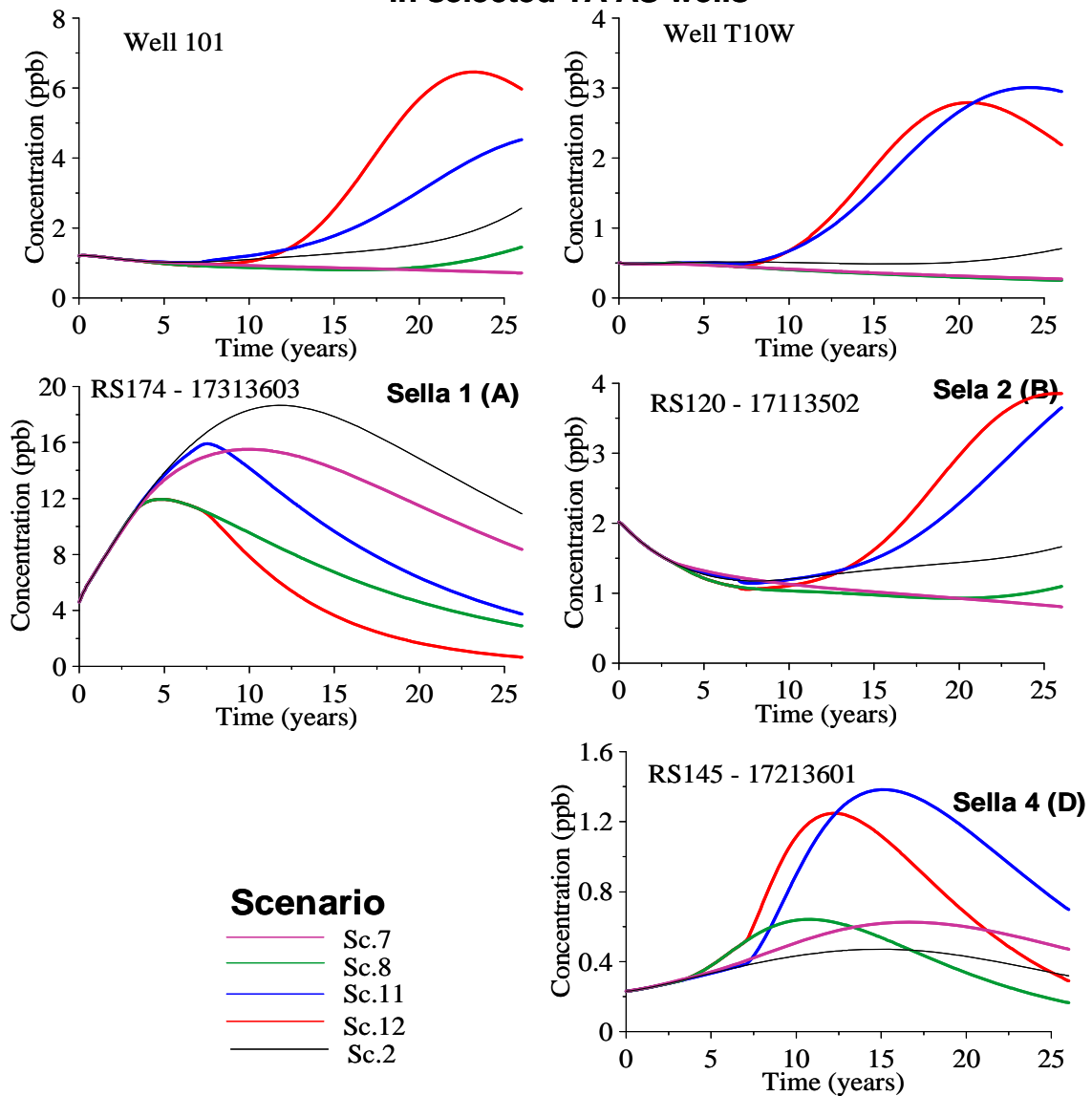
6.4 תחזית השינוי של ריכוז TCE במרחב רמת השרון לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

מיקום הקידוחים בהם נמצא ריכוז משמעותי של TCE במרחב רמת השרון, מוצג באיור 5.20 בפרק 5.4, תוך ציון הערכים המדידים בשנת 2005. הפרוס המרחבי שחושב על בסיס הנתונים הנ"ל מוצג לתת האקוויפרים העליון, התיכון והתחתון באותו פרק באיור 5.21. נכון להיום, ישנם ארבעה כתמי זיהום ב-TCE, כאשר המוקד, או הכתם המרכזי, נמצא בחלקו הצפוני-מרכזי של מתחם התע"ש ומערבית לו בצפון רמת השרון. כתם זיהום נוסף של TCE נמצא מצפון מערב באזור "צומת הסירה", וכתם גדול נוסף נמצא מזרוע מערב בצפון תל-אביב. בשלב זה לא ניתן לקבוע ששני מוקדי הזיהום האחרונים נגזרו ממוקד הזיהום שבמתחם התע"ש. הפרוס המרחבי (3D) של TCE נכון ל-2005 שימש כתנאי התחלה למודל שאמור לחזות את השתנות הפרוס המרחבי במהלך 25 השנים הבאות, תחת תרחישים ואילוצים שונים.

