

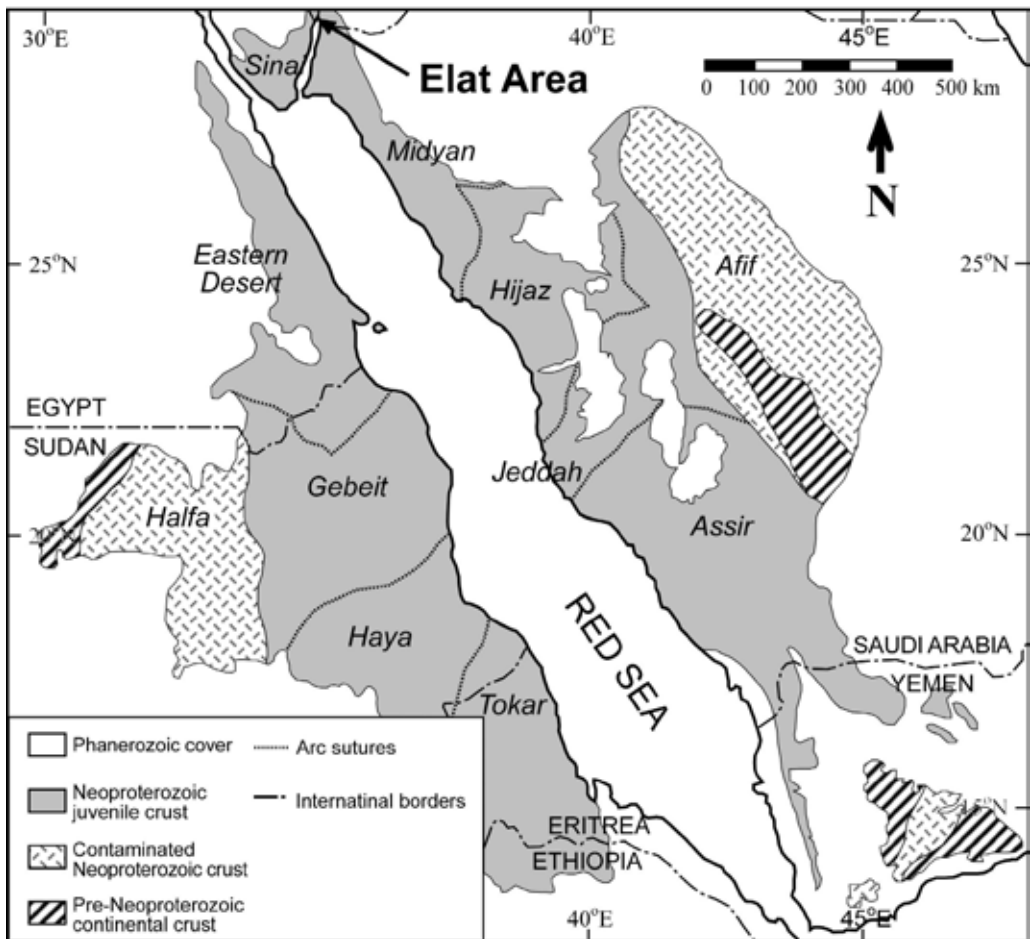
## שליבים בהתפתחות הקרום היבשתי של השילד הערבו-נובי באזור אילת

< נ. מורג וד. אבינד

המחלקה לגיאולוגיה, המכון למדעי כדה"א, האוניברסיטה העברית בירושלים, ירושלים 91904

### מבוא

הסלעים הפרה-קמבריים הנחשפים באזור אילת מייצגים פרק זמן של כ- 300 מ"ש במהלכו נוצרה ועוצבה תשתית הקרום היבשתי באזורנו. תשתית זו מהווה את חלקו הצפוני של השילד הערבו-נובי (איור 1), פרובינציה קרונית יובלית מגיל ניאופרוטרוזואיקון שלדעת חלק מהחוקרים מייצגת את אחד מאירועי גידול הקרום היבשתי החשובים בפרה-קמבריום (Stein and Goldstein, 1996 ;Bentor, 1985).

