

מקורות חומרי הגלם

הקורא מוצא במקומות שונים אזכור של מחצבים הקיימים בכדור הארץ. גדולתו של האדם היא היכולת להכיר את תכונות המחצב ולהפיק ממנו תועלת. הכרת תכונות הסלעים והיכולת לנצלם ליוותה את המין האנושי במהלך ההיסטוריה והייתה דומיננטית מאוד. מוכרת לכול הכרונולוגיה המתבססת על יכולת ייצור הכלים מחומרי גלם למיניהם – תקופת האבן, תקופת הנחושת, תקופת הברונזה ולאחריה תקופת הברזל. הכרה זו הביאה גם לתיאור מקומות לפי חומרי הגלם הנמצאים בהם וכבר בתיאור גן עדן אנו קוראים: "פִּישׁוֹן הוּא הַסֵּבֵב אֶת כָּל אֶרֶץ הַחַיִּי לְאֶשֶׁר יָשָׁם הַזֶּהָב. וְיָהֵב הָאֶרֶץ זָהָב טוֹב יָשָׁם הַבְּדֵלָח וְאֶבֶן הַשֹּׁהַם" (בראשית ב, יא-יב).

יכולת זאת מלמדת כי כבר בתקופות קדומות "שרטט" האדם "מפה גאולוגית של משאבי טבע". במפה זו נעשה שימוש בין-לאומי ולכן בעת בניית מקדש שלמה אנו קוראים: "וַיָּבֵאוּ אֹפִירָה וַיִּקְחוּ מִיָּשָׁם זָהָב אַרְבַּע מֵאוֹת וָעֶשְׂרִים כֶּכֶר וַיָּבֵאוּ אֶל הַמֶּלֶךְ שְׁלֹמֹה" (מל"א ט, כח).

מושגי יסוד

בצר – כל חומר טבעי הניתן לניצול כלכלי. הניצול הכלכלי משתנה עם הזמן ועם שינויי הטכנולוגיה.

מרבץ – ריכוז מוגבר של מינרלים או של יסוד מסוים שיכול להופיע במינרלים מסוימים מעל שיעור התפוצה הרגיל בקרום כדור הארץ.

טפל – שכבות סלעים המכסות את המחצב או משולכות בו, וכיום אין להן ערך כלכלי.

גורם העֶשְׂרָה – הריכוז במחצב גדול פי כמה יותר מהריכוז הרגיל בקרום כדור הארץ.



"אצבע עוג" שלט הסבר
(כהן, 2014)

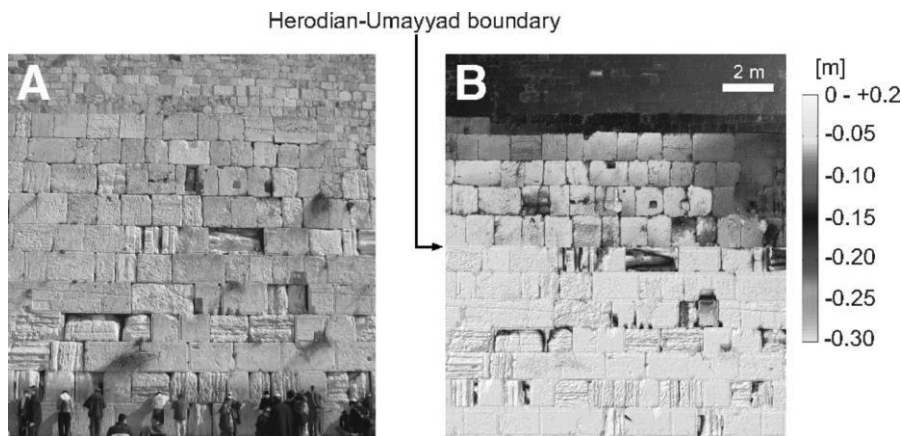


"אצבע עוג"
(שטיינרול, 2014)

איור 1: "אצבע עוג". כיכר מוסקבה, מגרש הרוסים בירושלים

הפקת סלע לבנייה נעשית בדרך כלל במחצבה הפתוחה אל פני השטח, אם כי בירושלים ידועה מערת צדקיהו ששימשה מערת מחצבה. שיטת החציבה תלויה בתוצר הסופי המבוקש חצץ או אבני גזית. האזור הצפוני לרחבת הר הבית בירושלים, היה אזור חציבה בתקופות עבר ובהרבה מהמחצבות נעשה שימוש משני לאחר החציבה לטובת בניית מאגרי מים. דוגמה ידועה לחציבת עמוד שלא הגיעה לכלל מימוש היא גוש הסלע הידוע בשם "אצבע עוג" במתחם מגרש הרוסים בירושלים (איור 1).

