

# תנאי אי ודאות ובעיות עקרוניות בחקירה גיאולוגית מקדימה בתכנון מנהרות - תוואי מסילת הברזל בגליל מזרחי כמקרה מבחן

ד"ר רם בן-דוד, אודי קודינגטון, גיאולוג



מנהרת כביש 16 - הכניסה החדשה לירושלים: התמודדות כריית מנהרה עם קארסט ומים

החוצים את תוואי המנהור. זאת על מנת לבחון באופן בלתי אמצעי את סוג המסלע והתכונות הגיאוטכניות שלו.

ביצוע קידוחים עמוקים בשלב בחירת החלופות אינו מהלך ריאלי, שכן על מנת שתקבל תמונה טובה של החתך הגיאולוגי בתת הקרקע, נדרש לבצע כמות גדולה של קידוחים. תכנונם ועלותם של קידוחים אינו מאפשר לבצעם בשלב ההתכנות של הפרויקט.

בתכנון פרויקטים מורכבים של מנהרות, כדוגמת מנהרות ארוכות למסילות ברזל או כל תשתית אחרת, תת הקרקע מהווה נעלם גדול. למרות זאת, הבעיות שעלולות לנבוע מביצוע פרויקטים מעין אלו, אינן נמצאות בראש סדרי העדיפויות של המתכננים. התכנות הפרויקט, השימוש בו לאורך זמן לטובת הציבור, משמעויותיו הסביבתיות ועוד, נמצאים בראש סדר העדיפויות התכנוניות.

מאמר זה מבקש על כן, לבחון כיצד ניתן לסייע בקבלת החלטות בתכנון מנהרות בשלב בחינת החלופות, כשקיימת אי-ודאות גדולה לגבי התוואי התת קרקעי בו יתבצע הפרויקט. לשם דוגמה נביא את חלקנו בבחינת חלופות המנהרות בפרויקט מסילת הברזל בגליל המזרחי<sup>1</sup>.

## 1. פרויקט מסילת הברזל בגליל המזרחי (איור 1)

בחינת חלופות התכנון – חברת נתיבי ישראל (נת"י) קיבלה על עצמה לתכנון תוואי מסילת ברזל המחבר בין מסילת העמק לאזור כרמיאל. מסגרת התכנון כוללת מסילה לרכבת כבדה ומשאיות שתחבר בין אזור עמק יזרעאל (עפולה או כפר יהושע, דרך אזור צומת גולני, לכיוון פוריה ולאזור שיתחבר עם המסילה שבעמק בית הכרם (מזרחית לכרמיאל). בשל הטופוגרפיה החדה ומגבלות בתנועת הרכבות, יידרשו בכל החלופות עשרות ק"מ מנהור שחלקן מגיע לכ- 15-20 ק"מ.

## 2. השאלות שנדרשנו לבחון על כן, מבקשות לבדוק מהם הנתונים שיש בנמצא המאפשרים לנתח את מצב תת הקרקע בהיבט הגיאולוגי והגיאוטכני ולסייע בקבלת החלטות בשלב התכנון.

• אחד מהכלים העיקריים הנדרשים לצורך ניתוח נכון של תת הקרקע הוא קידוחי ניסיון עמוקים

1 יזם: נתיבי ישראל (נת"י), ניהול פרויקט: א. ספיבק, תכנון מנהור: מילר בלום

לפיכך, המפה הגיאולוגית הבסיסית הינה כלי חשוב ביותר לניתוח תת הקרקע בתנאי אי ודאות. עם זאת, יש להביא בחשבון שאף שרמת הפירוט במפות אלו היא גבוהה למדי, המידע המתקבל בהן בקנ"מ 1:50,000 אינו מספיק לתכנון.

ב. מפות טופוגרפיות – מפורטות ככל האפשר (מפות DTM) הינן כלי חשוב בניתוח הגיאולוגי שכן ניתן להעלות את המודל הגיאולוגי שנגזר מהמפות הגיאולוגיות, למפות טופוגרפיות ברמת דיוק גבוהה. למשל, באמצעות מפות אלו ניתן לבצע חישוב העובי המדויק המצטבר מעל גג המנהרה, דבר המאפשר למתכנן לחשב את העומסים הצפויים לאורך קירות המנהרות.

ג. מידע גיאואידרולוגי – חשיבות גדולה קיימת להבנה טובה ככל האפשר של המצאות מים בתת הקרקע, בין אם התוואי יחצה את האקוויפר העיקרי, ובין אם חציית מפלסי מים כלואים. מים עשויים לגרום ללחצים הידרוסטטיים על מבנה המנהרה באופן העלול לגרום לסכנה בטיחותית גדולה, כמו גם להגדלת עלויות ניכרת בשלב הביצוע. מקורות מידע מסוג זה נמצאים בארכיוני רשות המים, המכון הגיאולוגי ובחברות/תאגידי מים.