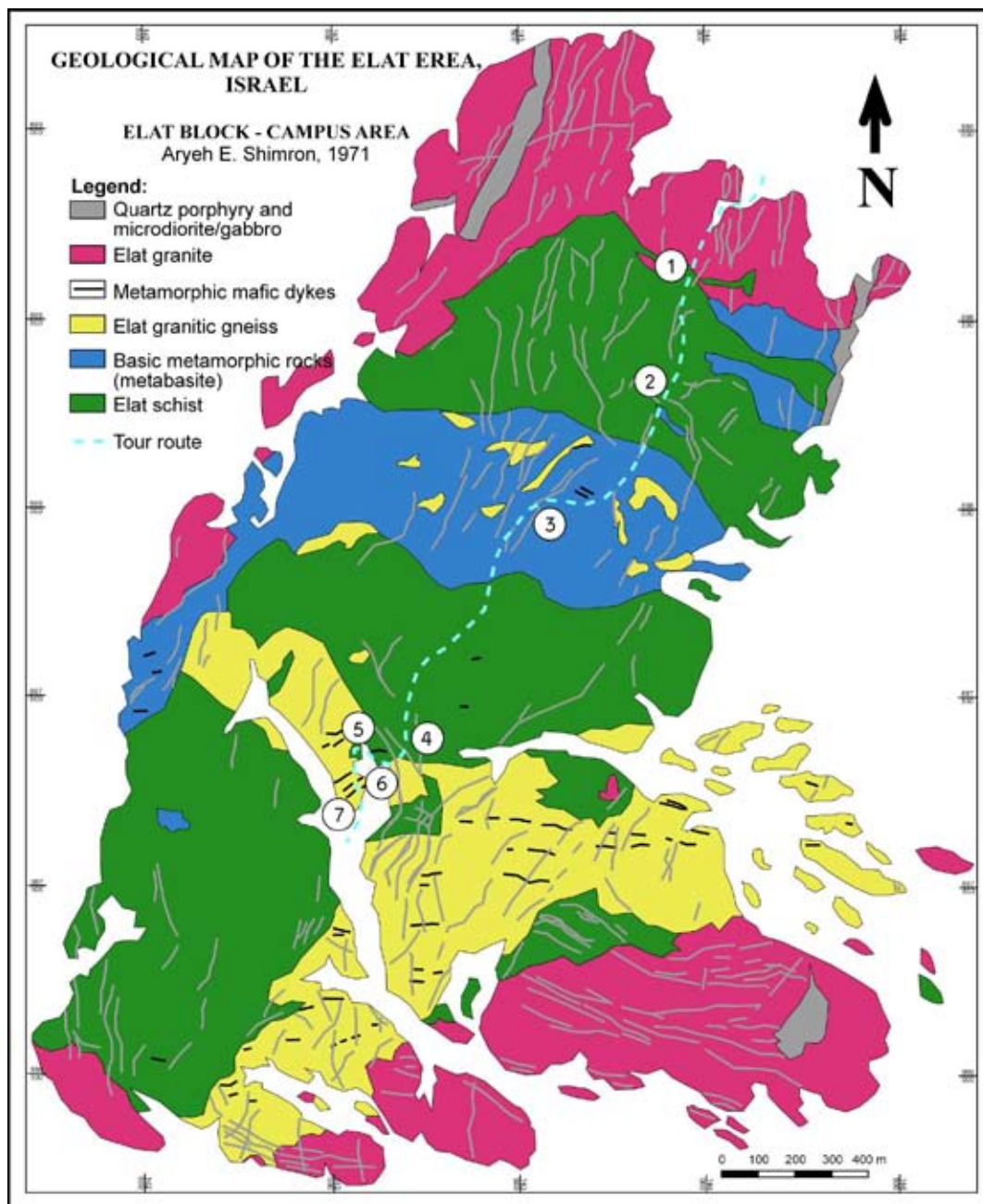


איור 1: מפה כללית של השילד הערבו-נובי; מעובד מחדש עפ"י (Hargrove et al (2006).

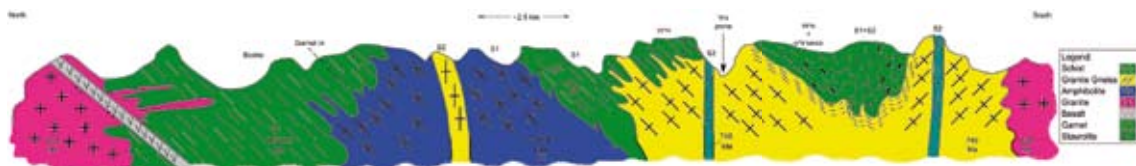
הגיאולוגיה של מחשופי התשתית הפרה-קמברית באזור אילת תוארה באופן מקיף ע"י (Garfunkel, 1980). הסלעים העתיקים ביותר הם שיסט פליטי וגניסי קוורצו-פלדספטי ממקור סדימנטרי, המותמרים בפציאס אמפיבוליטי בלחצים נמוכים יחסית. הם חדורים ע"י פלוטונים בהרכב גברו-דיריטי עד גרניטי שהותמרו לאמפבוליטים וגניסיים. לאחר המטמורפיזם הראשון ויצירת הדפורמציה האזורית נחדרו הסלעים הנ"ל ע"י נחיל מוגבל בנפחו והיקפו של דייקים בהרכב בינוני-בסיסי. אלו האחרונים הותמרו במהלך אירוע מטמורפי שני בפציאס אמפיבוליטי נמוך - גרינשיסט שהביא ליצירת דפורמציה מקומית בדייקים ובסלעים העתיקים יותר, אך כמעט שלא פגע במבני הדפורמציה הקודמים. פלוטונים גריטואידיים נרחבים בהרכב קלק-אלקליני, שברובם אינם מראים סימנים לדפורמציה כלשהי, חודרים את הקומפלקס המטמורפי שתוארו לעיל. לפיכך, הדייקים המטמורפיים מפרידים בין שני מחזורים עיקריים של פעילות מגמתית, אורוגני פוסט-אורוגני. המעבר לתנאים פוסט-אורוגניים מיוצג גם ע"י התרוממות ואירוזיה של התשתית, שהביאה לחשיפה של הקומפלקס המטמורפי והפלוטונים שנוצרו בעומק של כ 10-5 ק"מ. תוך כדי ההתרוממות נמשכה הפעילות המגמתית שהביאה ליצירת פלוטונים ונחילי דייקים בעומק רדוד יחסית במקביל להשקעת חתך וולקנו-סדימנטרי באגנים מקומיים שנוצרו ע"ג התשתית שנחשפה בפני השטח. סיום שלב יצירת התשתית והמעבר לתנאים של פלטפורמה יבשתית יציבה באזורנו מתועד ע"י יצירתו של פנה-פליין ע"ג התשתית ותחילת השקעת חתך סיליציקלסטי בקמבריום התיכון (Garfunkel, 1999).