ככל שהסלע קשה יותר לחציבה, כן עלותו וייחודו גבוהים יותר. סלע הגיר המשמש את רוב הבנייה בארץ מתבלה, את עדויות הבליה אפשר לראות בכותל המערבי. בליית אבני הגיר מודגמת יפה במבט על הכותל המערבי (ראו איור 2). באיור זה מודגמת תמונה של הכותל ולצידה עיבוד של אותה תמונה כדי להדגיש את המיקרו-טופוגרפיה של הכותל. לפני שטח אלה יש משמעות רבה, שכן מבקשי הבקשות נוהגים לטמון את הפתקים בסדקים שנוצרו עקב הבליה.



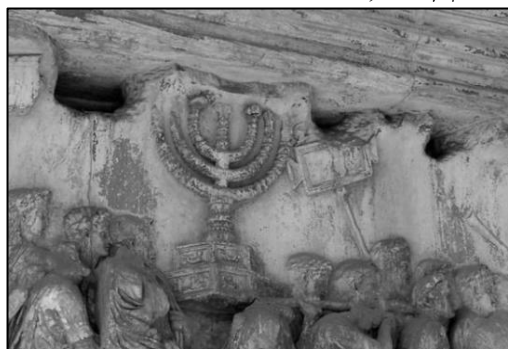
איור 2: מבט אל הכותל: מודגם יפה ההבדל בין הבנייה ההרודיאנית, לפני כ-2000 שנה, לבנייה האומאית לפני כ-1300 שנה.

A – מבט אל אבני הגזית של הכותל;

B – הדגמת המיקרו-טופוגרפיה (גוני הכחול והתכלת מראים בליה רבה)

(Emmanuel & Levenson, 2014)

עמנואל ולוינסון (Emmanuel & Levenson, 2014) שעשו את המחקר העוסק בבליית אבני הכותל מצאו כי האבנים ששימשו לבנייה התחלקו לכאלה שגודל גבישי הקלציט – CaCO_3 (המינרל הבונה את סלע הגיר) הוא מיקרוניס בודדים (מיקרון – אלפית המילימטר) וכאלה שגודל הגבישים בהם עשרות מיקרוניס. באבני הגזית שבהן גודל הגביש קטן יותר, הבליה הייתה מהירה יותר. האבנים



איור 3: תבליט המנורה בשער טיטוס שברומא, הזרועות הבלויות הן עדות לבליה בסלע הגיר
(Dnalor_01, 2007)

הבונות את הכותל נחצבו משתי תצורות: "מִלְכָּה" – גיר לבן גס גביש ו"מיזי חילו" – גיר לבן דק גביש (ראו בהמשך איור 32).

ברור כי תהליך הבליה באבני גיר הוא כלל-עולמי, לדוגמה בליה בשער טיטוס (איור 3).

הפקת המתכות נעשית בדרך כלל בריסוק הסלע וחימום הרסק בטמפרטורה גבוהה. המתכת מונזלת ושוקעת לתחתית התנור. חייבים לציין כי מרבית המתכות אינן מצויות בטבע כמתכת אלא כמינרל המכיל אותן, וכאלה הם כמעט כל המינרלים. תהליך ההפקה כולל לא רק התכה והתמצקות, אלא

גם שינוי כימי. התכה של מינרלים לא בהכרח תיצור מוצק של המתכת הטהורה, על פי רוב יוצר מינרל אחר. ייצוב מתכת כיסוד טהור דורש תהליך מורכב בהרבה ודורש שליטה בסוכב האוויר (בדרך כלל היעדר חמצן ומציאות של יונים שיקשרו חלק מתוצרי ההתכה). ככל שהחומר יקר יותר, כן הוא ינוצל גם בריכוזים נמוכים. זהב לדוגמה ינוצל גם בריכוזים של 1 P.P.M (חלקים למיליון), כלומר כדי לקבל 1 ק"ג של זהב ייכרו 1.000.000 ק"ג של סלע.