ד. מפות נוספות מתוך מאגרי המכון הגיאולוגי העשויים לשפר מאוד את התוצר המסייע לדוח הגיאולוגי המלווה את החלופות השונות –

- מפת העתקים החשודים כפעילים או העתקים פעילים (מפות המלוות את ת"413): מאפשרות להביא בחשבון העתקים החוצים את תוואי המנהרות העשויים לפעול בעת רעידת אדמה חזקה.
  - מפות תאוצות קרקע: מסייעות לבחון מהן תאוצות הקרקע העקרוניות שהמנהרות עשויות לספוג בעת רעידה חזקה, בכפוף לתנאים המיוחדים בתת הקרקע.
  - מפת יציבות מדרונות: מפות אלו, במשולב עם המפות הקודמות, מסייעות בבחינת הפורטלים של המנהרות שכן הן עשויות לחזות במידה רבה סכנות גלישות במעברים הרגישים מתת הקרקע לפני השטח.
- ה. שימוש בדוחות גיאוטכניים מאזורים סמוכים במידת האפשר בקונטקסט של מנהור: המקור לדוחות מסוג זה ייתכנו בעיקר מארכיון נת"י ומשרד השיכון והבינוי. בדרך כלל המידע מדוחות אלו מוגבל כאשר פרויקט המנהור מתוכנן בעומק החתך הגיאולוגי.
- ו. תצלומי אוויר וסיור בשטח על מנת לאשרר המידע העולה מהמפות השונות: הינם כלים בעלי חשיבות גדולה להכרת החתך הגיאולוגי כפי שהוא קיים בפועל בשטח, בלייה שפעלה על הסלעים, אזורי העתקים, מערכות הניקוז המקומיות וכיו"ב. השלכת מידע זה לתת הקרקע עשוי לשפר את תמונת תת הקרקע.
- ז. חתכים גיאופיסיים מארכיוני המכון הגיאופיסי במשולב עם מידע מקידוחים עמוקים ישמשו לקביעת "עוגנים" להשלכה הסטרטיגרפית לתת הקרקע.

**4. דוגמאות לתנאים הגיאולוגיים שלא ניתן למצוא במקורות שפורטו בסעיף 3**

א. כיוון ונטיית העתקים הנחצים על ידי תוואי המנהרה המתוכננת: המפה הגיאולוגית ומפות סטרקטורליות של תת הקרקע מאפשרות הערכה טובה לכיוון הכללי של העתקים (סטרייק). אולם, האפשרות לדעת מהו כיוון ועוצמת נטיית



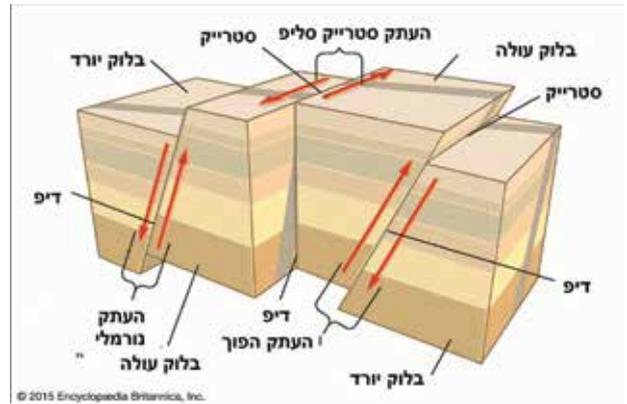
איור 1 - חלופות תכנון של מסילות הברזל גליל מזרחי על רקע המפה הגיאולוגית הכללית של צפון ישראל בקנ"מ 1:200,000. פוליונים אפורים מציינים כמה דוגמאות של מנהרות הנדונות במאמר זה

- קידוחים ממקורות ארכיוניים שונים אינם בהכרח נמצאים בקרבת תוואי מסילות ארוכים, לא כל שכן כאשר חלקים מתוואי המסילה מתוכנן במנהרות שיחצה רכסים בעומק רב. קידוחים מארכיון נת"י הם רלוונטיים בעיקר עבור תכנון כבישים בפני השטח, ועל כן לרוב אינם יורדים לעומקים הרלוונטיים למנהור. כמו כן, הם אינם נותנים מענה לאזורים שאינם סמוכים לתוואי כבישים קיימים.
- מקור למידע מקידוחים עמוקים עשוי להיות מקידוחי מים - קידוחי הפקה, וניטור. קידוחים אלה עשויים לתת מענה חלקי בלבד לצורך הכרת החתך הגיאולוגי אך לא לצרכי מיפוי גיאוטכני שכן בלוג קידוחי מים הנערך בעקבות ביצוע קידוחים, התכונות הגיאוטכניות של החתך אינן חלק מהמידע הנדרש.
- חתכים גיאופיסיים שאינם מוגובים בקידוחים ואינם בקרבה מספקת לתוואי המנהרות, אינם מסייעים לבניית חתכים סטרטיגרפיים שעליהם ניתן להשליך את התוואי המנהור המוצעים.
- למרות כל הסייגים שצוינו לעיל, כל מידע אפשרי המצמצם את אי הודאות הוא חיוני ביותר.