6.4.1 תחזית השתנות הריכוזים של TCE במי התהום במרחב התע"ש

על פי חלופת האפס (S-2) ובהמשך למצב הקיים, המודל חוזה המשך התפשטות של עננת הזיהום צפונה עם עלייה משמעותית בריכוז TCE באזור קידוח סלע א' וללא שינוי מהותי בריכוז של TCE בשאר קידוחי התע"ש. חידוש הפקת מי התהום בצפון תל-אביב (S-7) ואף חידוש ההפקה בחלק מקידוחי רמת השרון (S-8) לא משנים את הצפי ביחס לחלופת האפס באזור "מלבין" (איור 6.11), ואף לא באזור קידוח סלע ב' ובסלע ד', בהם רמת ה-TCE נמוכה ממילא. הפעלת מערך שאיבות לשיקום בתוך מתחם התע"ש (חלופות 12, RP11) גורמות למשיכת TCE מהכתם הצפוני מערבי אל קידוחי השאיבה בתחום התע"ש, תוך יצירת מגמה של עליה בריכוזים, אם כי עדיין ברמת מאוד נמוכות שלא יעלו על 4ppb ו 7 ppb באזור "מלבין"-סלע ב' וממערב ל"מלבין" (T101), בהתאמה. בכל שאר החלופות המודל חוזה שיפור ניכר שבא לידי ביטוי בהורדת הריכוז הצפוי וזירוז קצב השיקום באזור סלע א'.

Time series of simulated TCE concentration in selected TA'AS wells



איור 6.11 חיזוי ריכוז TCE במי התהום במרחב התע"ש שמיוצגים ע"י קידוחים נבחרים לתרחיש RP12 ו RP11, S8, S7 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

6.4.2 תחזית השינוי בריכוז TCE במרחב רמת השרון

על פי חלופת האפס (S-2) ובהמשך למצב הקיים של הפקת מי תהום בצפון תל אביב, המודל חוזה המשך עלייה בריכוז של TCE באזור קידוח רמת השרון ה'. מגמות של עלייה בריכוז של TCE בריכוזים מאוד נמוכים מתקבלות גם באזור הקידוחים רמת השרון ד' ו ו'. לחידוש ההפקה של מי התהום בקידוחי תל-אביב צפון בלי שאיבות לשיקום (תרחיש S-7) ועם שאיבות לשיקום שיחלו ב-2012 (תרחיש RP 11), אין השפעה מכרעת על קצב שינוי הריכוזים לעומת חלופת האפס באזור הקידוחים רמת השרון א', ב', ג' ו-ו'. רק באזור קידוח רמת השרון ד' ו-ה' חידוש ההפקה בקידוחי תל-אביב אמורה

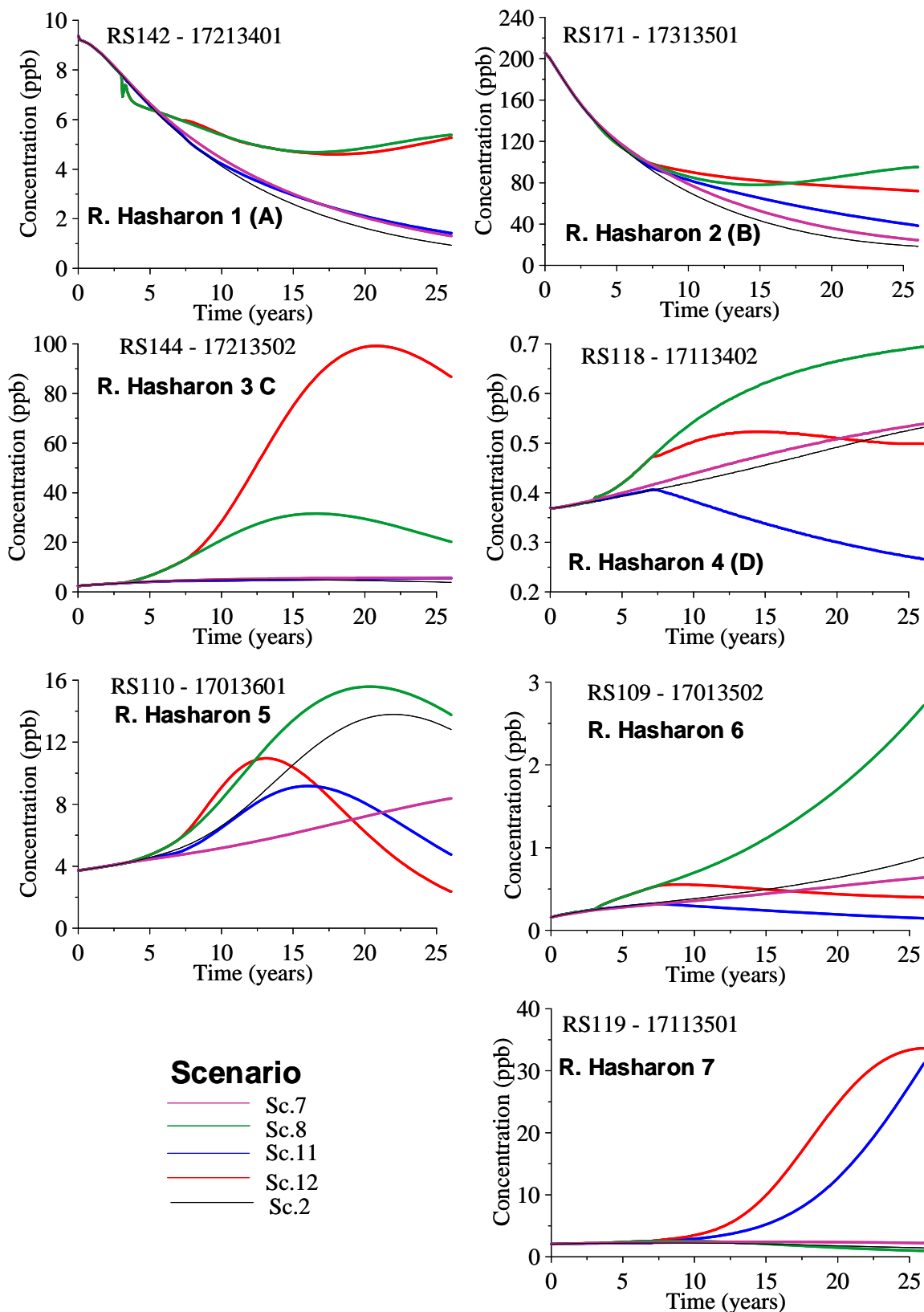
להאיץ את ירידת ריכוזי ה-TCE לעומת חלופת האפס (איור 6.12). עם חידוש ההפקה, יחד עם שאיבות לשיקום גם מקידוחי ההפקה שברמת השרון, המודל צופה עלייה דרסטית בריכוז TCE בכל המרחב, ובמיוחד באזור רמת השרון ז', שהוא אחד מארבעת קידוחי ההפקה שיועדו על פי תרחיש זה לשיקום. בקידוח זה, הריכוזים יעלו באופן ניכר והשיקום באזור זה מבחינת ה-TCE על פי תוצאות המודל לא יסתיים במהלך עשרים וחמש שנה של שאיבות לשיקום.