אלה הן נקודות ההתכה של המתכות המוזכרות במקרא (מעלות צלסיוס, מעוגל למעלה שלמה): זהב – 1064; כסף – 961; נחושת – 1084; ברזל – 1538; בדיל – 231; עופרת – 327.

כריית מחצבים יכולה להתבצע במכרה פתוח או במכרה תת-קרקעי. המכרה הפתוח הגדול ביותר בעולם הוא מכרה הנחושת בקניון בינגהם שביוטה ארצות הברית. עומק המכרה כיום כ-1 ק"מ ורוחבו 4 ק"מ (איור 4). מהמכרה כורים בעיקר נחושת אך גם זהב, כסף ומולבדן.



איור 4: מכרה בינגהם, יוטה, ארצות הברית
(Jamasmic, 2018)

המכרה התת-קרקעי העמוק ביותר בעולם הוא מכרה הזהב מפוננג (mponeng) שבדרום אפריקה שעומקו כיום הוא כ-4 ק"מ. שמונה מתוך עשרת המכרות העמוקים ביותר בעולם נמצאים בדרום אפריקה, כל השמונה הם מכרות זהב, השניים האחרים בקנדה.

ישנה דרך נוספת לכריית מחצבים והיא בגריפת התשתית של נהרות במקומות שנחשפו בהם מרבצים. באגן הניקוז וחלק מהחומר הבלוי נסחף במורד הנהר, והכבד יותר שוקע בסחף (placer deposits).

מסלע - ליתולוגיה

במהלך החיים אנו נתקלים לעיתים במצב שבו אנו צריכים לבחור סלע. כאשר אנו בונים את ביתנו הראשון והקבלן אומר לנו לכו "למסתת" (שם מקרי) ותבחרו את "השיש" למטבח. פעם שנייה באירוע עצוב יותר כאשר אותו משפט נאמר לנו מפיו של יצרן המצבות. כמעט בכל ההחלטות שקיבלנו לא בחרנו בשיש. שיש (marble) הוא סלע מותמר (מטמורפי), במקורו היה גיר שעבר שינוי בהשפעת חום ולחץ ועתה הוא סלע עמיד מאוד ויפה ומתאים לפיסול.

מאז הפך סלע השיש לחומר הגלם המועדף על הפסלים, והשם שיש אומץ לכל סלע שעבר ליטוש והחלקה. השיש עצמו הוא סלע יקר מאוד ורק בבתים מעטים ובמצבות ספורות משתמשים בו ובעיקר לפסלים או בכנסיות ולכן לא אביא כאן את הדוגמאות השכיחות, אלא את מבנה קבר הטאג' מאהל שבהודו שבנוי כולו משיש (איור 5). איור 6 ו-7 מציגים שימוש בשיש בישראל.



איור 6: דוגמה לעמודי שיש בישראל, עמודי שיש בקיסריה (בובליל, 2005)



איור 5: דוגמה למבנה הבנוי שיש לבן, טאג' מאהל הודו (Forget, 2010)



איור 7: קסילופון משיש בגן המדע של מכון ויצמן (דרור, 2009)

לכל "מסתת" יש קטלוג ולעיתים אף דוגמאות לעשרות סוגי סלעים (מומלץ לבקר בחצר תצוגה כזו). את מגוון הסלעים הזה הגאולוג ממייך לפי דרך ההיווצרות של הסלע.

לפני שנציג את מיון הסלעים נכיר את המושג מינרל.

מינרל – חומר טבע אנאורגני, הומוגני, במצב מוצק, בעל הרכב כימי מוגדר ומערך אטומי מסודר (פלכסר, 1992, עמ' 55. אנאורגני – מייתר את אבני הכליה וכיס המרה מהגדרת מינרל; מוצק – מייתר את הנפט מהגדרת מינרל).

המינרלים מתגבשים בתנאי סובב שונים

מינרלים ממקור מגמתי – מינרלים שהתגבשו בעומק רב בתנאי חום ולחץ גבוהים כמו גביש המינרל הידוע יהלום. כאשר גוש מגמה בעומק הכדור עולה אל הקרום, הרי הטמפרטורה שלו יורדת ולראשונה התגבשו ממנו חומרים שנקודת ההתכה שלהם גבוהה. יש גם מינרלים ממקור מגמתי שעלו אל פני הכדור והתגבשו במהירות על פני הכדור.