**3. מהם חומרי הגלם שאיתם אפשר לבסס מידע גיאולוגי בשלב החלופות**

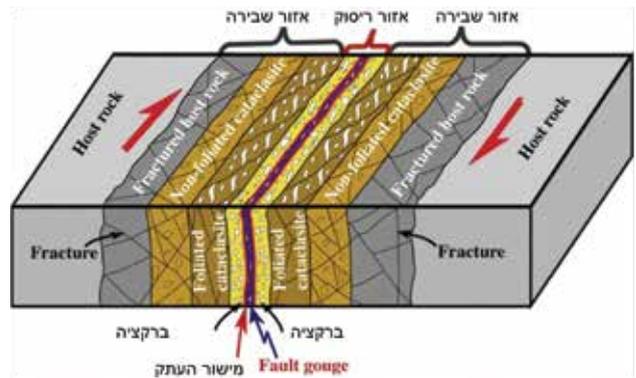
א. מפות גיאולוגיות בקנ"מ 1:50,000 בהוצאת המכון הגיאולוגי – אלו מפות המפרטות באופן מדויק למדי את פריסת התצורות הגיאולוגיות החשופות בפני השטח, הרכבן הכללי, עוביין המירבי, נטיית השכבות והעתקים גיאולוגיים החוצים את השטח. ניתוח מושכל של מפות אלו, תוך השלכת הנתונים מפני השטח לתת-הקרקע, הוא כלי לבניית מודל דו- או תלת-ממדי משוער של המבנה הגיאולוגי לאורך תוואי מנהרה. מודל מסוג זה מאפשר התמצאות במרחב בכל הנוגע לפריסת השכבות, זווית וכיוון נטיותיהן, קיומם של אזורי העתקה וכיוצא בזה.

שכבות (דיפ) מוגבלת שכן אלו נתונים שאינם משתקפים במפות (איור 2).



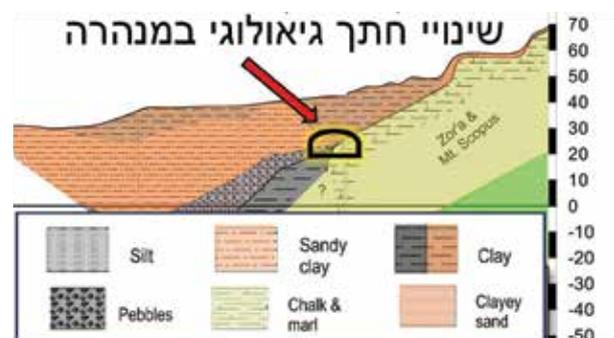
איור 2 - תיאור סכמתי של יחסים בין מבנים גיאולוגיים המופרדים על מערכות העתקים

ב. רוחב אזורי הריסוק לאורך ההעתקים: לאורך מישורי העתקים נוצרות לעיתים קרובות רצועות ריסוק שרוחבן נמצא בתלות בחיכוך בין גושי הסלע. מידע גיאולוגי מקדים על סביבת ההעתקים במפות או בכל צורה אחרת, אינו קיים. ניתן לקבל מושג כלשהו על אזורים אלו באמצעות עבודת שדה (איור 3).



איור 3 - תיאור סכמתי של גושי סלע שנועו אלה מאלה לאורך העתקים תוך גרימת ריסוק לאורך מישורי החלקה עקב חיכוך. מידת הריסוק נובעת מחשטר המאמצים שהניעו את ההעתקה והתכונות המכניות של הסלעים

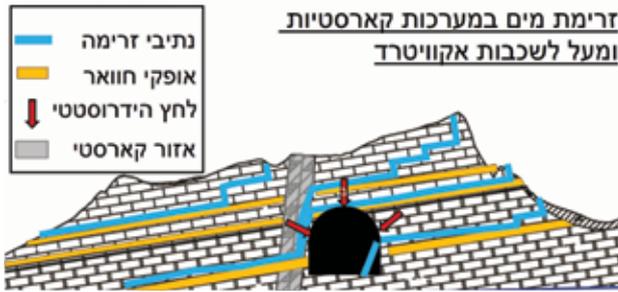
ג. מעברים פאצייליים בשכבות (כלומר, שינויים לטראליים בהרכבן ובעוביין של השכבות): המפה הגיאולוגית, והחתך