6.4.3 תחזית השינוי בריכוז TCE באזור קידוחי ההפקה של תל-אביב צפון

המודל צופה שבמידה וימשך המצב הקיים (חלופת האפס - S2), TCE צפוי להגיע לאזור שבו ממקום ת.א. צפון 7 ואף לאזור ת.א. צפון 3, **כל זאת עם כל ההסתברויות שכבר נאמרו לגבי יציגות הערכים המוחלטים שהתקבלו מהמודל לאזורים אלו.** לחידוש ההפקה של מי התהום בקידוחי תל-אביב צפון, עם ובלי הפקה מקבילה בחלק מקידוחי רמת השרון, לא תהיה השפעה מתקנת או מחמירה, ביחס לחלופת האפס על תחזית שינוי הריכוז של TCE בקידוחים תל-אביב צפון 2, 3 ובאזור הקידוח של צהלה (איור 6.13). הערכות אלו תופסות לגבי חלקו העליון והתיכון של האקוויפר משם נשאבים כיום עיקר המים. בכל החלופות, עם ובלי שאיבות לשיקום במוקד הזיהום, המודל חוזה שהזיהום בחלקו העמוק יותר של האקוויפר, למשל באזור קידוח תל-אביב צפון 7, ימנע כמעט לחלוטין ביחס לחלופת האפס.

