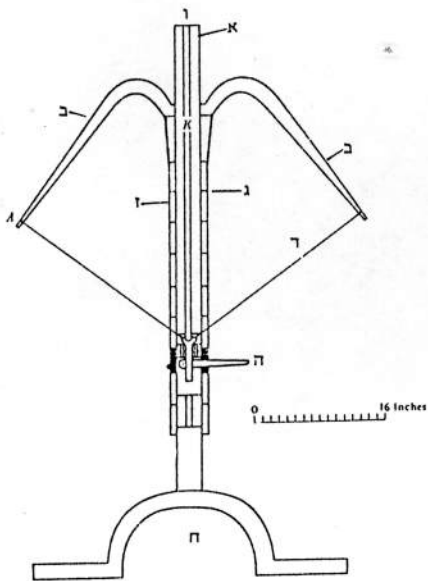


אבני בליסטראות מתל דור

והארטילריה של העולם היווני-הרומי

ישראל שצמן



גאסטראפטס

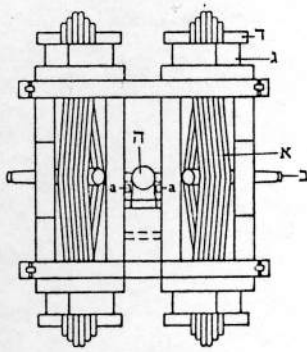
א. מחלק ה. הדק
ב. זרועות הקשת
ג. שיננה
ד. מוט
ה. חריץ
ו. תיבה
ז. מיתקן "אומגה"

מאז שנת 1980 נערכות בתל דור חפירות מטעם האוניברסיטה העברית והחברה לחקירת ארץ-ישראל ועתיקותיה בראשותו של אפרים שטרן. בחפירות אלו נתגלו למעלה ממאה וארבעים אבני בליסטראות שלימות או כמעט שלימות, ומלבדן עוד שברים של אבנים כאלו. כל החומר הזה שמור במוזיאון של קיבוץ נחשולים, שבו נשמרות גם עשר אבני בליסטראות שנמשו ממפרץ דור. באתר החפירות, בשטח B, בקירבת מקום לשער שבצדו המזרחי של התל, ניתן להבחין בעוד כמה אבנים המבצבצות מן האדמה, ודומה, שבמקום זה עשויה להימצא עוד כמות לא קטנה של אבנים. כיוון שהחומר המצוי מאלף, רצוי להגיש כבר עתה דיווח שבון ראשוני, ולא להמתין עד שייחשפו כל האבנים המצויות עדיין מתחת לפני השטח. סקירה על הארטילריה העתיקה תסייע להבין את ממצא האבנים האלו.

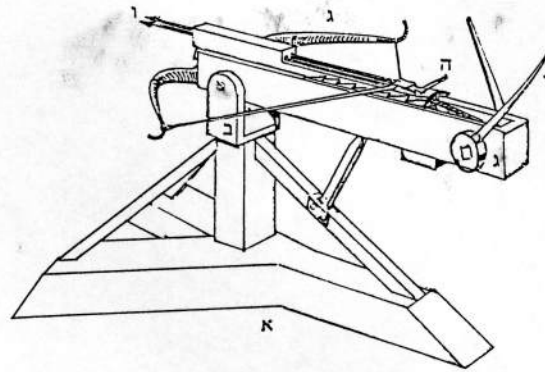
המצאת כלי הארטילריה

השימוש בארטילריה – כלומר, כלים מיכאניים מורכבים לירי של חיצים כבדים (להלן: קאטאפולטות או מטולי חיצים) או של אבנים (להלן: בליסטראות או מטולי אבנים) – החל במאה הר' לפני סה"נ. היה זה דיוניסיוס הא', שליטה של סיראקוס, שנתן את הדחיפה להמצאת הכלים האלה. במסגרת הכנותיו למלחמה נגד קארטאגו, ששלטה על חלק ניכר מסיציליה, אסף בעלי-מלאכה וטכנאים מומחים והמריצים להכין כלי-נשק מכל הסוגים, לייעל אותם ולשפרם. הוא הפעיל לראשונה את המטול שהומצא אז בעת המצור על העיר מוטיה שבמערב סיציליה בשנת 397. בשלב זה הקאטאפולטה היתה פרימיטיבית: היתה זו, למעשה, קשת שהורכבה על מיתקן-עץ. היוונים קראו למטול הזה גאסטראפטס (קשת-בטן). משום שמפעילה דרך את הכלי תוך שהשעין על בטנו את החלק האחורי, שעובד בצורת האות היוונית אומגה. מיתקן-העץ כלל שני חלקים, שהאחד הורכב על האחר. הקשת חוברת לצדו הקדמי של החלק התחתון, שצורתו היתה כשל תיבה צרה וארוכה

¹ ראה: א' שטרן, "חפירות בתל דור – עיר-גמל כנענית-פיניקית בחוף הכרמל", קדמוניות, כ (תשמ"ח), עמ' 66-81; הנ"ל, "חומות דור", ארץ-ישראל, יט, ירושלים תשמ"ז, עמ' 153-159. אני מודה לפרופ' אפרים שטרן על שאיפשר לי לבדוק את האבנים האלו וסיפק לי מידע על החפירות. כן אני מבקש להודות לאילן שרון על המידע שהעמיד לרשותי, ובמיוחד על מקומות מציאתן של האבנים.



ארגז-עץ; מבט מלפנים
א. קפיץ מפותל ב. מוט ג. תושבת-מתכת
ד. יתד ה. אבן



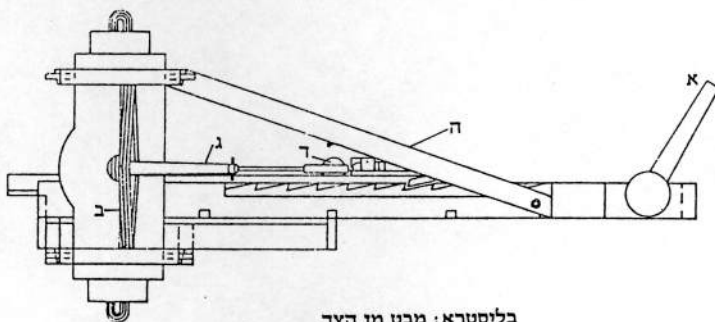
מטול-קשת
א. כן-עץ ב. מפרק בעל ציר ג. זרוע קשת
ד. ידית הכננת ה. הדק ו. חיצים

כן-עץ, מנגנון-דריכה עם מחלק וידיות, נצרה והדק, כוחם של הקפיצים המפותלים עלה פי כמה על זה של הקשת במטולים הקודמים, אפילו היתה גדולה והורכבה מן החומרים הטובים ביותר (צירוף של קרן, גידים ועץ). בבליסטראות היה צריך להשתמש במחלק רחב יותר מזה של הקאטאפולטות. אך אילו בנו את התיבה הרגילה (syrinx), משקלה היה גדול פי 1.75 מזה של תיבת קאטאפולטה. לפיכך החלו להשתמש בחלק עץ שקראוהו סולם – על שום דמיונו לסולם – שהיה, כמובן, הרבה יותר קל. המיתר המחבר בין המוטות הוחלף ברצועה, שאחזה את כדור-האבן אחיזה הרבה יותר טובה. כן התקינו שתי קורות, שחיברו באלכסון את חלקו העליון של הפלינתיון לחלקו האחורי של הסולם, וכך הבטיחו יציבות למיתקן כולו. פיתוחם של מטולי-הקפיץ החדשים הושג בערך בשנים 330–350 לפני סה"נ. דומה, כי הניסויים וההמצאות האלה נעשו על-ידי מהנדסים ובעלי-מלאכה שהועסקו על-ידי פילי-פוס הב' (שלמד את הלחץ מן המארב שהכין לו אונומארכוס) ובנו אלכסנדר הגדול. במצור שהטיל פיליפוס על העיר פריג-תוס בשנת 340 מילא קאטאפולטות תפקיד חשוב, ודומה, שהיו מן הטיפוס החדש. בליסטראות בצבא המאקדוני נזכרות