איור 4 - מעברי פאצייליים (הרכב ועובי שכבות) לטראליים של שכבות סלע במרחב בו מתוכננת מנהרה. מידע על שונות ההרכבים של שכבות הסלע אינה זמינה בשלב החלופות. דוגמא אקראית שבה הוטמעה מנהרה על רקע חתך גיאולוגי שמקורו באטלס ההידרולוגי של מישור החוף

העמודי הנלווה למפה, מצביעים לעיתים, ובאופן כללי בלבד, על שינויים בהרכב השכבות בתצורה מסוימת. מידע זה מוגבל מאוד ועל כן אינו מאפשר להעריך מהן התכונות הגיאוטכניות של השכבות והשתנותן במרחב (איור 4).

ד. מידת הבלייה בסלעים בעומק החתך הגיאולוגי: אינו משתקף כלל במפות הגיאולוגיות והוא מתבסס רובו ככולו מהניסיון שיש לצוות הגיאולוגים בבואם לדווח של שכבות מסוימות. בתחומי ישראל, הבלייה הנפוצה ביותר בתת הקרקע הינה בלייה קארסטית זאת בהינתן שמרבית החתך הגיאולוגי בו מתבצעים פרויקטים של מנהור הינן בשכבות קרבונטיות (גיר, דולומיט על נגזרותיהם) (איור 5).



איור 5 - מערכות קארסטיות, לחילופין עם שכבות חוואר, הן שכוחות בישראל בשל חתך קרבונטי עבה לאורך שדרת ההר, הגליל והכרמל. לעיתים כמויות גדולות של מים מצטברות בחללים מעל לשכבות חוואר אטימות עלולות לגרום ללחצים הידרוסטטיים על מבנה מנהרה החוצה חתכים כאלו

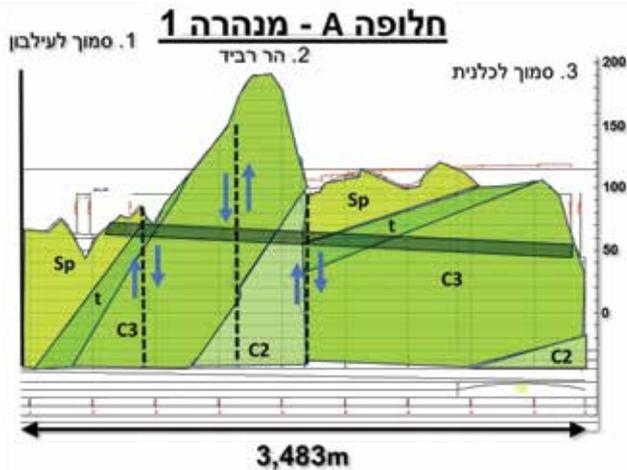
ה. אופן זרימת המים בתת הקרקע - נמצא בתלות במבנה הגיאולוגי (נטיית השכבות, העתקים, אזורי ריסוק), ברמת הסידוק בשכבות ובקיומן של שכבות שלהן מוליכות הידראולית נמוכה. מים אלו יוצרים לעיתים לחץ הידרוסטטי על דפנות המנהרה ומהוות גורם סיכון בטיחותי גדול מאוד ואתגר תכנוני (איור 5).

**5. כמה דוגמאות של חתכים מורכבים בחלופה 6 ו-A במנהרות מסילת הרכבת גליל מזרחי והמשמעות הגיאוטכניות שניתן להסיק מהם**

- א. על מנת להבין את המבנה הגיאולוגי בתת הקרקע יש להקדים ולהבין את החתך הגיאולוגי הצפוי בתוואי המנהרה כפי שעולה מאיור 6. נתוני הטבלה מתארים את הנתונים הבאים -
  - בצד ימין לטבלה מופיעות שמות החבורות והתצורות, מהקדמות ביותר בתחתית העמודה הסטרוטיגרפית ועד לצעירות ביותר בחלקה העליון, הרלוונטיות לגיליון מפה נתון: אלה שמות סטרוטיגרפיים רשמיים בהקשר רחב לכלל המפה הגיאולוגית של ישראל;
  - בעמודה המרכזית ולידה (משמאל) מופיע ההרכב העיקרי של התצורות הגיאולוגיות. התיאור הגרפי שלהן מתאר בנוסף להרכבן, גם הרכבי סלעים נלווים וכן חוזק יחסי של התצורה - ככל שהתיאור הגרפי רחב יותר כך הסלע חזק יותר;
  - בעמודות השמאליות ביותר מצוין עוביין המרבי של התצורות וכן הסימול המאחד כמה יחידות גיאולוגיות. לצורך ההפשטה, סימול זה מלווה את חתכי האורך של תוואי המנהרות באיורים 7,8,9.