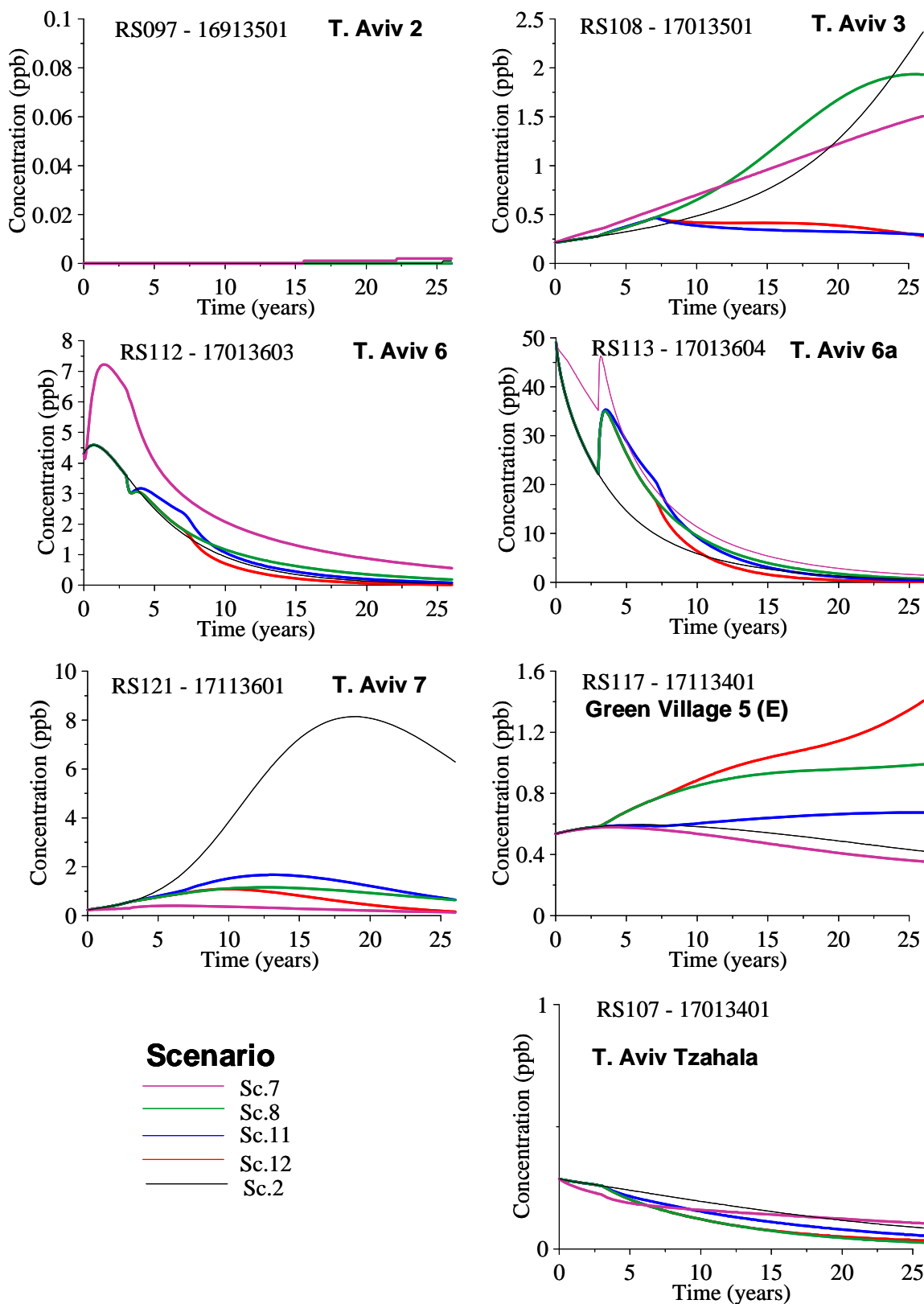
על פי המודל המשך שאיבת מי תהום משדה הקידוחים של אזור צפון תל אביב (תרחיש S 7), יגרור, מטבע הדברים, עליה קלה בריכוזים של TCE באזור. המודל מראה שחידוש שאיבת מי תהום ואתחול השיקום ב-2012, תוך שאיבה מהמוקד המזוהם (על פי פרכלורט!), יגרום **למגמה** של עליה בריכוז המזהמים באזור הכפר הירוק, אך ברמת זיהום נמוכות וזניחות לחלוטין הנמוכים בהרבה מהריכוז המותר עלפי התקן למי שתיה מלבד קידוחי רמת השרון ב' ו-ג'.

Time series of simulated TCE concentration in selected Ramat Ha'Sharon wells



איור 6.12 חיזוי ריכוז TCE במי התהום במרחב רמת השרון שמיוצגים באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