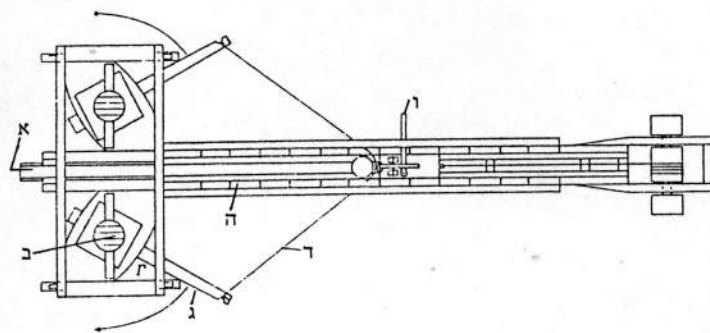
ורכת הקשת. והיידוש האחר היה הצבת המטול על כן-עץ וזיכורם על-ידי מפרק בעל ציר. הודות לחידושים אלה אפשר היה להתקין קשתות גדולות ביותר על מיתקן-העץ. עתה גם האפשר לירות אבנים, במקום חיצים, לאחר שהחריץ שבו תנחו החיצים הותאם להטענת כדורי-אבן. המפרק איפשר הטטה והגבהה של המטול. טווח הירי הגיע עד 280 מ', וכוח ההרירה של האבנים והחיצים גדל פי כמה, עד ששריון רגיל לא עמד עוד בפניהם. ככל הידוע לנו, השימוש הראשון במטולי אבנים בשדה-הקרב נעשה במארב שהכין אונומארכוס, מצביא ופיקוס, לצבאו של פיליפוס הב' מלך מאקדוניה בשנת 333. על רכס גבעות הציב בסתר מטולי אבנים וערך את מרבית חיזותיו בשדה שלפני הרכס. עם תחילת הקרב נסוגו חייליו אל אונומארכוס לעבר הרכס, החיילים המאקדוניים התפתו לדוף אחריהם ונכנסו לשדה ההריגה של הבליסטראות. תחת מור האבנים שנפלו עליהם התפורר הפאלאנקס של המאקדונים, ואז תקפו אותם חיילי אונומארכוס והניסום.

מטולי-קפיץ

החידוש המהפכני הבא הושג עם החלפת הקשת בשני מוטות-עץ, שהיו אחוזים בתוך שני קפיצים מפותלים. הקפיץ היה צרור-תלים שהיו עשויים חוטים שזורים, ולייצורם שימשו גידים, דעות סוסים או שערות נשים. שני קפיצים כאלה הותקנו מתוך ארגז-עץ חלול (plinthion), שבו נחררו חור עליון וחור תחתון לכל קפיץ. החבלים הושחלו דרך החורים סביב יתדות, שהוצמדו אל הארגז בחלקו העליון ובחלקו התחתון, כלומר, זו יתדות לכל קפיץ. בין כל יתד לבין ארגז-העץ חצצה תושבת-מתכת (choinix ביוונית; modiolus בלאטינית), אשר הצמדה אל הארגז בעזרת פינים. תושבת זאת איפשרה את מתיחת החבלים – כלומר, הקפיץ – באמצעות היתד לפני הפעלת המטול. היא גם מנעה את שקיעת היתד בתוך לוח-העץ כתוצאה מן הלחץ שנוצר בזמן הפעלת הכלי. בין שני הקצוות של המוטות נקשר מיתר, כמו בין הקצוות של קשת יעילה. בעיקרו של דבר נשארו שאר חלקי המטול ללא שינוי:



בליסטרא; מבט מן הצד
א. ידית הכננת ב. קפיץ מפותל ג. מוט
ד. אבן ה. קורה



בליסטרא; מבט מלמעלה

א. חריץ
ב. קפיץ מפותל
ג. מוט
ד. מיתר
ה. סולם
ו. הרק

לראשונה במצור שהטיל אלכסנדר על האליקארנאסוס בשנת 334, ואז הופעלו מעל מגדלי-מצור. ייתכן, שעדיין היו מן הטיפוס הקודם. לעומת זאת, הבליסטראות שהפעיל אלכסנדר בשנת 332 נגד צור היו, כפי הנראה, מן הטיפוס החדש, לפי שהיו יעילות נגד חומות, ולא רק נגד אנשים. בניסויים שנעשו במטולים שנבנו על-פי התיאורים העתיקים הושגו טווחים של 300-370 מ'. טווחים גדולים יותר של 400-500 מ' אפשר להשיג, כנראה, על-ידי בנייה טובה יותר של המטולים ועל-ידי הפעלתם בזוויות ירי נכונות.

מידות המטולים

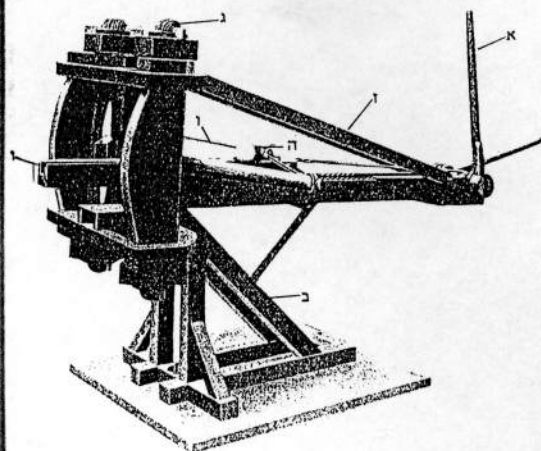
גם לאחר המצאת מטולי-הקפיץ היה צריך להתגבר על קשיים ולפתור כמה בעיות מעשיות חשובות. רק לאחר כשמונים שנה של מסה ומעש מצאו את הפתרונות מהנדסים ובעלי-מלאכה, במיוחד אלה שהעסיקו אותם תלמי הא' ותלמי הב' מלכי מצרים.

בעיה אחת היתה מציאת היחס הרצוי בין אורך הקפיץ לקוטרו. אנשי מקצוע תפשו את הקפיץ כגליל בעל גובה מסוים וקוטר מסוים. קוטרו של ה"גליל" - כלומר, הקפיץ - היה, כמובן, גם קוטר החורים שנחררו בפלינתיו, וזה היה גם הקוטר של תושבת-המתכת. בעיה אחרת היתה מציאת הגודל האופי-טימאלי של קפיץ המתאים לחץ באורך נתון או לאבן במשקל נתון. לבסוף, היה צריך למצוא את הגדלים הנכונים של שאר חלקי המטול המתאימים לגודל נתון של קפיץ. בערך בשנים 270-280 לפני סה"נ הושגו הפתרונות וסוכמו בחיבורים טכניים, שנכתבו על-ידי בעלי-מקצוע, בשורות של נתונים נפרדים לקאטאפולטות ולבליסטראות. נמצא, שהקוטר של קפיץ צריך להיות קטן פי תשעה מן האורך של חץ נתון. לדוגמה: חץ שאורכו 90 ס"מ הופעל על-ידי מטול שקוטר קפיצו 10 ס"מ. הנוסחה להתאמת קוטר הקפיץ למשקל האבן בבליסטראות היתה מסובכת יותר. המחבר האלכסנדרוני הרון, שחי במאה הא' לסה"נ, כותב, כי צריך להכפיל את משקל האבן במנות (מנה = 436.6 גרם) פי מאה ולמצוא את השורש השלישי של מכפלה זאת. לתוצאה יש להוסיף עוד עשירית, והמספר

המתקבל נותן את קוטר הקפיץ בדאקטילים (דאקטיל = 1/93 ס"מ). ניתן לנסח זאת כך: $D = 1.1 \sqrt[3]{100 \times M}$ (D הוא קוטר בדאקטילים; M הוא משקל האבן במנות). לדוגמה: במטול שנועד לירי של אבנים במשקל עשר מנות הותקן קפיץ שקוטרו הוא $10 \times 1.1 \sqrt[3]{11} = 21.23$ ס"מ.