עבודות גיאוכרונולוגיות מאוחרות יותר שנעשו באזור אילת אפשרו קביעת גילים עבור רבים מהסלעים. תיארוך של זירקונים בודדים מתוך הסלעים המטה-סדימנטריים בשיטת אורניום-עופרת (U-Pb) נתן טווח גילים בין 925 ל-780 מ"ש, המייצג את גיל המגמתים באזורי המקור שלהם (Kolodner, 2007). גילם של הפלוטונים המותמרים תוארך בשיטות U-Pb ו-Pb-Pb בזירקונים בין 780 ו-640 מ"ש (Kröner et al., 1990; Kolodner, 2007). תיארוך מקיף בשיטת U-Pb בזירקונים של הפלוטונים הפוסט-אורוגניים באזור אילת ובסיני הוצג לאחרונה ע"י (Be'eri-Shlevin et al, 2009). עבור סלעים אלו נמצא טווח גילים שבין 635 ל-580 מ"ש. נתונים גיאוכרונולוגיים חדשים שנאספו על-ידנו בשיטת U-Pb בזירקונים מסדרה של סלעים המייצגים את כל שלבי התפתחות התשתית באזור אילת משלימים את התמונה ומאפשרים קביעת מסגרת זמנים כללית לתהליכי היווצרות התשתית באזור (טבלה 1). נתונים אלו יוצגו במהלך הסיום יחד עם נתוני אנליזה איזוטופית של מערכת הלוציום-הפניום (Lu-Hf) שנעשתה בזירקונים שתוארכו. בעוד שמערכת ה-U-Pb בזירקון מהווה כלי גיאוכרונולוגי יעיל ומדויק כיוון שבמינרל יחס אב-בת גבוה, מערכת ה-Lu-Hf בזירקון מהווה סמן יעיל למקור המגמה כיוון שבמקרה זה המינרל הנו קומפטיבילי מאד עבור יסוד הבת - Hf. ל-Hf מספר איזוטופים טבעיים כאשר אחד מתוכם  $^{176}\text{Hf}$  הינו תוצר דעיכה של האיזוטופ הרדיואקטיבי  $^{176}\text{Lu}$ . Hf הנו מעט יותר אינקומפטיבילי מ-Lu בעת התכה חלקית של סלע פרידוטיטי ולכן לאורך זמן, תרחש העשרה של האיזוטופ הרדיוגני  $^{176}\text{Hf}$  במעטפת ביחס לקרום. לכן ההרכב האיזוטופי של Hf בזירקון, הנמדד בדרך כלל ביחס שבין  $^{176}\text{Hf}$  ל- $^{177}\text{Hf}$  האי-רדיוגני ומנורמל ליחס זה במאגר הכונדריטי לקבלת הנוטציה של Hf<sup>ε</sup>, יכול להעיד על מקור המגמה.

מסלול הסיום עובר דרך מספר נקודות מפתח בהן מתועדים שלבים עיקריים בהיסטוריה הפרה-קמברית של אזור אילת. מפה גיאולוגית של בלוק אילת ועליה מסלול הסיום ומיקום התחנות מופיעה באיור 2. חתך מוכלל דרך בלוק אילת בכיוון כללי צפון-דרום במקביל למסלול הסיום מוצג באיור 3. בכל תחנה נבחן את יחסי השדה בין יחידות הסלע השונות והמבנים המטמורפיים המופיעים בהן ונדון במשמעותם לגבי תהליכי ההתפתחות של הקרום היבשתי תוך כדי הצגת הנתונים הגיאוכרונולוגיים החדשים ונתוני האנליזה האיזוטופית של Hf בזירקונים. ביחד עם הידע הקודם, נתוני הגיל החדשים מאפשרים את ביסוסה של היסטוריה גיאולוגית מדוקדקת, בעוד נתוני ההרכב האיזוטופי של ה-Hf מאפשרים לבחון את מקור המגמות ואת הקשר הגנטי בין דורות הסלעים השונים.



איור 2: מפה גיאולוגית של חלקו הצפוני של בלוק אילת מתוך עבודת הד"ר של Shimron (1972) ועליה מסלול הסיור והתחנות.



איור 3: חתך מוכלל צפון-דרום דרך בלוק אילת המציג את היחידות העיקריות ויחסי השדה ביניהן. הוכן ע"י תלמידי הקורס "התפתחות התשתית הפרהקמברית של ישראל", באוניברסיטה העברית, 2009.

טבלה 1: נתונים גיאוכרונולוגיים בשיטות U-Pb ו-Pb-Pb בזירקונים מיוחדות הסלע העיקריות של התשתית הפרה-קמברית באזור אילת.

הערות	מקור	גיל	יחידה
			<b>בלוק אילת</b>
גילי זירקונים דטריטיים	Kolodner, 2007	925±770	צפחות אילת
בפרוטולית הסדימנטרי	Kröner et al., 1990	820-800	
	Morag et al., in prep.	790±5	גנייס טאבה
	Kröner et al., 1990	779±8	
	Kröner et al., 1990	744±5	גנייס גרניטי
	Kolodner, 2007	737±9	
חותכים את מבני הדפורמציה הרגיונלית	Morag et al., in prep.	705±5	דייקים מטמורפיים
	Morag et al., in prep.	672±4	אמפיבוליט שחמון
	Morag et al., in prep.	612±4	
	Kröner et al., 1990	640±10	
פלוטון נחל שלמה	Morag et al., in prep.	686±6	גרניט אילת
פלוטון נחל שלמה	Be'eri-Shlevin et al., 2009	636±8	
פלוטון נחל יעל	Morag et al., in prep.	634±4	
פלוטון נחל רחבעם	Be'eri-Shlevin et al., 2009	630±5	
	Morag et al., in prep.	608±3	גרניט יהושפט
	Be'eri-Shlevin et al., 2009	605±4	
חדור בפלוטון נחל יעל של גרניט אילת	Morag et al., in prep.	609±4	דייק קוורץ-פורפיר ריוליט
			<b>בלוק רודד</b>
גילי זירקונים דטריטיים	Morag et al., in prep.	838-759	צפחות רודד
בפרוטולית הסדימנטרי	Morag et al., in prep.	641±5	גרניט פורפיר
	Morag et al., in prep.	614±4	אמפיבוליט רודד
	Morag et al., in prep.	612±6	קוורץ-דיוריט רודד
	Katz et al., 1998	634±2	
	Stein and Goldstein, 1996	630±4	
חדור בקומפלקס הוולקנו-סדימנטרי	Morag et al., in prep.	585±16	דייק קוורץ-פורפיר
חדור בקוורץ-דיוריט	Katzir et al., 2007	593±8	ריוליט