במחצית הדרומית של התוואי (מאזור בית ספר כדורי) מורכב רובו ככולו משכבות גיר, דולומיט לחילופין עם שכבות קרטון-חווארי. בקטע זה קיים העתק גיאולוגי החוצה את התוואי, בו הבלוק הדרומי ירוד ביחס לצפוני והשכבות בו הן תת אופקיות. חלקה הצפוני של מנהרה זו כולל שכבות נטויות כלפי צפון-מזרח ביחס לציר המנהרה, תוך חציית העתק נוסף שבו הבלוק הצפון-מזרחי ירד ביחס לבלוק הדרום-מערבי. ציר המנהרה חוצה חתך גיאולוגי העובר מתצורת סכנין (רובה מורכבת מדולומיט) לסלעי גיר, קרטון וחוואר, ככל שהמנהרה מתקדמת כלפי הפורטל שבצידה המזרחי.



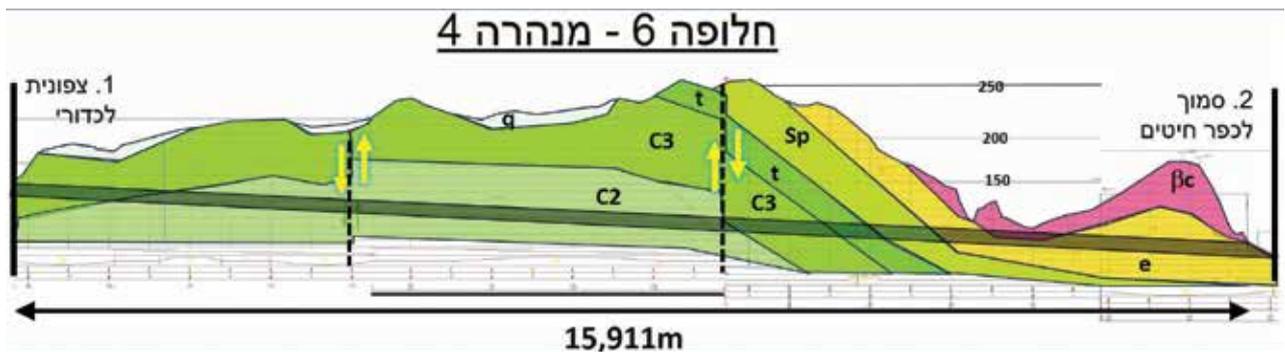
איור 8 - חלופת מנהרה באורך בינוני שבה החתך הגיאולוגי מגוון פחות מזה שמוצג באיור 7. אולם, התוואי חוצה העתקים גיאולוגיים, סביבה קארסטית אינטנסיבית העלולה לגרום לריכוזי מים גדולים וללחצים הידרוסטטיים

ג. מנהרה 1 בחלופה A (איור 8): אורך מנהרה זו כ-3.5 ק"מ, שבה הפורטל הדרומי מתוכנן סמוך לעילבון והפתח הצפוני סמוך לכלנית. מעליה מתנשא הר רביד לגובה של כ-140 מ' מעל תוואי המנהרה. בחתך זה, החתך הגיאולוגי פחות מגוון מזה שבמנהרה 4 בחלופה 6, שכן תוואי המנהרה אינו חוצה את החתך העליון בטור הסלעים החשוף בקרבת פני השטח באזור - סלעי השייכים חבורות עבדת וסקייה. לעומת זאת, נטיית השכבות לאורך תוואי מנהרה זו הינן חדות למדי והעתקים גיאולוגיים רבים שבהם נמצאה הסטה אנכית מרבית המגיעה לכ-100 מ'.

SYMBOL סמל	THICK. עובי מ'	LITHOLOGY מסלע	LITHOSTRATIGRAPHY	
			MAPPING UNITS יחידת מפה	GROUP חברה
q	2 0-1 0-10 0-10		אלוביום קרקעות חרסיתיות	חבורת טבריה וים המלח
β	0-5 0-15 0-100		בזלת	
ρ	0-30 90 60 40 80+		תצורות בירה וגשר קרטונים, חווארים, קונגלומרטים	
e	140 130		גיר	חבורת עבדת
sp	40-100 12 40		קרטון, חוואר, צור	חבורת הר הצופים
t	30-00		תל' בינה - גיר	חבורת יהודה
c3	120 130		תצורות סכנין נדיר חבא דולומיטים	
c2	130 190		תצורות דיר חבא וכמון דולומיטים	
c1	130-210		תצורות הידרה ורמה קרטון וגיר	
lc	80 70		תצורת עין אל-אסד ונבי סעיד - חתכי גיר	