מינרלים ממקור השקעתי – דרך זו ליצירת גבישי מינרלים קלה יותר להבנה, שכן היא דרך שאפשר לראותה ב"מעבדת השדה" של כדור הארץ. כל ההולך לאורך החוף רואה מקומות שבהם מתגבשים גבישי מלח. אלה מקומות שבהם מי הים המכילים מלח מציפים שקערוריות על החוף. לאחר זמן המים מתאדים והמלח שהיה מומס במים מתגבש (גם "אבן הקומקום" נוצרת בדרך דומה).

מינרלים ממקור של התמרה – דרך זו היא באופן שעל מינרל שכבר התגבש הופעל חום או לחץ גבוה ואז בזמן הגיבוש מחדש המינרל שנוצר יהיה שונה ממינרל המוצא. לקבוצה זו יש תת-קבוצה ובה השינוי לא חל באמצעות חום או לחץ, אלא עקב מעבר תמיסות במינרל והחלפה של חלק מהיסודות הבונים את הגביש.



איור 8: גבישי גבס במערת נאיקה, מקסיקו.
שימו לב לאדם העומד לצורך קנה מידה
(Van Driessche, 2010)

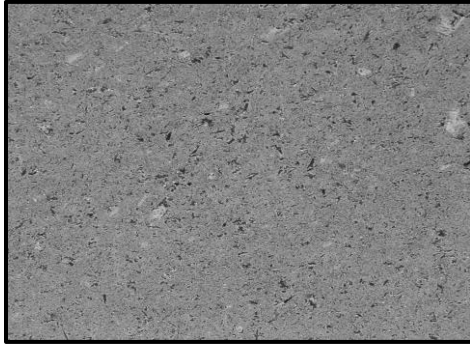
המינרלים גדלים לגבישים לפי תנאי הגיבוש. כאשר הגיבוש מהיר ייווצרו גבישים קטנים, לעיתים כאלה שאי אפשר לראות בעין. כאשר הגיבוש איטי והסביבה שומרת על אותם תנאים לאורך זמן, ייווצרו גבישים גדולים יותר. הגביש הגדול ביותר הידוע כיום בעולם נמצא במערת נאיקה שבמקסיקו, בעומק של 300 מטר מתחת לפני השטח, זהו גביש של גבס, גביש זה אורכו 11 מטר ומשקלו מוערך כ-55 טון (איור 8).

את השאלה שנשאלה בתחילת הפרק על בחירת "שיש" למטבח אפשר לשאול את האישה העומדת בדוכן חנות אבני חן: איזה אבן את בוחרת לשבץ בטבעת? סלע הוא החומר המוצק של כדור הארץ והוא בנוי כצבר של מינרלים הנוצר בדרך טבע. סלעים עשויים להיות מורכבים מגבישים של מינרל אחד בלבד – סלע מונומינרלי, דוגמת אבן גיר המורכבת בלבד מהמינרל קלציט או מתערובת גבישים של כמה מינרלים – סלע פולימינרלי, דוגמת גרניט המורכב מגבישי מקוורץ, פצלת השדה ונציץ (שמות מינרלים).

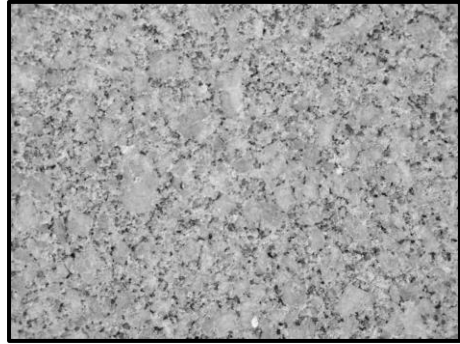
כמו המיון שהצגנו למינרל, מיון הסלעים הוא כזה:

סלעי יסוד (מגמתיים) – סלעים שנוצרו מגיבושו של חומר מותך המצוי במעמקי כדור הארץ וקרואי מגמה. קבוצת סלעים זו מתחלקת לשתי תת-קבוצות אלה שהתגבשו בעומק ועלו אל פני כדור הארץ

כמוצק נקראים סלעים פלוטוניים ומאופיינים בגבישים גדולים. אלה שעלו אל פני כדור הארץ כנוזל והתקררו והתגבשו על פני הכדור נקראים סלעים וולקניים ומאופיינים בגבישים דקים (איור 9).