## תחנות הסיור

## תחנה 1 &lt; נחל יעל; מגע בין גרניט אילת לצפחות (שיסט) אילת

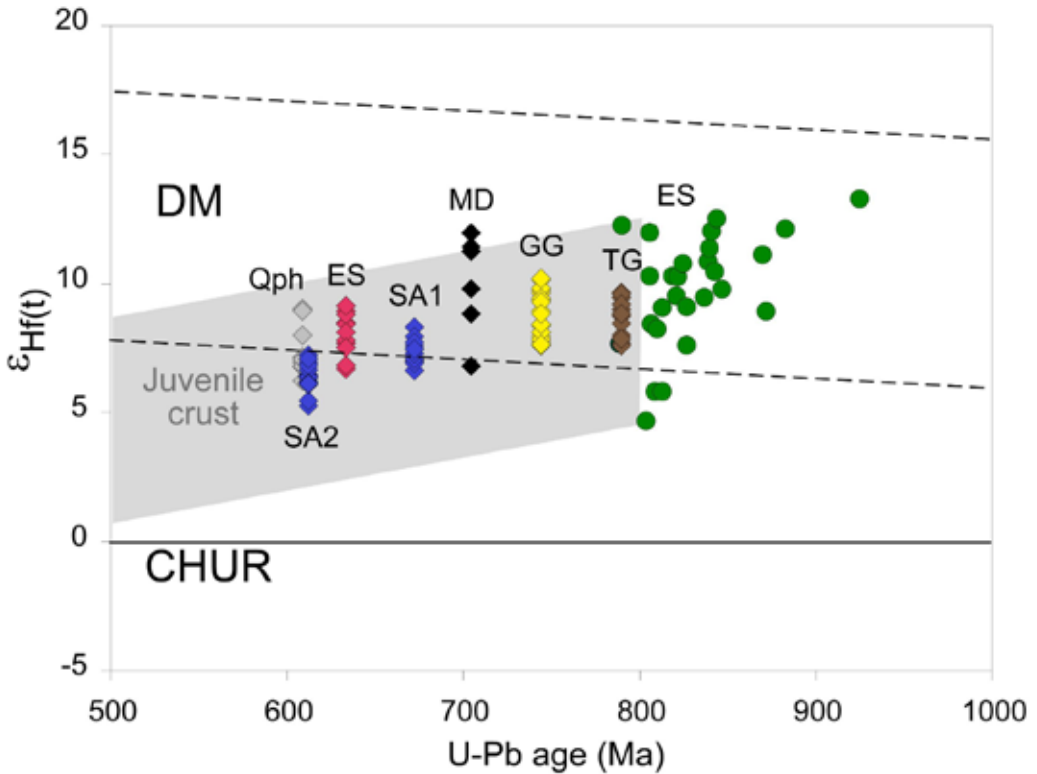
בחלקו התחתון מתחת נחל יעל דרך אחד מהפלוטונים של גרניט אילת. סלע זה מורכב בעיקר מפלגיוקלז-נתרני, מיקרוקלין וקוורץ, יחד עם כמות קטנה של מיקות. הוא שייך לקבוצה של בתולטיים בהרכב קל-אלקליניים הנפוצים מאד באזור ומהווים יותר ממחצית משטחו של החלק הצפוני של השילד הערבו-נובי (Garfunkel, 1980). כ-200 מ' מעל למוצא הנחל למניפת הסחף נמצא המגע בין גרניט אילת לצפחות אילת. סלע זה מורכב בעיקר מקוורץ, אוליגוקלז-אנדזין, ביוטיט ומעט מוסקוביט ומראה פוליאציה רגיונלית ברורה הנוטה בכיוון כללי דרומה בזווית של כ-45°. עפ"י המינרלוגיה של הסלע מדובר במטה-סדימנט בהרכב פליטי דוגמת גרייוואקה, ובנתור (1961) הציע שייטכן ומקורו של סדימנט זה הוא בקשתות וולקניות סמוכות. הפוליאציה המפותחת בצפחות היא המבנה המטמורפי העתיק ביותר בו ניתן להבחין בשדה ועל כן היא מכונה S1 (Shimron, 1972). מישורי השיכוב המקוריים בצפחות מקבילים לכיוון הפוליאציה. באזור המגע בין הגרניט לצפחות ניתן לראות שלוחות של הגרניט חדרות לתוך הצפחות ומעידות על אופיו האינטרוזיבי של המגע. בגרניט לא ניתן להבחין במבני דפורמציה כלשהם ומכאן שחדירתו התרחשה לאחר האירוע המטמורפי בו הותמרו הצפחות. שלוחות הגרניט בצפחות מורכבות מגבישים גדולים ואינן מראות שוליים דקי-גביש המעידים על קירור מהיר. מכאן, שחדירת הגרניט התרחשה בעומק גדול יחסית. דייקים מאוחרים של קוורץ-פורפיר ריוליט חוצים את שתי היחידות. בניגוד לגרניט חדרתם של אלו התרחשה בעומק רדוד יחסית עפ"י הטקסטורה דקת-הגביש שלהם, ולכן הם מעידים על התרוממות ואירוזיה של האזור בשלב שלאחר חדירת הגרניט.