Time series of simulated TCE concentration in selected Tel Aviv wells

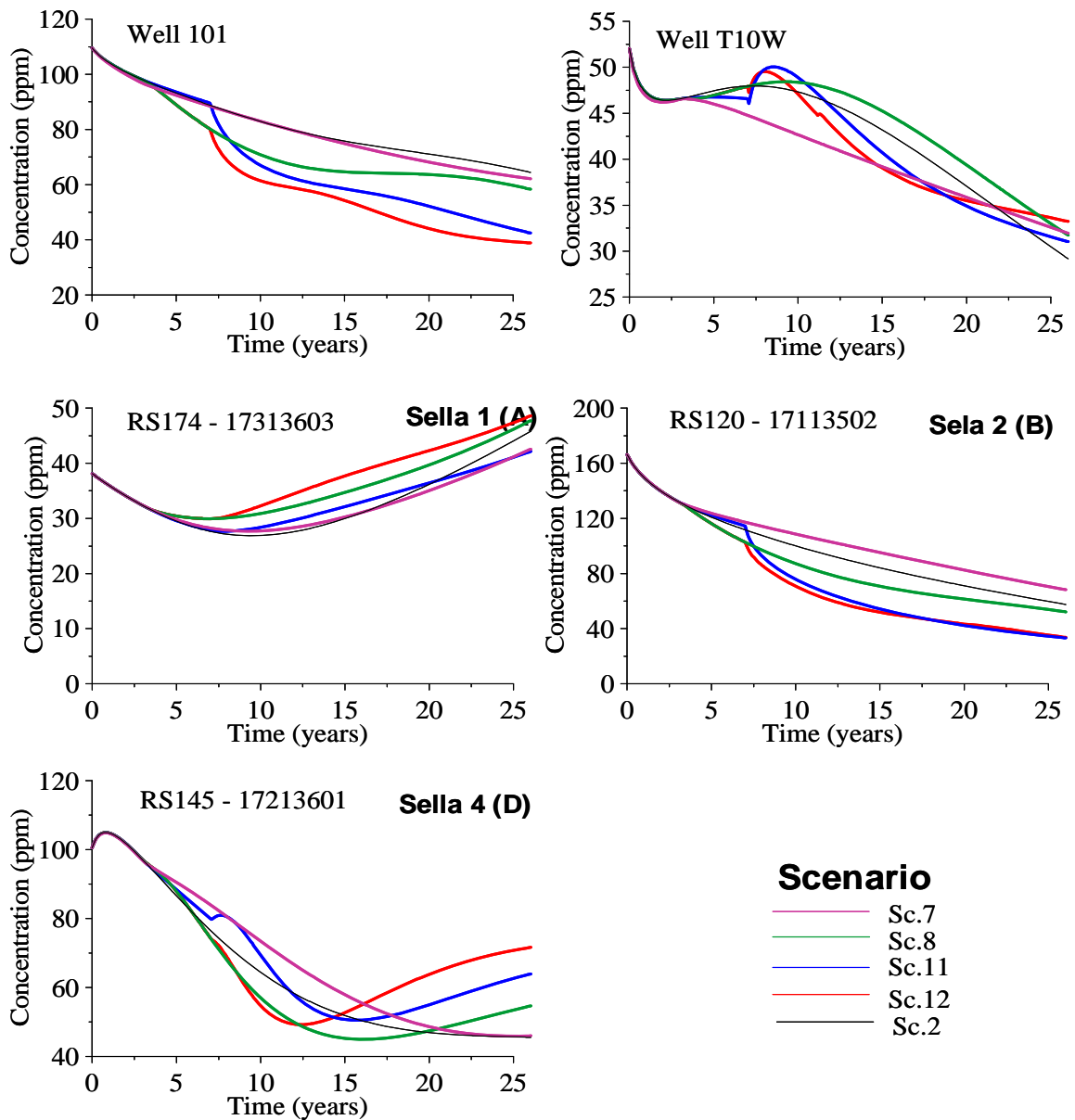


איור 6.13 חיזוי ריכוז TCE במי התהום במרחב תל אביב צפון באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

6.5 תחזית השינוי של ריכוז ניטרט במרחב רמת השרון לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

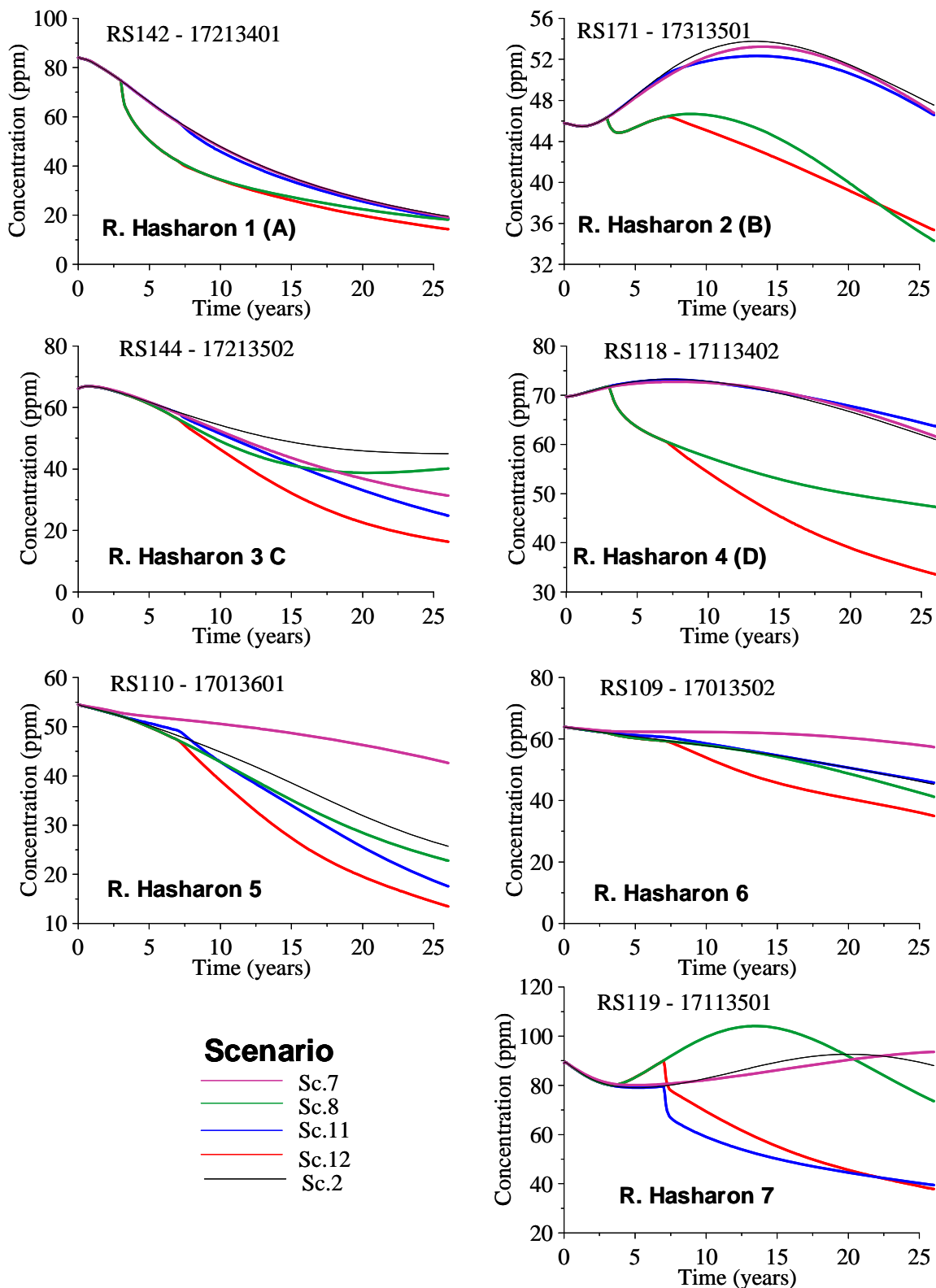
תחזית ההשתנות המרחבית עם בזמן של ריכוזי הניטרט מבוססת על מודל ההסעה על בסיס המצב הקיים ביחס לניטרט כפי שנרשם בדיגום 2005. מחוסר במידע כמותי מהימן על שיעור שטף הניטרט מהחתך הלא רווי אל מי התהום בעיקר כנגזרות של חומרי דישון, המודל איננו כולל מקורות פעילים מתוך החתך הלא רווי, כמו גם לא הפחתה בגין פרוק. לאור זאת, להערכתנו, התוצאות ביחס לניטרט (שלא כמו ביחס ל-RDX ואפילו ביחס ל-TCE) מייצגות תחזית מצב "מינימליסטי". במילים אחרות, יתכן מאוד והתחזית שלנו מציגה ריכוזים נמוכים ממה שחופן העתיד, אם כי קצב השינוי המרחבי והמגמות המסתמנות הם מבוססים כתלות במגבלות המודל. לחיזוי הריכוזים של TCE במרחב רמת השרון חשיבות מיוחדת לאור העובדה שבכל שיטה לטיפול וסילוק של פרכלורט המשולבת בפעילות מיקרוביולוגית, נוכחות של ניטרט בתמהיל המומסים והמזהמים הינה גורם מעכב.