איור 6 - חתך עמודי מוכלל של המפה הגיאולוגית 1:50,000 (גיליון ארבל), המייצג בקירוב את שכבות הסלע האופייניות לתוואי חלופות המנהור המוצגות במאמר זה

ב. מנהרה 4 בחלופה 6 (איור 7): אורכה כ-16 ק"מ, והיא חוצה שכבות סלע מגוונות מגיל קנומן (c2 - תצורת סכנין שגילה ~100 מיליון שנה) ועד שכבות מגיל פליוקן (cβ) - בזלת הכיסוי - 4-5 מיליון שנה). עוביו המרבי של החתך הגיאולוגי מעל המנהרה מגיע לכ-180 מ'. מהמפה הגיאולוגית (קנ"מ 1:50,000 הוצ' המכון הגיאולוגי הישראלי) החתך הגיאולוגי



איור 7 - חלופת מנהרה ארוכה החוצה חתך גיאולוגי מורכב ומגוון, העתקים וקומוטים רבים. ההעתקים מוצגים אנכיים בשל מיעוט מידע נטיית השכבות מייצגת קירוב למציאות שכן תוואי המנהרה אינו ניצב לציר הקמטים



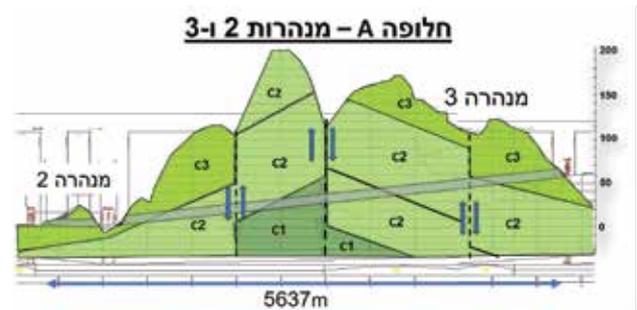
הנטייה הנכונה של מישור ההעתק. בעיה נוספת היא השלכת זווית נטיית השכבות וההעתקים האמיתיים הנגזרים ממיקום תוואי המנהרה שבחתך. יש להביא בחשבון שהחתך הגיאולוגי המוצג, עליו תוואי המנהרה, אינו מייצג בהכרח את זווית הנטייה האמיתית של מישור העתק או של הנטייה האמיתית של השכבות. לשם דוגמה אם תוואי המנהרה יהיה לאורך ציר מבנה גיאולוגי, לא ניתן יהיה לשקף כלל את כיוון זווית נטיית השכבות. לעומת זאת, אם התוואי יעבור בניצב לשכבות התקבל הנטייה האמיתית של המבנה הגיאולוגי. כמובן קיימים כל מצבי הביניים שיוצגו בזווית נטייה מטעה (apparent dip).

ג. מים - שכבות החוואר האופייניות לתצורות בירה-נשר, ע'רב וטקיה כמו גם שכבות ביניים חוואריות גם בתוך תצורות עמוקות יותר, עשויות להכיל מים כלאים בכמויות הגורמים לעיתים קרובות ללחצים הידרוסטטיים בשל נטיות חדות של השכבות. לא כל שכן כאשר הן נשענות על מישורי העתקים. שכבות המורכבות מגיר ומדולומיט, כגון אלו שבתצורות כמון, סכנין, תמרת וכ"ב, מאופיינות בחללי קארסט רבים. שילוב של שכבות אטומות למים (חוואר), שכבות מכילות מים (קארסט) ומישורי העתקים הינו גורם סיכון גדול במהלך כריית מנהרות שיש קושי גדול לכמת בכלל ובמהלך שלב בחירת החלופות בפרט.

**7. מנהרות כביש 16 הכניסה החדש לירושלים כמשל (איור 10)**

- א. מנהרות כביש 16 בכניסה החדשה לירושלים (שבוצע ע"י קבוצת שפיר-פיצרוטי) כוללות 4 מנהרות עיקריות ומקבילות (2 לכל כיוון) ועוד מנהרות נלוות, באורך כולל של כ- 2 X 2.6 = 5.2 ק"מ.
- ב. בחקירה שקדמה למכרז ובשלב שלאחר קביעת הקבלן בוצעו כ-35 קידוחי ניסיון לעומק החתך ולתחום שמתחת תוואי המנהרות. זאת במטרה לאפיין בצורה מדויקת ככל האפשר את הפריסה המרחבית של שכבות הסלע, המבנה הגיאולוגי, כמו גם את התכונות הגיאוטכניות של הסלעים בשכבות השונות.
- ג. למרות המידע הרב שהצטבר קודם לביצוע המנהרה, שהיה ברובו מדויק למדי, במהלך הליווי הגיאולוגי הצמוד שבצענו לכל אורך תהליך הכרייה, התגלו הבדלים ניכרים בהרכבי הסלעים אך הקושי הגדול היה בהיקף נוכחות הבלייה הקארסטית לאורך התוואי (כוללת גלישות חומר מחללים שמעל לקמרונות).
- ד. ההתחשבות הרבה בקארסט בתהליך הביצוע הינו מהותי בתהליך הכרייה קודם לכל בשל הצורך לבצע את עבודות