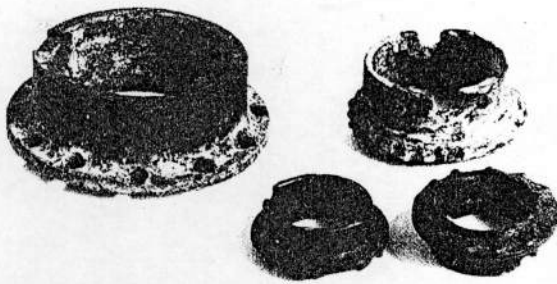
כפי שמוסרים הסופרים הטכניים, החלקים האחרים של המטולים נגזרו לפי יחסים נתונים ביחס לקוטר הקפיץ. בניין כלי הארטילריה לפי יחסים אלה הבטיחה את תפקודם הטוב הפיקה את הכוח הרב ביותר האפשרי מן הקפיץ והשיגה את הטווח המירבי. גובה ארגו-העץ של קאטאפולטה היה פי 1.5 מקוטר הקפיץ, אורך התיבה שני בזה המחלק היה פי 1.6, וגובה העמוד המרכזי של כן-העץ היה פי 12 מן הקפיץ. קאטאפולטה שנועדה לירי חץ שאורכו, לדוגמה, 45 דאקטילים (86.85 ס"מ) צוידה אפוא בקפיץ שקוטרו חמישה דאקטילים (9.65 ס"מ) אורכה היה 1.54 מ' וגובה התיבה - מעל פני הקרקע - 1.16 מ'. עם זאת דומה, שלא הגבירו עוד את הכנים של קאטאפולטות שנועדו לירי חיצים ארוכים יותר, לפי שהטעינה והכוונתן היו בלתי-אפשריים במקרה זה. הכנים של קאטאפולטות גדולות הורכבו ללא ספק מקורות עבות וכבדות, אך גובהן של הב' לא היה שונה בהרבה מזה של קאטאפולטות אחרות. ממד הבליסטראות היו קצת שונים. אורך הסולם היה פי 19 מקוטר הקפיץ, אורך המוט - פי 6, ואורך הרצועה - פי 12.6. אורט הכולל של המטול (הסולם יחד עם החלק האחורי שבו הותקנה הכננת) היה בערך פי 25 מקוטר הקפיץ, והרוחב הכולל היה פי 15. בליסטרא שנועדה לירי אבן שמשקלה, לדוגמה, 15 מנות (6.5 ק"ג) צוידה אפוא בקפיץ שקוטרו 12.6 דאקטילים (14.3 ס"מ). אורכה היה 6 מ' ורוחבה 3.64 מ'.

הסופרים הטכניים, הן היוונים הן הרומאים, מיינו את הבליסטראות בהתאם למשקל האבנים שנועדו לירות, ולא



בליסטרא; שחזור מודרני

א. ידית הכננת
ב. כן-עץ
ג. קפיץ מפותל
ד. חריץ
ה. אבן
ו. מיתר
ז. קורה



תושבות-מתכת ממאהריה

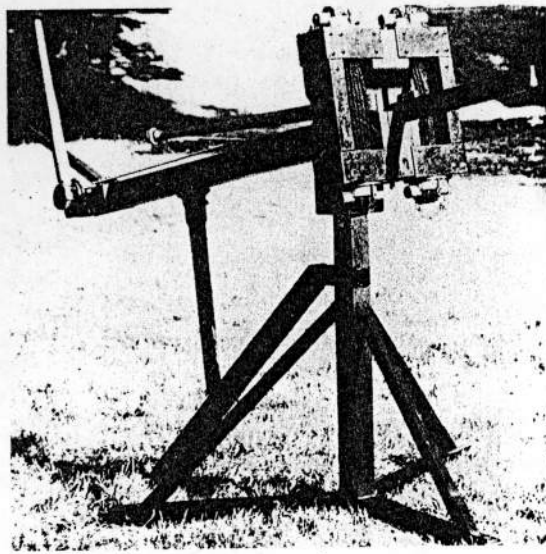
הזאת, שיוחסה למאה ה' לפני סה"ג, שוחזרה, ובניסוי ירי שנעשה בה הושג טווח של 305 מ'. תושבות-מתכת דומות נתגלו בחפירות באתרה של אפירה העתיקה שבמערב יוון ובמטען של אנייה ששבריה נתגלו ליד מאהריה שבחוף טוניסיה. ממצאים אלה הם מן המאות ה'–הא' לפני סה"ג. ממצאים אחרים מסוג זה נתגלו במקומות אלה: אזאילה בספרד, ליון בצרפת, קרימונה באיטליה, באת' באנגליה, גורניאה ואורסובה ברומניה וחתרה בעיראק – וכולם הם מימי הקיסרות הרומית. בכמה מקומות נתגלו ראשי-חיצים ממתכת השייכים, כפי הנראה, לקאטאפולטות. במחסני-הנשק המלכותיים בפרגאמון נמצאו ראשי-חיצים מברזל של קאטאפולטות מן התקופה ההלניסטית. גם בקורבר'ג שבאנגליה נתגלו ראשי-חיצים מסוג זה, ומובן, שהם של הצבא הרומי. בחפירות שערך שמריה גוטמן בגמלא (דיר קרוח) גילה כמה ראשי-חיצים של קאטאפולטות.

הממצאים המעניינים ביותר בנושא שלפנינו הם של אבני בליסטראות. בחפירות שנערכו בפרגאמון בשנים 1927–1936 נחשפו בחלק הצפוני של האקרופוליס מחסני-הנשק המלכותיים, חמישה במספר. נאספו ונבדקו 961 אבני ארטילריה, אך בשטח נמצאו עוד אבנים רבות. האבנים שנבדקו נתגלו ליד הבניינים, ולא בתוכם. דומה, כי מאז הזמן שנערמו לראשונה במקום זה איש לא נגע בהן. מכאן אפשר להסיק, שהאחראים לא חששו להחזיק את ערימת התחמושת בשטח פתוח. המחסן נים נבנו בזמנם של אטאליוס הא' ואומנס הב', כלומר, במאה ה' לפני סה"ג ובתחילת המאה ה'. האבנים הן מחומר האנדסיט, והן מסותתות ומעובדות היטב – צורתן הכדורית בדרך-כלל מושלמת. החוקרים שבדקו את האבנים מיינו אותן על-פי משקל וקוטר. בקבוצת האבנים שמשקלן 22.8–25.8 ק"ג נמנו 353 אבנים. נתברר, שלא היתה התאמה מלאה בין משקל האבנים לקוטרן: לא תמיד קוטר גדול יותר מלמד שהאבן כבדה יותר. היו, לדוגמה, אבנים שמשקלן 23.9 ק"ג וקוטרן 29.23 ס"מ, אך גם אבנים שמשקלן 25.7 ק"ג וקוטרן רק 26.32 ס"מ. כל 353 האבנים נכללו בקבוצה אחת, לפי שנחשבו כשייכות לקאליבר של 60 מנות (טאלנט אחד) = 26.16 ק"ג. על-סמך משקלן של האבנים הסיקו החוקרים, כי בפרגאמון היו

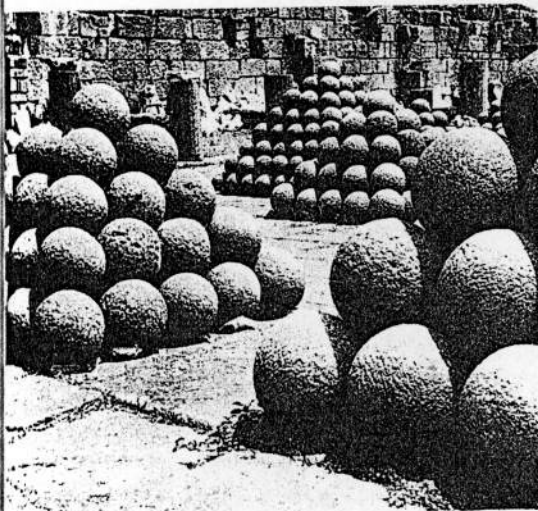
נהתאם לקוטר הקפיץ או לקוטר האבן (האבנים עובדו בצורת כדור). קוטרו של כדור-האבן היה יכול להשתנות במקצת, נהתאם לסוג האבן שממנו הוכנה התחמושת למשקל נתון. ואולם, שינויים קטנים לא הפריעו, שכן למטול האבן לא היה, כמובן, קנה כמו לכלי ארטילרי מודרני. עם זאת מקובל להשתמש בספרות המודרנית במונח קאליבר. אין המונח מציין קטר כלשהו, אלא את משקלו האופטימאלי של כדור-האבן המתאים למטול נתון. מובן, כי במטול שנבנה לירי, לדוגמה, של אבנים במשקל של 30 מנות אפשר היה לירות גם אבנים נמשקל 20 מנות, אלא שבמקרה זה לא הופק מירב התועלת מן המטול. מן הצד האחר לא נבנו מטולים באופן שיתאימו לכל המשקלים האפשריים. המחבר האלכסנדרוני פילון, שחי במאה ה' לפני סה"ג, נותן כדוגמאות את קוטר הקפיצים למטולים של 10, 15, 20, 30 ו-50 מנות, כיכר אחד (60 מנות), 2 כיכרות ואף 2.5 כיכרות. המחבר הרומי ויטרוביוס, שכתב את חיבורו בתחילת תקופתו של אוגוסטוס והסתמך הן על נסיונותיו והן על מחברים יוונים, נותן רשימת משקלים על בסיס הליברה הרומית (כ-325 גרם): 2, 4, 6, 10, 20, 40, 60, 80, 120, 160, 180 ו-200 ליברות.