Time series of simulated Nitrate concentration in selected TA'AS wells



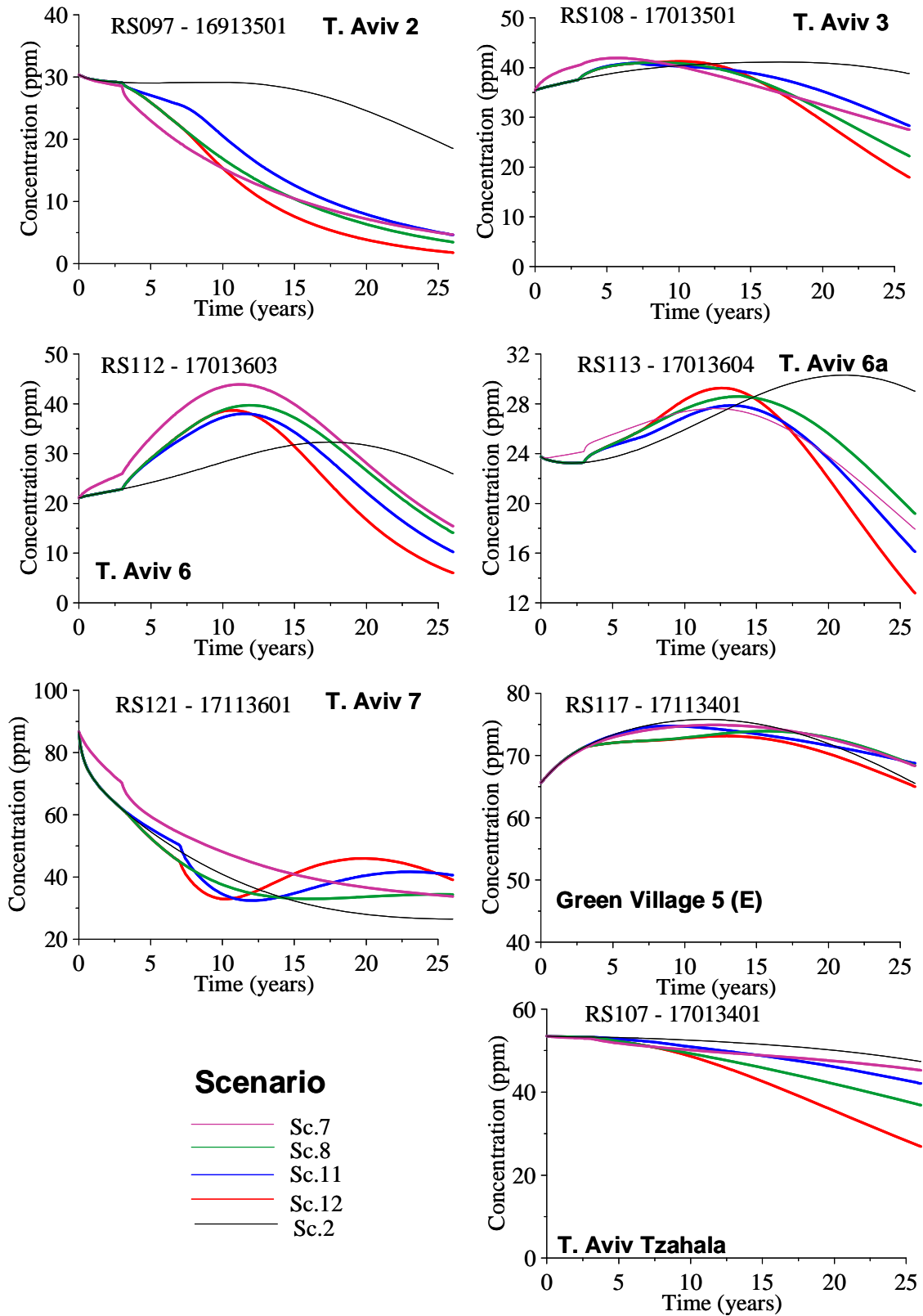
איור 6.14 חיזוי ריכוז ניטרט במי התהום במרחב התע"ש שמיוצגים באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