תיארוך של זירקונים דטריטיים מתוך הצפחות בשיטת אורניום-עופרת (U-Pb) נתן טווח גילים קונקרדיים בין 925 ל-780 מ"ש לפני ההווה, עם שיא בסביבות 800 מ"ש לפני ההווה (טבלה 1). גילים אלו מייצגים את זמן הפעילות המגמתית בקשתות הוולקניות שהיוו את אזורי המקור של הסדימנט (Kolodner, 2007). אנליזות איזוטופיות של הפניום (Hf) שנעשו לאחרונה על-ידינו באותם הזירקונים שתוארכו ע"י Kolodner (2007) נתנו טווח ערכי  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  שבין +13.3 ל-4.7 (איור 4). טווח הערכים החיובי תומך בנתונים איזוטופיים קודמים (Nd, Sr) המעידים על אופיו היובנילי בכללותו של חלק זה של השילד הערבו-נובי (לדוגמא ביילסקי, 1982; Stein and Goldstein, 1996; Beyth et al., 1994). עם זאת, הפיזור של הערכים אל מתחת לטווח הצפוי של המעטפת המדולדלת עשוי להעיד על אחת משתי האפשרויות הבאות: (1) המגמות באזורי המקור של הצפחות דוגמות חלקים שונים של המעטפת, מדולדלים יותר או פחות. (2) ישנה קונטמינציה של חלק מהמגמות ע"י חומר ממקור קרומי עתיק.

עפ"י עבודות תיארוך חדשות בשיטת U-Pb בזירקון גילו של גרניט אילת כ-635 מ"ש לפני ההווה (Be'eri-Shlevin, 2009; Morag et al., in prep) (טבלה 1). מתקופה זו אין עדויות לקיומו של קרום אוקיאני בחלק הצפוני של השילד, כך שקשה לייחס את הגרניט הזה ודומיו מהפאזה הקל-אלקלינית למגמתזם של אזור הפחתה. ערכי  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  שנמדדו בזירקונים מגרניט זה ודומיו, בין +7.7 ל-5.1 נופלים בתחום ההתפתחות הצפוי של קרום קשתות האיים המוגדר ע"י ההרכב התחלתי של Hf בזירקונים הדטריטיים מהצפחות יחס ה-Lu/Hf הממוצע של הקרום (Wedepohl, 1995, 0.015) (איור 4). מכאן שנראה כי מקור המגמות הגרניטיות בעיקר במיחזור של קרום קשתות האיים הראשוני. אולם, פרק הזמן שעבר מיצירת הקרום הראשוני ועד לחדירת הגרניטים, כ-200 מ"ש, הנו קצר יחסית לזמן מחצית החיים של מערכת ה-Lu/Hf כך שבשלב זה עדיין ישנה חפיפה ניכרת בין הרכב הקרום הצעיר להרכב המעטפת ולכן קשה לשלול מעורבות של נתך ממקור מעטפתי בגרניט.

אחד מהדייקים הריוליטיים החוצים כאן את הגרניט תוארך לגיל של כ-609 מ"ש לפני ההווה (טבלה 1). ערכי

$\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  שנמדדו בזירקונים מהדייק, בין +9.0 ל-6.2 חופפים לטווח הערכים שנמצאו בגרניט ובפלוטונים קלק-אלקליניים אחרים (איור 4).



איור 4: גילי U-Pb מול ערכי  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  בזירקונים מיחידות הסלע השונות בבלוק אילת. מעוינים מייצגים גילי קונקורדיה שחשוב עבור כלל הסלע, עיגולים מייצגים גילים אינדיבידואליים של זירקונים ממקור דטריטי (צפחות אילת). סימונים: EG - צפחות אילת, TG - גניס טאבה, GG - גניס גרניטי, MD - דייק מטמורפי, SA - אמפיבוליט שחמון (1 ו-2), ES - גרניט אילת, Qph - דייק קוורץ פורפיר ריוליטי. תחום הרכבי המעטפת המדולדלת לפי Patchett et al. (1981) ו- Nowell et al. (1998). תחום ההתפתחות הצפוי של קרום קשות האיים הראשוני חושב עפ"י הרכב התחלתי של Hf בזירקונים הדטריטיים מהצפחות ויחס ה-Lu/Hf הממוצע של הקרום היבשתי (Wedepohl, 1995, 0.015).

## תחנה 2 < נחל יעל; הופעת גרנט בצפחות

כ-300 מ' מעל למגע בין הגרניט לצפחות במעלה הערוץ המתחבר לנחל יעל ממזרח מופיעים לראשונה פורפירובלסטים של גרנט בצפחות. מכיוון שהרכבו הכללי של הסלע אינו משתנה בנקודה זו משמעות הדבר היא עלייה בדרגה המטמורפית. האוריינטציה של משטח הופעת הגרנט אינה ברורה לגמרי, אך נראה כי הוא מקביל באופן כללי למישור הפוליאציה. ייתכן והדבר מעיד על קיומם מאוחר של המשטח במהלך הדפורמציה שהביאה ליצירה של S1 (אביגד ומטיוס, 1985).