ממצאים ארכיאולוגיים

ממצאים ארטילריים שנתגלו באקראי או בחפירות ארכיאולוגיות כוללים חלקים של כלי-הירי ותחמושת. בשנת 1912 נתגלו באמפוריאס שבצפון-מזרח ספרד שרידים של מחסן נשק, שכללו חלק שזוהה כעבור שנתיים כארגז-העץ (פליגיתיון) של קאטאפולטה. הממצא החשוב ביותר היה תושבת-מתכת (מיניקס). קוטר הפנימי של התושבת היה 7.9 ס"מ, והוא שווה, כמובן, לקוטר הקפיץ של הקאטאפולטה; אפשר אפוא לחשוב, שהתאימה לירי חיצים באורך של 72 ס"מ. הקאטאפולטה



קאטאפולטה; שחזור מודרני



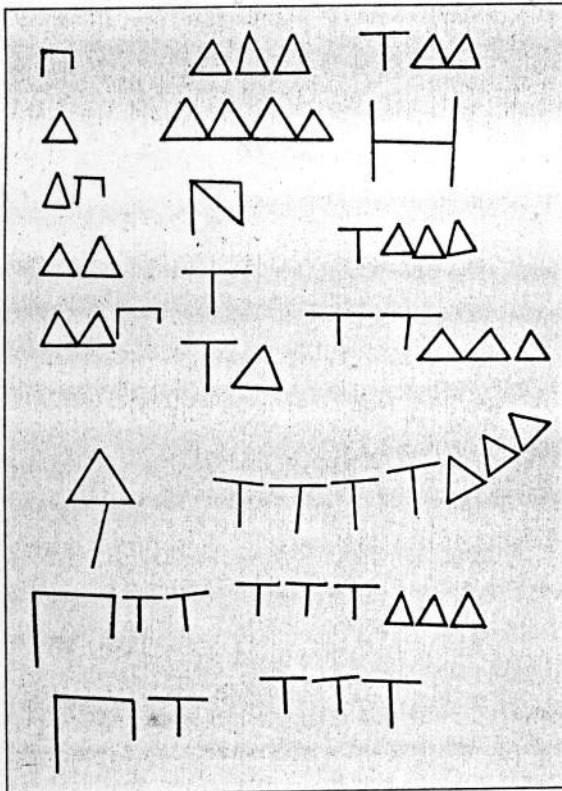
אבני-בליסטראות מפרגאמון; סידור מודרני



אבני-בליסטראות מפרגאמון באתרן



אבני-בליסטראות מפרגאמון, 13 קאליברים



מונוגרמות על אבני בליסטראות מרודוס

בזמן המצור של אנטיוכוס ה' סידרס על ירושלים בשנים 132-134 לפני סה"ג, בקירוב. ליד הירקניה במדבר יהודה נתגלו שרידים של מערכת-מצור, ובקירבתם גם אבן בליסטרא אחת. ניתן לייחסם למצור שערך הורדוס על אחותו של אנטיגנוס, המלך החשמונאי האחרון, שהצליחה להשתלט על מבצר זה. ממצאים רבים יותר נתגלו באתרים הקשורים למרד הגדול. ליד החומה המערבית של העיר העתיקה, כנראה במקום שבו תקפו הרומאים בשנת 70, נמצאו יותר מ-25 אבני בליסטראות, שמשקלן 0.6-4.5 ק"ג. אבני הבליסטראות אשר נתגלו בהרודיון קשורות, כנראה, למצור הרומי של לוקיליוס באסוס, שיוסף בן מתתיהו מזכיר אותו במשפט אחד. הדעת נותנת, שאבני הבליסטראות שנתגלו ליד מכוור הן של הצבא הרומי שצר על המקום בשנת 72. בתוך המבצר נתגלו 140 אבנים, שהיו מן-הסתם חלק ממערכת-ההגנה של חיל-המצב הרומי, ולפניכן של חיל-המצב של הורדוס. בגמלא נתגלו מאות אבני בליסטראות. גם בחפירות במצדה נתגלו מאות אבני בליסטראות. משקלה של האבן הגדולה ביותר הוא 22 ק"ג, כלומר, 50.4 מנות, וייתכן, שהיא חלק מתחמושת של בליסטרא בקאליבר של 50 מנות. מן הצד האחר ידוע, כי הלגיון העשירי - הלגיון שצר על מצדה - הצטיין בבליסטראות בקאליבר של כיכר אחד, כלומר, 60 מנות (יוסף בן

טוליס ב-14 קאליברים: 10, 13, 15, 18, 20, 30, 40, 60, 65, 80, 105, 120 ו-180. המטול השכיח ביותר היה של 60 מנות (טאלנט). מכלל האבנים 78% (759) היו בתחום 30-60 מנות. מטולים קטנים (בקאליברים של 15 מנות ופחות) כמעט לא נמצאו בפרגאמון.

בתחום שטחה של קארתאגו העתיקה נתגלו ונבדקו 5,600 אבני בליסטראות. האבנים נתגלו בשמונה מקומות, ודומה, שהיו של הארטילריה של העיר בתקופה שלפני הריסתה על-יד רומא בשנת 146. סיתותן של אבנים אלו ועיבודן נפלו מן היד של האבנים שנתגלו בפרגאמון. לפי משקלן חולקו האבנים לקבוצות אלו: קלות (2.5-4.5 ק"ג), בינוניות (5-7.5 ק"ג), כבדות (9-14 ק"ג) וכבדות ביותר (16-40.5 ק"ג). חלוקה זו כשלעצמה אינה מלמדת איזה קאליברים היו למטולים של קארתאגו. עם זאת, כמו בממצא האבנים מפרגאמון, אפשר להציע קאליברים ולייחס להם אבנים במשקל הקרוב למשקל ומתאים ביותר תיאורית - לפי הנוסחה שהוצגה לעיל - לכל קאליבר. ייתכן, שכל 3,500 האבנים במשקל 5-7.5 ק"ג (11.5-17.2 מנות) נועדו למטולי 15 מנות. אבל גם ייתכן, כי חלקן נועדו למטולים של 13 מנות וחלקן למטולים של 17 מנות. האחראים להגנה על העיר מן-הסתם הביאו בחשבון את שני החומות ואת גורל התאים במגדלים, ובהתאם לכך קבעו את הבליסטראות שיוצבו בכל מקום. מכל-מקום ברור, כי בקארתאגו היתה נטייה להעדיף מטולים של 10-20 מנות. בחפירות שנערכו ברודוס בשנת 1938 נתגלו 353 אבני בליסטראות. הסתתם עבדו בדקדקנות מרובה, ועלה בידם לזוות לאבנים צורה כדורית מושלמת. רמת הביצוע שלהם שולה אף על זו של סתתי פרגאמון. הם השתמשו באבן-גיר מלחלה שקופה וחרתו אותיות כדי לציין את משקל האבנים. אותיות אלו נצבעו בצבע אדום כדי להקל על הקלעים את הקריאה וכמובן את השימוש באבנים בעת קרב. ברבות מן האותיות נשתמרו שרידי הצבע האדום. ייחודו של ממצא זה הוא, שכאן אפשר לראות בבירור מה היו הקאליברים (במנות) של המטולים שהוזנו באבנים של 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150 ו-180 מנות. אנשי רודוס העדיפו את הקאליברים של 10-40 מנות (306 אבנים). באחרים מן הקאליברים המשקל הממוצע של כלל האבנים הוא קרוב מאוד למשקל התיאורטי של הקאליבר. ואולם, גם באבנים אלו, שעיבודן טוב מזה של כל אבני הבליסטראות שנתגלו עד כה, יש הבדלי משקל בין האבנים השונות השייכות לקאליבר הנחוץ. בקאליבר של 10 מנות ההבדל בין האבן הכבדה ביותר (15 מנות) לבין האבן הקלה ביותר הוא 0.7 ק"ג, בקאליבר של 15 מנות ההבדל הוא 0.8 ק"ג, ובקאליברים של 20 ו-30 מנות ההבדל מגיע לק"ג. זאת ועוד, בקאליברים אחדים (25, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ו-150 מנות) המשקל הממוצע נמוך ב-0.64-2.40 ק"ג מן המשקל התיאורטי.