Time series of simulated Nitrate concentration in selected Ramat Ha'Sharon wells



איור 6.15 חיזוי ריכוז ניטרט במי התהום במרחב רמת השרון באזורים שבקרבת מספר קידוחים נבחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

Time series of simulated Nitrate concentration in selected Tel Aviv wells



איור 6.16 חיזוי ריכוז ניטרט במי התהום במרחב תל אביב צפון באזורים שבקרבת מספר קידוחים
בחרים לתרחישים S7, S8, RP11 ו RP12 ביחס לחלופת האפס (תרחיש S2).

כאמור, ניתוח קצב השינוי בזמן של הניטרט במרחב רמת השרון נועד בראש וראשונה לאפשר את אומדן היכולת לפרוק המיקרוביאלי של פרכלורט. נמצא שיכולת הפרוק המיקרוביאלי של פרכלורט תלויה בין השאר בנוכחות של ניטרט. נוכחות ניטרט בחתך הקרקע והן במי התהום הינה גורם שמעכב את קצב הפרוק של פרכלורט כאשר הניטרט מעודף ע"י אוכלוסיות החיידקים שהתפתחו במרחב המזוהם בפרכלורט. להערכתנו, הערכים המחושבים של ניטרט במרחב רמת השרון על פי תוצאות מודל ההסעה הם נמוכים ממה שצפוי במציאות. זאת לאור ההנחה שהתשטיפים מחתך הקרקע אל מי התהום כתוצאה מחילחול והעשרה ממי גשם ממשיכים לזהם את האקוויפר (בין השאר) בניטרטים ממקורות חקלאיים (בעיקר). תוצאות המודל לגבי פרוס הניטרטים במרחב ובזמן צריכות להילקח כערכי מינימום בתחשיבים ובהערכות לגבי התרחישים השונים לשיקום האקוויפר וחתך הקרקע ביחס לפרכלורט.

על פי המשך המצב הקיים הניטרט במתחם התע"ש ניטרט ימשיך וידעך אך יישאר ברמות ריכוז של בין 50 ל 80 מג"ל גם בעוד 25 שנה ויותר (איור 6.14). באזור סלע א' ריכוז הניטרט צפוי לעלות וכעבור כ 10 שנים גם בסלע ד' במרבית התרחישים לאותם רמות של זיהום. הפעלת מערך השאיבות במרחב רמת השרון יחד עם זה של צפון תל אביב מגביר את קצב השיקום ביחס לניטרט באזור "מלבין" וסלע ב'. לעומת זאת המודל חוזה עלייה בריכוזים בסדר גודל של כ 10 מג"ל באזור סלע א' ואפילו שינוי במגמה עם עלייה של עד 20 מג"ל באזור סלע ד'.

איור 6.15 מציג את המגמות החזויות של ריכוזי הניטרט באזור רמת השרון. על פי המשך המצב הקיים ריכוזי הניטרט צפויים לעלות לתקופה של כ 10 שנים באזור רמת השרון ב' ו ז'. בכל שאר האזורים המודל חוזה ירידה בריכוזים בקצבים משתנים בכל מרחב רמת השרון. חזרה להפקה וטיפול במי האקוויפר לפי התרחישים המשלבים שאיבות במוקד ובשולי עננת המזהמים (RP 11 ו RP12) מורידים ומגבירים את קצבי השיקום תוך הורדה של ריכוזי הניטרט מתחת ל 40 מג"ל תוך 25 שנה בכל מרחב רמת השרון.