## תחנה 3 < הר שחמון; יחידת האמפיבוליט של הר שחמון

יחידת האמפיבוליט מורכבת מכמה מחדרים שהרכבם נע בין קוורץ-דיורט לגברו החדורים לצפחות אילת. סלעים אלו מורכבים בעיקר מפלגיוקלז, אמפיבול וביוטיט בכמויות משתנות. במקומות מפותחת בהם פוליאצית S1, אך ברוב היחידה לא ניתן להבחין במבנה מטמורפי בשדה. הדרגה המטמורפית של הסלע הוגדרה כפציאס אמפיבוליטי נמוך (Page, 1972) והיא תואמת את הדרגה המטמורפית בצפחות הגרנט שמסביב. גיל יחידת האמפיבוליט אינו ברור. על-סמך הופעת הפוליאציה ביחידה ומחדרים של גנייס גרניטי לתוכה (לגבי גילו של הגנייס הגרניטי ראה בהמשך) קבע Shimron (1972) שיחידה זו הנה מהעתיקות באזור אילת וחדירתה קודמת לפאזת המטמורפיזם העיקרית שיצרה את S1. אולם, בעבודות תיארוך בשיטות U-Pb ו-Pb-Pb בזירקונים התקבלו עבור יחידה זו גילים שונים בין 670 ל-610 מ"ש לפני ההווה (Eyal et al., 1991; Morag et al., in prep.) (טבלה 1). לפי הנתונים שבידינו גילים אלו מאוחרים לאירוע המטמורפיזם העיקרי שיצר את S1 (פירוט בהמשך).

#### תחנה 4 < נחל שחמון; קמטי F1 בצפחות

מישורי השיכוב המקוריים בצפחות מקומטים בנקודה זו בקמטים הדוקים באורך גל של עד כמה עשרות ס"מ. המישור הצירי של הקמטים נטוי דרומה במקביל למישור הפוליאציה של S1 וצירי הקמטים נוחתים בכיוון כללי דרום-מערב במקביל ללינאצית מינרלים המפותחת על-גבי S1 (אביגד ומטיוס, 1985). מכאן, שקמטים אלו נוצרו תחת אותו משטר מאמצים רגיונלי שיצר את פולאצית S1 ולכן הם מוגדרים כ-F1.

#### תחנה 5 < נחל שחמון; מגע בין צפחות אילת לגנייס הגרניטי

הגנייס הגרניטי מורכב מקוורץ, K-פלדספר, פלגיוקלז וביוטיט ומראה פוליאצית S1 המפותחת באופן חלש. המגע האינטרוזיבי בין הגנייס הגרניטי לצפחות מאופיין ע"י הופעת "לשונות" של הגנייס בצפחות המשטחות בכיוון כללי התואם S1. במקומות מופיעים קסנוליטים של הצפחות בתוך הגנייס ופורפירובלסטים של פלגיוקלז נפוצים לאורך המגע בצפחות. שיטוח המגעים בין היחידות והתפתחות S1 בגנייס הגרניטי מעידים כי חדירתו התרחשה לפני אירוע המטמורפיזם העיקרי.

הגנייס הגרניטי תוארך לכ-745 מ"ש (Kroner et al., 1990; Kolodner, 2007) (טבלה 1). אולם מחדרים בעלי הרכב דומה שנמצאים ביחידה האמפיבוליטית של הר שחמון תוארכו לגיל של כ-645 מ"ש לפני ההווה (Kroner et al., 1990).

#### תחנה 6 < נחל שחמון; קמטי F2 בצפחות

פוליאצית S1 המפותחת בצפחות ובמידה פחותה בגנייס הגרניטי מקומטת ע"י קימוט מאוחר - F2 השייך לאירוע דפורמציה שני (Shimron, 1972). הקמטים ברובם פתוחים וציריהם נוטים באופן מתון מערבה. מישורי הצירים הם אנכיים ובמקומות ניתן להבחין בפוליאציה נוספת - S2 המפותחת במקביל אליהם.

#### תחנה 7 < נחל שחמון; דייקים מטמורפיים בגנייס הגרניטי

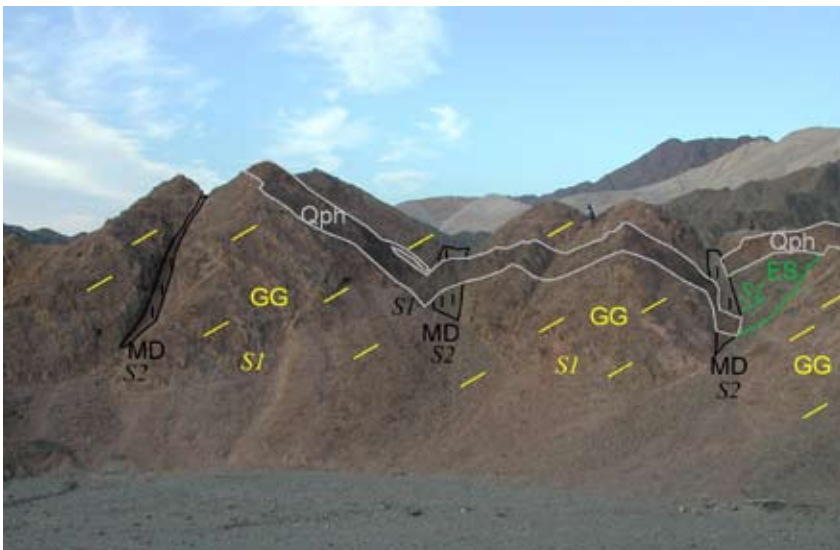
הגנייס הגרניטי כאן נחצה ע"י דייקים שיסטוזיים המורכבים מפלגיוקלז, אמפיבול וביוטיט. המינרלוגיה של הדייקים וההרכב הכימי של האמפיבול מעידים על מטמורפיזם בפציאס גרין-שיסט בתנאי טמפרטורה נמוכים מאלו הרשומים בסלעי הסביבה (Avigad, 1984). קירות הדייקים האנכיים חותכים את הפוליאציה הרגיונלית