בזלת סלע וולקני



גרניט סלע פלוטוני
(Friman, 2007)

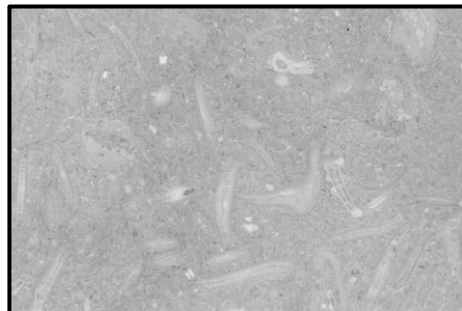
איור 9: דוגמאות לסלעי יסוד

סלעי משקע (סדימנטריים) – סלעים שנוצרו על פני כדור הארץ. מקורות החומר לבניית סלעים אלה הוא כל מה שנע על פני כדור הארץ: אבק ממקורות כלשהם, חול, חומר מומס, שברי סלעים, שאריות חומרים אורגניים. סלעים אלה מתחלקים לפי מקום השקיעה לסלעי משקע ימיים וסלעי משקע יבשתיים (איור 10).

סלעים מותמרים (מטמורפיים) – סלעים שעברו שינוי עקב חום או לחץ שפעל עליהם. לעיתים השינוי יחול לאחר מעבר תמיסות (איור 11).



איור 11: סלע מותמר, שיש.
"הסידור" בקווים הוא מאפיין של סלעים מותמרים
(חברת STONZ, ח"ת)



איור 10: סלע משקע.
מבט מקרוב בסלע גיר מאפשר לראות את דפוסי המאובנים הימיים
(majestic, n.d.)

מקורות

- בובליל, א' (2005, 24 בספטמבר). **הפלסטרה** [תמונה].
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Thefala.JPG>
- דרור, א' (2009, 6 במרץ). **מכון ויצמן – גן המדע על שם קלור** [תמונה].
<https://danielventura.fandom.com/he/wiki/שיש>
- חברת STONZ. (ח"ה). **קררה** [תמונה].
<http://www.stonz.co.il/showproduct.aspx?pos=41&max=76&cat=1>
- כהן, צ"פ (Hoshvilim) (2015, 12 במאי). **מגרש הרוסים בירושלים: שלט הסבר** [תמונה].
http://www.wikiwand.com/he/הבשן_מלך_עוג_עוג_אצבע
- פלכסר, ע' (1992). **גיאולוגיה: יסודות ותהליכים** (מהדורה שנייה). אקדמון.
- שטיינר, א' (2014, 31 בינואר). **טיול בירושלים: שריד ארכיאולוגי בירושלים** [תמונה].
<https://www.pikiwiki.org.il/image/view/34482>
- majestic. (n.d.). *Limestone & Slate* [Image].
<https://www.majesticfabrication.com/limestone>
- Dnalar_01. (2007, July 27). *Rome, Arch of Titus, triumphal procession* [Image].
https://en.wikipedia.org/wiki/Arch_of_Titus#/media/File:Rom,_Titusbogen,_Triumphzug_3.jpg
- Emmanuel, S., & Levenson, Y. (2014). Section of the Western Wall, Jerusalem, imaged using different methods [Image]. Limestone weathering rates accelerated by micron-scale grain detachment. *Geology* 42(9), 751-754.
<https://doi.org/10.1130/G35815.1>
- Forget, Y. (2010, August 14). *Taj Mahal, Agra, Indien* [Image].
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taj_Mahal,_Agra,_India_edit2.jpg
- Friman, I. (2007, July 16). *Granit memiliki kuarza, feldspar dan mika* [Image].
<https://ms.wikipedia.org/wiki/Granit#/media/Fail:Fj%C3%A6regranitt3.JPG>
- Jamasmie, C. (2018, January 26). Kennecott mine [Image]. *Rio Tinto lifts force majeure at Kennecott copper mine*. <http://www.mining.com/rio-tinto-lifts-force-majeure-kennecott-copper-mine/>
- Van Driessch, A. (2010, April 15). *Gypsum crystals of the Naica cave*. *Note person for scale* [Image].
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cristales_cueva_de_Naica.JPG

מקורות להרחבה

- פלכסר, ע' (1992). **גאולוגיה: יסודות ותהליכים**. אקדמון.
- שובל, ש' (2006). **צפונות כדור הארץ**. האוניברסיטה הפתוחה.