בארץ-ישראל נתגלו אבני בליסטראות בכמה מקומות. נמצודה בירושלים נמצאו כ-200 אבנים במשקלים ממוצעים של 0.5, 2, 3, 5, 9, 17, 26 ו-29 ק"ג. אבנים אלו נורו, כנראה,



אבני-בליסטראות באתרן בדור

מתתיהו, מלחמות היהודים, 167:3; 269:5–270). ייתכן אפוא, כי האבן הזאת שייכת לבליסטרא מקאליבר זה. כך או כך, פרט לאבן זו ועוד שתי אבנים כבדות, כל האבנים הן במשקלים שבין 0.6 ל-5.2 ק"ג. הרומאים במצדה העדיפו בעליל בליסטראות בקאליברים קטנים. ולבסוף, בתל שלם, כ-12 ק"מ מדרום לבית-שאן, נתגלו, בין היתר, ראשי-חיצים וכמה אבני בליסטראות. לפי כתובת-הקדשה שנמצאה באתר היה במקום מחנה של יחידת-משנה של הלגיון השישי.

התפרוסת בשטח של אבני הבליסטראות בתל דור
הריכוז הגדול ביותר של אבני בליסטראות בתל דור נתגלה באיזור B2, מעט מדרום-מזרח לשער שבחומה המזרחית של העיר. בחפירות שנערכו שם בשנים 1987–1989 נתגלו כ-70 אבנים, רובן מרוכזות בערימה אחת. כאמור, החפירה במקום עדיין לא הסתיימה, ולפי האבנים המבצבצות מן האדמה ניתן לשער, כי במקום מצויה כמות נוספת של אבני בליסטראות. מצפון לשער, בכמה לוקוסים ליד החומה ההלניסטית, נתגלה ריכוז נוסף של כ-15 אבנים. בשטחים A ו-C נתגלו אבנים בודדות בלבד. אחת מהן נמצאה מעל למגדל הצפוני, ואחת – מעל למגדל הדרומי. ואולם, מקום הימצאן, סמוך לפני השטח, אינו מקשר אותן בהכרח למגדלים הלניסטיים אלה. אבנים אחרות, בודדות, נמצאו בשטחים אלה בתוך העיר, ממערב לחומה, עד למרחק של 45 מ'. לפחות שתי אבנים נמצאו בשימוש משני בקירות הלניסטיים. אבנים מעטות נתגלו בשטח E, בפינה הצפונית-המערבית של העיר. ולבסוף, גם בשטח D2, במקום הפונה אל נמלה של העיר, נתגלו כמה אבנים.

מספרן הרב של אבנים שנתגלו מדרום לשער המזרחי של העיר ומצפון לו מלמד על הצבתן במקום של בליסטראות

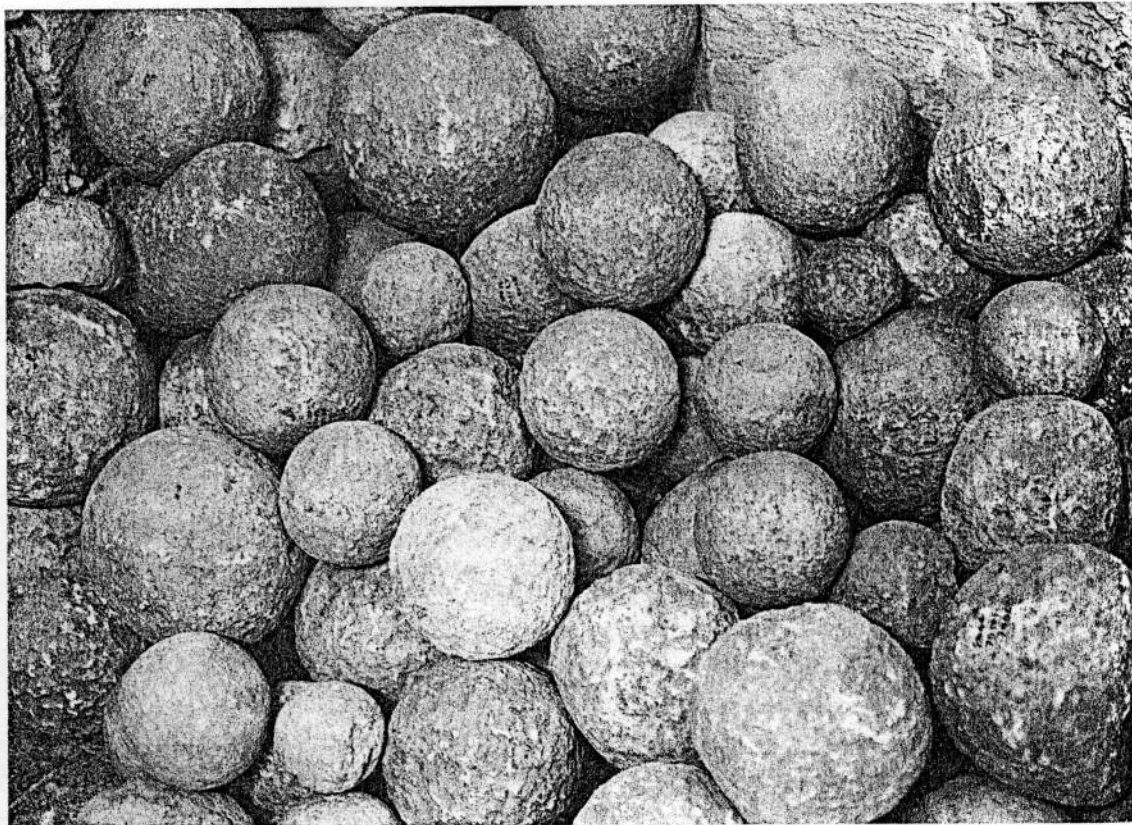
תוצאות ראשונות של בדיקות

גיאולוגיות של אבני הבליסטראות

תשע מן האבנים נמסרו לבדיקות לגיאולוגים²: מכל אחת מן נוסרה פיסת סלע ודוכן שקף, שנבדק בדיקה פטרוגרפית במיקרוסקופ מקטב-אור. נוסף על כך נערכו בדיקות בעקבות קרני X כדי לקבוע את המינרלים המרכיבים את הסלעים שמהם הותקנו האבנים. מתשע האבנים שנבדקו ארבע הונחו מסלעי-גיר מתקופת הקנומן, וחמש – מסלעי-כורכר. מתוך אפוא, שהיו לפחות שני מקורות לאספקת חומרי-הגלם לאבני הבליסטראות. סלעי-גיר אינם נחשפים במישור החוף, לרוב איזור תל דור. המקור הקרוב ביותר הוא הר הכרמל, שבו אכן מצויים סלעי-גיר מתקופת הקנומן, אף שסלעים מסוג זה מצויים גם באזורים אחרים בארץ. שלושה מן השקפים של אבני-הגיר מצביעים על דמיון פטרוגרפי, עובדה העשויה לרמוז, כי סלעי המקור נחצבו באתר אחד.

בדיקת אבני-הכורכר הביאה לתוצאות מפתיעות. באחד מהן, שנמצאה בערימה הגדולה שמדרום לשער המזרחי, נתגלו מאובנים של *Marginopora*, מאובן המג'קיר שכבה סטראטיגרפית מגיל טרניאן בפליסטוקן. שכבה זו נחשפת בארץ במקצת מות מעטים לאורך חוף הים, מצפון למפרץ חיפה בלבד. מן חמשת האבנים שנבדקו (אחת מהן נמשתה מן המפרץ) הונחו מכורכר עשיר בגיר (מסוג "קלק-ארניט"), העשוי שברי קונכיות של יצורים בוני שלד גירי והעני בגרי-קווארץ. כורכר מעין זה נפוץ בצפון הארץ, בעוד שסלעי-הכורכר השכיחים לאורך חוף הים במרכז הארץ עשירים בגרי-קווארץ מלוכדים בגיר. חלק מאבני-הכורכר נקבוי מאוד, וגם זה כורכר המאפיין את

² בעריכת הבדיקות נעזרתי בחוקרי המכון הגיאולוגי בירושלים ד"ר אהוד אלמוג, ד"ר עמוס אקר, ד"ר עמוס ביי, ד"ר בנימין בוכבינדר, פרופ' גדלי גבירצמן וגב' דורית סיוון וד"ר שלמה שובל מן האוניברסיטה הפתוחה. תודתי נתונה לכולם, ובמיוחד לד"ר שובל, שטרם לסכם את התוצאות ולהסבירן בלשון שווה לכל נפש.