S1 המפותחת בסלעי הסביבה, כיונם הכללי מזרח-מערב והם תת-מקבילים למישורי הצירים של F2. בדייקים עצמם מפותחת פוליאיציט S2 המקבילה לקירותיהם (איור 5). לינאציה חזקה ומילוניטים בכיוון מקביל נוצרו גם בגניסי המארח במגע עם הדייקים. מנתונים אלו עולה כי חדירת הדייקים מפרידה בין שני האירועים המטמורפיים ומעידה על שינוי במשטר המאמצים האזורי (Garfunkel, 1980).  
 תיארוך בשיטת U-Pb בזירקונים שנעשה על-ידינו נותן לראשונה גיל לאירוע חדירת הדייקים - כ-507 מ"ש לפני ההווה (Morag et al., in prep.) (טבלה 1). גיל זה מהווה חסם תחתון לזמן האירוע המטמורפי העיקרי באזור אילת. סלעים בעלי גיל מהימן בסביבות 700 מ"ש לפני ההווה הנם יחסית נדירים בשילד הערבו-נובי והדבר בא לידי ביטוי גם בנתונים הרבים שנאספו בעבודות באזור אילת. נראה כי תקופה זו התאפיינה בתקופה של ירידה בפעילות המגמתית במהלך התפתחות השילד, באתיופיה אף הושקע בתקופה זו חתך ימי על-גבי סלעי השילד החשופים (Avigad et al., 2007). ערכי  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  שנמדדו באחדים מהזירקונים מהדייקים הללו הנם רדיוגניים יחסית ומגיעים לערך של +12.0 (איור 4). ערכים גבוהים אלו מעידים על מקור מעטפתי למגמה שעשוי להיות מקושר עם שלב של מתיחה טקטונית גם באזורנו.

## תחנה 8 < נחל נטפים; אנקלוות בקוורץ-דיוריט רודד

מסלול הסיור עבר מבלוק אילת לבלוק רודד, שני הבלוקים מאופיינים ע"י אסוציאציות ליתולוגיות שונות אך שתיהן בעלות היסטוריה גיאולוגית משותפת (Garfunkel, 1980). חלקו העליון של נחל נטפים מתחת בתוך הפלוטון של קוורץ-דיוריט רודד. פלוטון זה הנו המחדר הגדול ביותר בתחומי ישראל והוא שייך לפאזה הקלק-אלקלינית הפוסט-טקטונית. בתוך הקוורץ-דיוריט ניתן להבחין בגופי סלע כהים ודקי-גביש בהשוואה לסלע המארח. לגופים אלו ניתן השם "אנקלוות" (מונח כללי המתייחס לסלע מטיפוס מסוים הכלוא בתוך סלע מטיפוס אחר) מאחר ומקורם ו/או אופן הצבתם אינו ברור. אחדים מגופים אלו הנם בעלי קירות דיסקרטיים ונראים כחדורים לקוורץ-דיוריט אך בד"כ קשה לעקוב אחר גבולותיהם למרחק של יותר מכמה מטרים. אחרים הנם מעוגלים יותר ושוליהם אינם תמיד ברורים (איור 6).

איור 5: תחנה 7 - מבט ממזרח. דייקים מטמורפיים (MD) אנכיים חדורים לגניס הגריניטי (GG) ולצפחות אילת (ES).



הדייקים המטמורפיים חותכים את הפוליאיציט הרגינולית S1 המפותחת בסלעי הסביבה. בדייקים עצמם מפותחת פוליאיציט S2 המקבילה לקירותיהם. כל היחדות חדורות ע"י דייק מאוחר של קוורץ-פורפיר ריוליט (Qph).

תיארוך בשיטת U-Pb של זירקונים ממרבית האנקלוות משני הסוגים, כאן ובנחל רודד, הניב גילים זהים

(בטווח השגיאה) לאלו שהתקבלו באותה שיטה עבור הקוורץ-דיוריט רודד - כ-612 מ"ש לפני ההווה (Morag et al., in prep.) (טבלה 1). נתון זה תומך בהשערה לפיה גופים אלו הם מחדרים סינ-פלוטוניים שליוו את הצבת הפלוטון הקוורץ דיוריטי (לדוגמא Katz et al., 1998). באחד ממחדרים אלו בנחל רודד נמצא גביש זירקון בעל גיל פרה-ניאופרוטרוזואי של כ-2055 מ"ש לפני ההווה. מציאתם של זירקונים כאלו מעידה על תרומה מסוימת מקרום עתיק הנמצא ככל הנראה ברבדים עמוקים יותר של התשתית. אחת האנקלוות המעוגלות בנחל נטפים (איור 6) תוארכה לגיל של כ-845 מ"ש לפני הווה, דבר המעיד על כך שבמקרה זה מדובר בקסנוליט שמקורו בסלע משלבים מוקדמים של יצירת השילד (Morag et al., in prep.). סלע זה הוא נכון להיום הסלע העתיק ביותר שתוארך בתחומי ישראל.



איור 6א: אנקלוות בקוורץ-דיוריט רודד, נחל נטפים; מחדר סינ-פלוטוני בעל קירות דיסקרטיים.