איור 6.16 מציג את המגמות החזויות של ריכוזי הניטרט באזור שמדרום לרמת השרון באזורי ההפקה של צפון תל אביב. על פי המשך המצב הקיים ריכוזי הניטרט צפויים לעלות בכ-10 מג"ל (לפחות לפרק זמן קצוב של כ 10-15 שנה) במהלך 25 השנים הבאות באזור ת.א. צפון 6 ובאזור הכפר הירוק, ועליה קלה גם באזור ת.א. צפון 3. בכל שאר המרחב המודל צופה ירידה משמעותית באזור ת.א. צפון 7 וירידה קלה גם באזור צהלה. החזרה להפקת מי תהום, עם שאיבות מתוך כתם הזיהום ימשכו ניטרטים מערבה ודרומה לאזור קידוחי צפון תל אביב ויגרמו לעליה זמנית בריכוז הניטרט באזור הקידוחים ת.א. 6 ו 7. בכל שאר המרחב, חידוש ההפקה של מי התהום במוקד ובשולי עננת הזיהום (על פי פרוס הפרכלורט) יגרום לירידה משמעותית בריכוזים לרמות נמוכות מ 20 מג"ל. **כאמור, לגבי הניטרט תוצאות המודל מצבעות יותר על מגמות מאשר על ערכים מוחלטים.**

בחירת תרחישים לשיקום

על פי דו"ח זה, העדפה לביצוע של מי ממגוון התרחישים שנבחנו על ידי המודל ההידרולוגי ובחירת התרחיש ההידרולוגי המועדף צריכה להיעשות במקביל לבחינת מגוון חלופות של אילוצים שחלקם אינם אילוצים הידרולוגיים. מתוכם נדגיש את (1) קביעת יעוד המים המטופלים יחד עם יעד הריכוז המקסימלי של כל אחד מהמזהמים שאותרו במי התהום במרחב רמת השרון; (2) השבה לאיכות מי שתייה כנגד השבה לצרכי סביבה וטבע (הזרמה חלופית לנחל הירקון) ומים לחקלאות; (3) זמינות ו/או סלילת קווי הולכה יעודים למים המטופלים ליעדים השונים; (4) תכנון ולוחות זמנים; ו (5) התאמת בחירת החלופות המועדפות ביחס למודל של עלות מול תועלת ביחס למקורות מים חלופיים.

יחד עם זאת, עד כה נבחנו למעלה מ-22 תרחישים וחלופות שגובשו יחד עם ועדת היגוי מקצועית. האילוץ המיידי הוא למנוע המשך גלישת הזיהום למורד ע"י יצירת חיץ הידרולוגי ולמנוע זיהום ודאי של חלק מקידוחי ההפקה באזור הרצלייה וצפון תל אביב. החלופות שמסתמנות כיום כראויות לבחינה יותר מעמיקה על פי מגוון אילוצים וקריטריונים הנוגעים ליכולת הפקה של מי תהום והיכולת לתכנן ולהקים מתקני טיפול במזהמים הם RP3 ו-R12. על פי חלופה RP3 השיקום יעשה על יד שאיבה מסיבית של 400 מטרים מעוקבים לשעה לצורך טיפול והשבה מ-4 בארות הפקה שפזורות לאורך ציר מוקד הזיהום (באזור הקידוחים: רמת השרון ז', סלע ב', T101 ו-T10). על פי חלופה R12, כדי למנוע את המשך הפיזור של כתם הזיהום במורד, מחדשים בהקדם את הפקת מי התהום מקידוחי הפקה קיימים בשולי מוקד הזיהום שם הריכוזים היום (ואלו הצפויים בגין חידוש השאיבות) מתאימים למערכות (ריאקטורים) המבוססים על טכנולוגיות מוכחות. במקביל, מוצע להתחיל בתכנון והקמה של מערכת ניסיונית (פיילוט) לטיפול בפכרלורט ובכל שאר מגוון המזהמים הנלווים במוקד כתם הזיהום (כמוגדר ע"י הפרוס המרחבי של הפכרלורט) שיוביל לתכנון והקמה של מערך טיפול מסיבי במוקד וליצירת מרכז, כליאה וסילוק של מקסימום מסת המזהמים מתוך האקוויפר. השאיבות בשולי כתם הזיהום תחלנה מיד, ואילו הטיפול במי התהום המזוהמים שבמוקד יחל רק ב-2012 לאחר תכנון והקמת מודל ניסיוני ובעקבותיו מערך שאיבה מסיבי ומקיף לטיפול במזהמים בדומה לתרחיש RP3.

חלופה R12 מוצעת כחלופה מועדפת לבחינה לשם ביצוע מיידי. זאת מאחר שהפקה של מי תהום מקידוחי הפקה קיימים בשולי כתם הזיהום, תימנע (כך על פי תוצאות המודל) את המשך ההסעה של מזהמים לעבר קידוחים המפיקים עדיין מים שפירים באזור גליל ים, הרצלייה ולקידוחי הפקה בצפון תל אביב. ראוי לא להמתין לתכנון ולהקמה של מתקן לטיפול במוקד כתם הזיהום ולהתחיל בהקדם האפשרי בהפקת מי תהום משולי הכתם, שם ריכוזי הזיהום מתאימים למערכות המבוססות על טכנולוגיות קיימות. במקביל להתחיל בתכנון מתקן פיילוט ובחינתו בתנאי שדה כמודל לבדיקת היתכנות של מתקן הטיפול העתידי לאפשרות יישומן המיידי של חלופות אלו כפתרון לזיהום מי התהום במרכז רמת השרון.