אבני בליסטראות מדור במוזיאון

תיאור אבני הבליסטראות ואפיון

רמת העיבוד והסיתות של האבנים אינה אחידה. בחלקן סותתו האבנים היטב, ומאמץ רב הושקע כדי שפני האבן יהיו עגולים וחלקים. ניכר, כי הסתתים ניסו להגיע לגימור יפה וביקשו לשוות לאבן צורה כדורית, אף שרק במקרים מעטים הצליחו להפיק כדורייאבן מושלמים. אפילו הרבה מן האבנים בעלות הסיתות היפה אין מידותיהן סימטריות. אבנים אחרות עובדו בצורה גסה, ופניהן אינם חלקים. רוב האבנים שעיבודן גס עשויות חומר פריך יותר, כנראה כורכר. פניהן של חלק מן האבנים האלו הם מישטחים פחוסים, וכמה מהן דומות יותר לקוביות מאשר לכדורים. אחדות מן האבנים, הן אלו שעובדו היטב הן אלו בעלות הסיתות הגס, נפגעו וניתזו מהן חתיכות. איאפשר לדעת אם הפגיעות הן תוצאה של ירי האבנים ונחיתתן על חומר קשה, או תוצאה של מפולת מקומית של ערימת האבנים. מכלימקום, מספרן של האבנים הפגועות מעט למדי. לשם השוואה: מספרן של האבנים הבלתישלימות במצדה הוא לפחות מחצית מכלל האבנים שנתגלו שם. כל האבנים, 151 במספר, נשקלו ונמדדו. היקפה של כל אבן נמדד פעמיים במרכזה, כביכול פעם לפי ציר-האורך ופעם לפי ציר-הרוחב. ב-23 אבנים ההיקף היה זהה בשתי המדידות.

חתך העליון של הגליל המערבי. בדיקת-ביקורת של דוגמה וחת מאבן שנאספה באיזור תל דור מראה, שזאת אבן זל עשירה בגרגירייקווארץ מלוכדים בגיר. כלומר, אבני בליסטראות שנבדקו – והיו עניות בגרגירייקווארץ – הוכנו יוג כורכר שונה מזה שבדוגמה שנאספה בתל דור. עם זאת אין די בדוגמה אחת כדי להכיר את סלעי-הכורכר הנחשפים בתל דור.

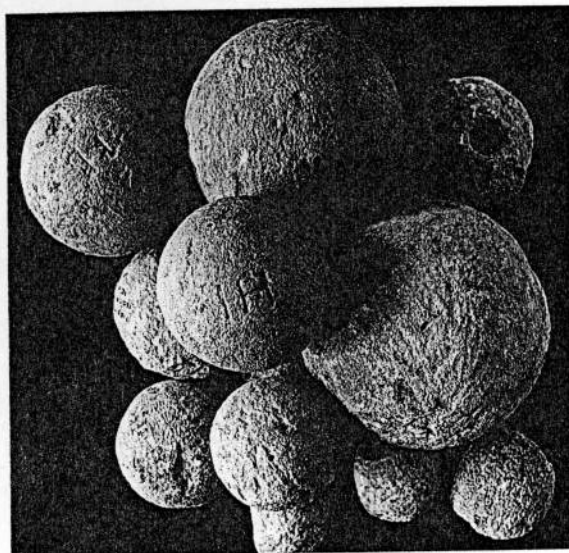
אפיונים אלה של אבני הבליסטראות העשויות כורכר מעורר שאלות, לפי שהם מעידים, שחומרי-הגלם שממנו הוכנו וחתות מן האבנים נמצא במרחק עשרות קילומטרים מתל דור. אם המסקנה הזאת אכן נכונה – והיא קרובה לוודאית לפחות לגבי האבן שבה נתגלו מאובנים של *Marginopora* – עולה שאלה: מה הניע גורם צבאי להביא תחמושת כה כבדה לחקקים? הרי ללא ספק אפשר היה להשתמש בסלעי-טורכר המקומיים, ולא להסתבך בבעיות קשות של הובלה. יס, שאת התשובה על קושיה זו יש לחפש בהשערה, כי אבנים הוכנו על-ידי כוח אויב שיצא מצפון הארץ בדרך הים ינטייר מראש באבנים כדי להרעיש את הנצורים. כפי יראה, יכלה אפשרות זו להתממש בשני מקרים של מצור על יתתקופה ההלניסטית.

האותיות	המספר	משקל בק"ג	משקל במנות	משקל חיאור בק"ג
IE	15	6.3	14.40	6.54
IH	18	7.7	17.60	7.86
KB	22	9.5	21.75	9.60
A	30	13.1	30.04	13.08
M	40	17.6	40.41	17.44

על אותיות אחת האבנים נתגלו שרידי צבע אדום - שחרותות בה האותיות IH. המשקלים בפועל קרובים ביותר למשקל התיאורטי שמסמנות האותיות. ממצא זה הוא יח מסוגו. עד כה נתגלו רק ברודוס אבנים ועליהן סימון הקאלברים, אך גם שם היו הבדלים קלים בין המשקל התיאורטי למשקל בפועל. אך ברודוס שיטת הסימון היתה אקרונומית כלומר, המספר צוין באות הראשונה שלו, כגון $\text{ente} = \Pi$; $5 = \Delta = \text{deka} = 10$. היתה זו השיטה העתיקה לציון מספרים ביוון. במרוצת הזמן עברו לשיטה שבה אותיות סימלו מספרים בדומה לשיטה העברית: א = 1 וכו'. זו השיטה המקובלת לצד תאריכים במטבעות, ובתקופה ההלניסטית החליפה את השיטה הקדומה. הממצא מתל דור מתאים לשיטה זו, אלא שזה כאמור, המקרה הראשון שמוצאים את השימוש הזה על אבן בליסטראות. בהתאם לממצא הזה ולמצאים אחרים התקופה ההלניסטית ועל-סמך הידיעות אצל הסופרים העתיים ניתן להעלות את ההשערה, כי ברור היו בשימוש בליסטראות ב"14 קאליברים: 3, 5, 8, 10, 13, 15, 18, 20, 22, 25, 30, 40, 50 ו-60.

דיון

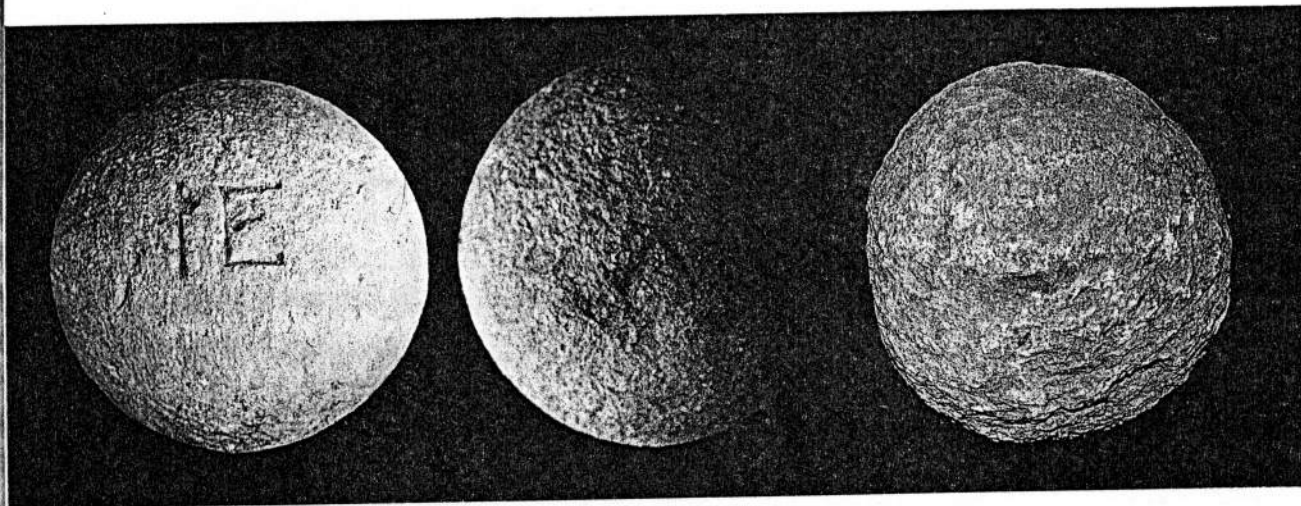
ההבדל הממוצע בין המשקל בפועל, בכל קאליבר, למשקל התיאורטי הוא קטן מאוד, ונע בין 60 גרם (קאליבר 18) ל-490 גרם, לכל היותר (קאליבר 60). ההבדל בין המשקל