מנהרות 2 (קטנה) ו-3 בחלופה A (איור 9): אורכן הכולל של שתי מנהרות אלו הוא כ- 5.6 ק"מ, כשמנהרה הקטנה (הדרומית) אורכה כמה מאות מטרים בלבד. בחתך זה תוואי המנהרה חוצה שכבות אף קדומות יותר מאלו שבמנהרה 1 - שכבות תצורות הידרה ורמה מגיל קרטיקון תחתון ושכבות תצורת כמון (c1). על פי המפה הגיאולוגית הן מורכבות מחילופין של גיר, קרטון וחוואר ושכבות דולומיט מסיביות, בהתאמה. גם מנהרה זו חוצה מספר העתקים הכוללים הסטה אנכית גדולה מאוד בבלוקים נטויים חדות לכיוונים שונים.

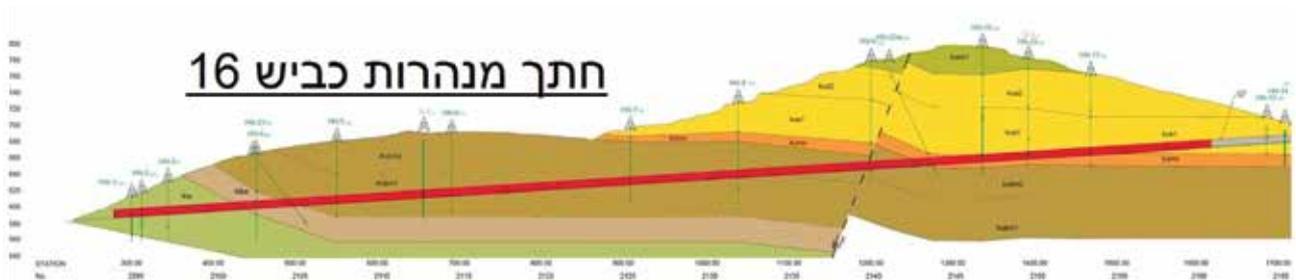


איור 9 - חלופת מנהרה בה התנאים הגיאולוגיים דומים לאלו שבאיור 8

**6. היבטים הנדסיים של החתך הגיאולוגי ובעיות במנהרות חלופה 6**

- א. תכונות גיאוטכניות - התכונות הגיאוטכניות הצפויות של החתך לאורך תוואי המנהרות השונות ניתנות להשערה מהיכרות של הסלעים בתצורות השונות, בתוך רדוד, בו מבססים בדרך כלל מבנים. על כן, הן אינן משקפות בצורה מלאה את תמונת תת הקרקע. הסלעים הקשים ביותר הינם הסלעים הדולומיטיים השייכים לתצורות סכנין וכמון (הערכה: כ- 110-120 מג"פ), עבור לסלעים בחוזק בינוני כסלעי הגיר של תצורת דיר חנא, סלעים להם חוזק בינוני עד נמוך (עד כ- 30-70 מג"פ). סלעי קרטון וקרטון חווארי של חברות הר הצופים ועבדת ועד חוואר האופייני לסלעי תצורות בירה-נשר - שלהם חוזק נמוך ולא אחיד במרחב ומושפעים מאוד מנוכחות מים.
- ב. נטיית השכבות והעתקים גיאולוגיים - כיוון נטיית השכבות המוצגים בחתכים סומנו בחתכים כאנכיים. זאת למרות שבדרך כלל ההעתקים בגליל הינם העתקים "נורמליים" שלהם זוויות בתחום 80°-70° (העתקים "נורמליים" הכוונה להעתקים שנוצרו בתהליכי מתיחה בהם הבלוקים התרחקו זה מזה לאורך מורד מישור ההעתק). הסיבה לכך היא הקושי לקבוע מראש מהי זווית

**חתך מנהרות כביש 16**



איור 10 - חתך גיאולוגי מתוך פרויקט מנהרות כביש 16 (הכניסה החדשה לירושלים). אף שבוצעו לאורך תוואי זה יותר מ-17 קידוחי גלעין שחצו את תוואי המנהרה, נעלמים רבים נותרו לשלב הביצוע

- מאגר משרד הבינוי והשיכון המתמקד אף הוא בהיבטים גיאוטכניים בדרך כלל.
- קידוחי ניסיון שבוצעו על ידי מהנדסי קרקע וביסוס – אלה מאגרים פרטיים שעשויים להיכלל במאגר לאומי באופן וולונטרי.