איור 6: אנקלוטת בקוורץ-דיוריט רודד, נחל נטפים; קסנוולית בעל צורה מעוגלת אשר תוארך לגיל של כ-845 מ"ש לפני ההווה.

## מקורות

אביגד, ד. ומתיוס, א., 1985. הקומפלכס המטמורפי של איזור אילת - ביקור מחודש. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי, יטבתה, חוברת תקצירים וסיורים, עמ' 102-106.

ביילסקי, מ., 1982. שלבים בהתפתחות המסיב הערבו-נובי בדרום סיני. עבודת דוקטורט, האוניברסיטה העברית בירושלים, 155 עמ'.

Avigad, D., 1984. The deformation and metamorphism of the schistose dikes in the Elat area (N-E Sinai). M.Sc. thesis, The Hebrew University of Jerusalem, 91 pp.

Avigad, D., Stern, R.J., Beyth, M., Miller, N. and McWilliams, M.O., 2007. Detrital zircon U-Pb geochronology of Cryogenian diamictites and Lower Paleozoic sandstone in Ethiopia (Tigray): Age constraints on Neoproterozoic glaciation and crustal evolution of the southern Arabian-Nubian Shield. *Precambrian Research*, 154(1-2): 88-106.

Be'eri-Shlevin, Y., Katzir, Y. and Whitehouse, M., 2009. Post-collisional tectonomagmatic

- evolution in the northern Arabian-Nubian Shield: time constraints from ion-probe U-Pb dating of zircon. *Journal of the Geological Society*, 166: 71-85.
- Bentor, Y.K., 1961. Petrographical outline of the Precambrian in Israel. *Bulletin . Res. Council. Isr*, 10G: 17-64.
- Bentor, Y.K., 1985. The Crustal Evolution of the Arabo-Nubian Massif with Special Reference to the Sinai Peninsula. *Precambrian Research*, 28(1): 1-74.
- Beyth, M., Stern, R.J., Altherr, R. and Kroner, A., 1994. The Late Precambrian Timna Igneous Complex, Southern Israel - Evidence for Comagmatic-Type Sanukitoid Monzodiorite and Alkali Granite Magma. *Lithos*, 31(3-4): 103-124.
- Eyal, Y., Eyal, M. and Kröner, A., 1992. Geochronology of the Elat Terrain, metamorphic basement, and its implication for crustal evolution of the NE part of the Arabian-Nubian Shield. *Israel Journal of Earth Sciences* 40: 5-16.
- Garfunkel, Z., 1980. Contribution to the Geology of the Precambrian of the Elat Area. *Israel Journal of Earth Sciences*, 29(1-2): 25-40.
- Garfunkel, Z., 1999. History and paleogeography during the Pan-African orogen to stable platform transition: Reappraisal of the evidence from Elat area and the northern Arabian-Nubian Shield. *Israel Journal of Earth Sciences*, 48: 135-157.
- Hargrove, U.S., Stern, R.J., Kimura, J.I., Manton, W.I. and Johnson, P.R., 2006. How juvenile is the Arabian-Nubian Shield? Evidence from Nd isotopes and pre-Neoproterozoic inherited zircon in the Bi'r Umq suture zone, Saudi Arabia. *Earth and Planetary Science Letters*, 252(3-4): 308-326.
- Katz, O., Avigad, D., Matthews, A. and Heimann, A., 1998. Precambrian metamorphic evolution of the Arabian-Nubian Shield in the Roded area, southern Israel. *Israel Journal of Earth Sciences*, 47: 93-110.
- Katzir, Y., Litvinovsky, B.A., Jahn, B.M., Eyal, M., Zandvilevich, A.N., Valley, J.W., Vapnik, Ye., Be'eri, Y. and Spicuzza, M.J., 2007. Interrelations between coeval mafic and A-type silicic magmas from composite dykes in a bimodal suite of southern Israel, northernmost Arabian-Nubian Shield: Geochemical and isotope constraints. *Lithos*, 97: 336-364.
- Kolodner, K., 2007. The provenance of the siliciclastic section in Israel and Jordan: U-Pb dating of detrital zircons. Ph.D. thesis, The Hebrew University of Jerusalem, 133 pp.
- Kröner, A., Eyal, M. and Eyal, Y., 1990. Early Pan-African Evolution of the Basement around Elat, Israel, and the Sinai Peninsula Revealed by Single-Zircon Evaporation Dating, and Implications for Crustal Accretion Rates. *Geology*, 18(6): 545-548.
- Nowell, G.M. et al., 1998. High precision Hf isotope measurements of MORB and OIB by thermal ionisation mass spectrometry: insights into the depleted mantle. *Chemical Geology*, 149(3-4): 211-233.
- Page, M., 1972. The geology of Mt. Shahmon meta-diorite complex. M.Sc. thesis, the Hebrew University of Jerusalem. 99 pp.

- Patchett, P.J., Kouvo, O., Hedge, C.E. and Tatsumoto, M., 1981. Evolution of Continental-Crust and Mantle Heterogeneity - Evidence from Hf Isotopes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 78(3): 279-297.
- Shimron, A., 1972. The Precambrian structural and metamorphic history of the Elat area : with comparative notes on the metamorphic rocks of the Sinai peninsula. Ph.D. thesis, The Hebrew University of Jerusalem, 244 pp.
- Stein, M. and Goldstein, S.L., 1996. From plume head to continental lithosphere in the Arabian-Nubian shield. *Nature*, 382(6594): 773-778.
- Wedepohl, K.H., 1995. The Composition of the Continental-Crust. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 59(7): 1217-1232.