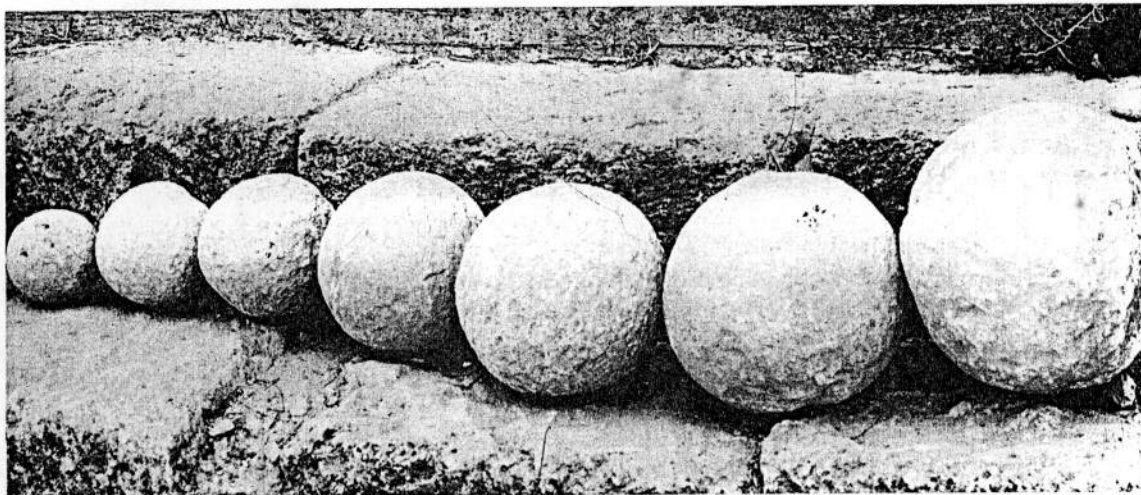
אבני בליסטראות מדור

הבדל של עד סנטימטר אחד נמצא ב"104 אבנים. הבדל של 1.1-2 ס"מ היה ב"20 אבנים, וב"4 אבנים ההבדל היה 2.2-3.6 ס"מ. בדו"חות על ממצאי אבני הבליסטראות מקארתאגו ומרודוס לא נאמר דבר על הבדלים מעין אלה. מחברי הדו"חות מציינים קוטר או היקף אחד בלבד - כאילו לאבנים היתה צורה מושלמת של כדור. בדו"ח פרגאמון, לעומת זאת, אכן נמסר על הבדלים בין קוטר מאקסימאלי למינימאלי. במקרים רבים היו הבדלים אלה גדולים בהרבה מן ההבדלים שבאבני הבליסטראות מתל דור.

כמה אבנים ראויות לתשומת-לב מיוחדת, כיוון שחרותות בהן אותיות, והללו מציינות, כנראה, מספרים. אבנים אלו נשקלו כמו כל האחרות, ואלה הנתונים:



אבנים עם מונוגרמות מדור: IE IH ו-M



אבנים בקאליברים שונים מדור

ראוי לזכור, שאם נוותר על שני הקאליברים האלה, הפערים בין משקל מירבי למשקל מזערי של האבנים למטולים של קאליברים 5 ו-10 יגדלו, ויתחייב שימוש באבנים שמשקלן פי 1.5 ויותר מן הקאליבר הנתון. כפי שכבר הוסבר לעיל, שימוש זה אפשרי, אך הוא בזבזני ובלתיסביר. לפיכך נדמה, כי בדור שימשו מטולים ב-14 קאליברים שונים.

בהשוואה לממצאים בפרגאמון, ברודוס ובקרתאגו בולט השימוש באבנים מקאליברים קטנים, כלומר, עד 10 מנות: 27.8% בדור, לעומת 16% בקרתאגו, 13.3% ברודוס ושיעור אפסי (0.1%) בפרגאמון. בתחום 13-30 מנות כלולה מחצית מן האבנים שנמצאו בתל דור. במקומות האחרים יש ריכוז גבוה יותר של אבני הבליסטראות בתחום מצומצם, כגון 78% בתחום 30-60 מנות בפרגאמון, 86% בתחום 10-40 מנות ברודוס, ו-62% בתחום 11-17 מנות בקרתאגו. תופעה אחרת שראוי לציין היא, שאין התאמה מלאה בין משקל האבנים לקוטרן. כמעט בכל קאליבר אפשר למצוא אבנים שקוטרן גדול יותר מאבנים הכלולות בקאליבר גבוה יותר. במיוחד בולטת תופעה זו בהשוואה בין קאליבר 22 לקאליבר 20: כמעט כל האבנים בקאליבר הגבוה, שמשקלן רב יותר, קוטרן קטן מזה של האבנים הכלולות בקאליבר השני, שמשקלן קטן יותר. תופעה דומה ניכרת גם באבני הבליסטראות בפרגאמון (וראה לעיל). בתל דור היא נובעת במידה רבה מן השימוש בשני סוגי חומרים להכנת האבנים.

קביעת הקאליברים שהיו בשימוש בתל דור מלמדת על גודל המטולים. היו שם בליסטראות שאורכן 3.5-9 מ' ורוחבן 2.5-5.5 מ', בערך. כלי ארטילריה הופעלו מבסיסים שהוכנו על חומות ומגדלים. היו דרושים קטעי חומה או מגדלים שאורכם 9-10 מ' להצבתם של מטולים בקאליברים של 40-60 מנות. בערימת האבנים הגדולה נתגלו אבנים המעידות על שימוש במטולים בקאליברים של 5, 8, 10, 13, 15, 18, 20, 22, 30, 40 ו-50 מנות. גם אם היה מטול אחד בלבד לכל קאליבר, היה צורך בקרפריסה שאורכו 60 מ', לפחות. לפי האבנים שנתגלו מצפון לשער היו שם בשימוש קאליברים של 10, 13, 20, 25,

המזערי למשקל התיאוריטי הוא בדרך-כלל קטן, ונע בין 10 גרם (קאליבר 3) ל-780 גרם (קאליבר 13). בשני קאליברים ההבדל גדול: 2.56 ק"ג בקאליבר 40 ו-2.49 ק"ג בקאליבר 60. ההבדל בין המשקל המירבי למשקל התיאוריטי נע בין 50 גרם (קאליבר 8) ל-2.04 ק"ג (קאליבר 40), והוא גדול במיוחד, וק"ג ויותר, בכל הקאליברים הגבוהים (25 ומעלה). ההבדל בין המשקל המזערי למירבי נע בין 0.3 ק"ג (קאליבר 8) ל-4.6 ק"ג (קאליבר 40). בהשוואה לממצא האבנים מרודוס הפערים בין המשקל המירבי ובין המשקל המזערי בקאליברים השונים הם גדולים יותר: 1.2, 1.1, 1.1, 1.5, 1.79, 4.6, 2 ו-3.5 ק"ג (קאליברים 13, 15, 22, 25, 30, 40, 50 ו-60). ברודוס הפער לא עלה על 1 ק"ג. לעומת זאת, ההבדל בין המשקל הממוצע למשקל התיאוריטי באבנים מרודוס הוא גדול יותר בארבעה קאליברים (25, 40, 50 ו-60): 0.64-1.66 ק"ג; בדור ההבדל הגדול ביותר הוא 0.49 ק"ג. בפרגאמון הפער בין משקל מירבי למזערי הוא 0.3, 0.8, 1.15, 2.7 ו-3 ק"ג (קאליברים 18, 20, 30, 40 ו-60), ומבחינה זו אין הבדל משמעותי בין ממצאי פרגאמון לממצאי תל דור.