- ד. ניתן להוסיף למאגר הלאומי גם חתכים סיסמיים ומפות תת הקרקע באופן שיאפשר קבלת שכבות מיפוי קיימות ועתידיות. מקורות מידע בעיקר במסגרת המכון הגיאופיסי לישראל והמכון הגיאולוגי הישראלי.
- ה. שימוש בפלטפורמות המאפשרות שילוב מקורות המידע השונים במקום אחד באופן הזמין למתכננים.

#### 9. מסקנות

- א. על המתכננים להבין שבחינת חלופות בכל הקשור לתת הקרקע לתכנון מנהור מתבצעת בתנאי אי-ודאות גבוהים מאוד.
- ב. יש להביא בחשבון שלמרות ריכוז מידע רב ככל שיהיה, המידע הנדרש לבחינת חלופות לא יוכל להביא בחשבון מידע הקשור לפרמטרים גיאולוגיים וגיאוטכניים מגוונים שכן, התוך התת קרקעי הינו הטרוגני ביותר.
- ג. ההשלכה ממידע קיים תהיה תמיד בגדר אקסטרפולציה.
- ד. יש חשיבות גדולה מאוד לרכז מידע קיים רב ככל האפשר על מנת להקטין את מרחב אי הודאות. זאת באמצעות ריכוז כל המידע האפשרי בארכיון לאומי נגיש לציבור המהנדסים והגיאולוגים.

הכרייה וייצוב המנהרות בתנאים בטיחותיים, דבר המאט את הביצוע. יש לציין שהמורכבות הגיאולוגית של סביבת הגיאולוגית ירושלים הינה קטנה במידה רבה לעומת המורכבות של המנהרות המתוכננות במסגרת פרויקט מסילות גליל מזרחי.

#### 8. כיצד ניתן להגדיל ככל האפשר את המידע המקדים בשלב בחירת החלופות ולהקטין את אי הודאות?

- א. הקמת מאגר מידע קידוחים לאומי – מטרת המאגר היא לרכז את כלל מקורות המידע הזמינים בנושא הרכב ומבנה תת הקרקע.
- ב. מידע מקידוחים יערך במאגר במתכונת של מערכת שיתופית בפורמט קבוע מראש המאפשר הורדה והטמעה בתוך מערכות תכנון (CAD, GIS וכיו"ב).
- ג. בישראל קיימים מאגרי מידע על קידוחים בידי גורמים רבים וניתן למנות כמה:
- נתוני קידוחים הנמצאים במאגרי נת"י ורכבת ישראל שבוצעו במסגרת פרויקטים של דרכים, מסילות ברזל ומנהרות שונות שבהם ההיבט הגיאוטכני הוא מובנה.
  - נתוני קידוחים הנמצאים במאגרי משרד הבינוי והשיכון שברובם מתייחסים לאזורי פיתוח.
  - מאגר קידוחים שנמצא במכון הגיאולוגי הישראלי המורכב רובו ככולו מקידוחים לאיתור והתחקות אחר מפלסי מים. כמו כן קיימים נתוני קידוחים שבוצעו עבור פרויקטים מחקריים מיוחדים. קידוחים אלו מתאימים בעיקר במנהרות בהם החתך הגיאולוגי מעל למנהרות המתוכננת, הינו עבה במיוחד.

\* ד"ר רם בן-דוד, חבר איגוד - תא המנהור ותא הגיאוטכניקה, גיאולוג בעל תואר שני מאוניברסיטת בן גוריון ותואר דוקטור מהאוניברסיטה העברית וניסיון העולה על 30 שנה בתחומי הגיאולוגיה ההנדסית השונים, כמו גם בתחומי ההידרוגיאולוגיה.

אודי קודינגטון, חבר איגוד - תא המנהור ותא הגיאוטכניקה, גיאולוג בעל תואר שני מהאוניברסיטה העברית וניסיון של כ-20 שנה בתחומים שונים של הגיאולוגיה ההנדסית.

**חברת רובד גיאולוגיה וייעוץ חברתי בע"מ** הינה חברה פרטית העוסקת בייעוץ גיאולוגי יישומי, ובכלל זה סקרים גיאולוגיים לפרויקטים תשתיתיים מורכבים ומנהור. כמו כן, המשרד עוסק בייעוץ חברתי עבור פרויקטים תכנוניים מתחום הבנייה והקהילה, התשתיות, והמחצבים בארץ ובחו"ל.