שני קאליברים אינם מופיעים בטבלאות שהוכנו לממצאים בפרגאמון וברודוס - 3 ו-8 - ודבר זה טעון הסבר. חוקרי פרגאמון שייכו אבן שמשקלה 2.8 ק"ג - כלומר, 6.42 מנות - לקאליבר 10. במקרה זה הפער בין הקאליבר ובין המשקל בפועל הוא יותר מפי 1.5, וקשה להניח, שדבר זה היה מקובל. חומה, כי החוקרים שעסקו בממצאי פרגאמון הושפעו יותר מדי מן הדוגמאות שנותן פילון, שבהן הקאליבר הנמוך ביותר הוא של 10 מנות. אולי צריך לשייך את האבן לקאליבר 5, שהשימוש בו הוכח על-ידי ממצאי רודוס, אלא שלא היו ידועים לחוקרי פרגאמון. מכל-מקום, חוקרי פרגאמון הציעו קאליברים של 13, 15 ו-18 מנות, כלומר, הביאו בחשבון פערים של פחות מ-5 מנות בין קאליבר לקאליבר. זאת ועוד, ויטרוביוס מציין מטולים של 4 ו-10 ליברות, כלומר, 1.30 ו-3.25 ק"ג. הוא הסתמך, בין היתר, על מחברים יווניים, והדוגמאות שהוא מביא דעות או קרובות ל-3 מנות (1.30 ק"ג) ו-8 מנות (3.49 ק"ג).

30, 50 ו-60 מנות. לפי מטול אחד לכל קאליבר קורהפריסה המזערי היה כ-40 מ'. כך או כך, מיגוון הקאליברים הוא עדות לאמצעים המרובים שהושקעו בהגנה על קטע זה של ביצורי העיר. יש מקום להניח, כי נוסף על בליסטראות הוצבו מטולי חיצים, כפי שהיה מקובל בתקופה ההלניסטית. ריכוז כלי הארטילריה נתן אבטחה מצוינת לא רק לשער, ששימש כניסה מרכזית לעיר מן היבשה, אלא גם לכל החומה המזרחית.

מבט היסטורי על הארטילריה ברור

השימוש בארטילריה כבר התפשט במאה ה'ד' לפני סה"נ ונעשה נפוץ למדי בתקופה ההלניסטית. לא רק הממלכות הגדולות – בית אנטיגונוס במאקדוניה, התלמיים והסלאוקים – ציידו את צבאותיהם בקאטאפולטות ובבליסטראות. פרגאמון, אתונה, רודוס, ביזאנטיון ואף ערים קטנות ולא כליכך נודעות – כגון קיאנאי שבליקיה וקאוס שבאיים הקיקלאדיים – הצטיידו בכלי ארטילריה. בארץ-ישראל עמדה לרשותו של הצבא הסלאוקי ארטילריה במלחמתו בחשמונאים. ליסיאס השתמש במטולים מסוגים שונים במסע המלחמה שלו בשנת 163 לפני סה"נ, וכך גם עשה באקכידס במצור על בית באסי בשנת 158 לפני סה"נ. יהודה המקבי צר על החקרה בשנת 164 לפני סה"נ, תוך שהוא מפעיל כלי ארטילריה, ואף שמעון אחיו השתמש לימים בכלים מסוג זה במצור על בית-צור. לפי איגרת אריס-טיאס היו מגדלי המצודה בירושלים מצוידים במכונות ארטי-לריה. כללו של דבר, לא רק המעצמות הגדולות דאגו לצייד את צבאותיהן ואת ביצוריהן בקאטאפולטות ובבליסטראות, אלא גם ערים ושליטים לא גדולים.

אין לדעת מתי הותקנו כלי ארטילריה ברור. לצור היו קאטאפולטות במספר רב בשנת 332 לפני סה"נ, כאשר צר עליה אלכסנדר הגדול, ואפשר שגם ערים פיניקיות אחרות הצטיידו כבר אז בכלים כאלה. לפי ממצאי החפירות שנערכו ברור בעשור האחרון בוצרה העיר בחומת-אבן "הלניסטית" בזמנו של תלמי ה'. חומה זו החליפה את החומה ה"פרסית". הדעת נותנת, כי בהודמנות זו של בניית ביצורים חדשים וחזקים יותר לעיר גם צוידה בכלי ארטילריה, אם לא היו לה לפניכן.

עד כמה שידיעתנו מגעת, המצור הראשון על דור בתקופה ההלניסטית היה בשנת 219 לפני סה"נ. בשנה ההיא, בעת מסע-המלחמה שלו לכיבוש פיניקיה וארץ-ישראל, היכה אנטיוכוס ה' את הכוחות התלמיים, שביקשו לחסום את דרכו בפיניקיה. אנטיוכוס הצליח להשתלט על כמה ערי חוף, ובכללן צור ועכו, שמפקדיהן עברו לצדו. לאחר-מכן שם מצור על ערים שלא פתחו את שעריהן לפניו, אך מהן רק דור נזכרת במפורש. דומה, כי בקרבות-מצור אלה נעזר המלך הסלאוקי בצי, אשר ליווה אותו ומנה כמה עשרות אניות. ואולם, כוחותיו לא עמדו לו לכבוש את העיר בשל חוסנה ובשל העזרה שדושיטה לה מצביאו התלמי של האיזור.

מצור נוסף הוטל על דור בשנת 138/7 לפני סה"נ. בשנה ההיא נחת אנטיוכוס ה' סידטס בסלאוקיה שבסוריה ופתח

במלחמה נגד טריפון. הוא כבש את הבירה אנטיוכיה, היכה את יריבו ורדף אחריו דרומה. מסיבה בלתי-ברורה לא הסתגל טריפון בעיר הגדולה יותר, עכו, ששמרה לו אמונים. אלא בדור. לרשותו של אנטיוכוס היה גם צי, והוא צר על העיר מן היבשה ומן הים גם יחד, תוך שהוא מפעיל מכונות מצור. בסופו של דבר הצליח טריפון להימלט באנייה, אך לימים, משהושג עליו מצור באפאמיה, התאבד. אבן-קלע שנתגלתה ליד חל דור ועליה כתובת המדברת על נצחון של טריפון היא אחת העדויות למצור של שנת 138/7.

המידע מן המקורות ההיסטוריים מתקשר יפה לממצאים הארכיאולוגיים, בלמדו על חוסנם של הביצורים ועל יעילותם של אמצעי-ההגנה. הודות לאלה יכלה הפוליס דור לעמוד במצור אפילו נגד צבא סלאוקי גדול. מידע זה אף יכול להסביר את מציאותם של אבני בליסטראות בתל דור שמוצאן בסלע החוף של הגליל המערבי. הדעת נותנת, שאניות שהפעילו בליסטראות – ושימוש מעין זה היה נהוג בציים הלניסטיים – הצטיידו בתחמושת בבסיסי-הציאה. כפי שראינו, גם אנטיוכוס ה' וגם אנטיוכוס ה' סידטס הגיעו לדור מצפון, וצייהם נש לאורך החוף. מפקדי הציים יכלו אפוא להטעין תחמושת באיזור שממנו נלקח חומר-הגלם לייצור חלק מאבני הבליסטר אות שנתגלו בתל דור. האבנים שנורו על-ידי התוקפים נשאו בתוך העיר, והאחראים להגנת העיר מן-הסתם אספו אותן אל מחסני התחמושת.

ספרות נבחרת

- ש' גוטמן, גמלא, הוצאת הקיבוץ המאוחד, 1981, עמ' 39–44.
D. Baatz, "Recent Finds of Ancient Artillery", *Britannia*, IX (1978), pp. 13–17.
Idem, "Katapultteile aus dem Schiffswrack von Mahdia (Tunisien)", *Archäologischer Anzeiger*, 1985, pp. 679–691.
Y. Garlan, *Recherches de poliorcétique grecque*, Paris 1974.
L. Laurenzu, "Proiettili dell'artiglieria antica scoperti a Rodi", *Memorie... dell'istituto storico-archeologico*, II (1938), pp. 31–36.
E.W. Marsden, *Greek and Roman Artillery — Historical Development*, Oxford 1969.
Idem, *Greek and Roman Artillery — Technical Treatises*, Oxford 1971.
W. McCleod, "The Range of the Ancient Bow", *Phoenix*, XIX (1965), pp. 1–14.
B. Rathgen, "Die punischen Geschosse des Arsenal von Karthago", *Zeitschrift für historische Waffenkunde*, V (1909–1911), pp. 236–243.
E. Schramm, *Die antike Geschütze der Saalburg*, Bad Homburg 1918.
I. Shatzman, "Artillery in Judaea from Hasmonaean to Roman Times", in: D.H. French & C.S. Lightfoot (eds.), *The Eastern Frontier of the Roman Empire (BAR)*, Oxford 1989, pp. 461–484.
A. von Szalay & F. Boehringer, "Die Artillerie von Pergamon", *Altertümer von Pergamon*, X, Berlin–Leipzig 1937, pp. 48–54.
D. Gera, "Tryphon's Sling Bullet from Dor", *Israel Exploration Journal*, XXXV (1985), pp. 153–163.