

גישה מדעית לקביעת שיעורי תורה: האמה

האמה היא יחידת האורך החשובה ביותר בתורה. היא מוזכרת שוב ושוב בקשר למידות של פריטים שונים, למן תיבת נח ועד לכלי-הקודש שבמשכן. אף-על-פי-כן, אורכה שנוי במחלוקת. מטרתנו כאן היא לקבוע את אורך האמה על-פי מדידות של גופים שונים, שממדיהם ביחס לאמה מובאים בתלמוד ובדברי הראשונים. מדידותינו העלו, שיש התאמה מלאה בין כל תשע ההגדרות התלמודיות של האמה, וממצא זה מאפשר לנו לקבוע את אורך האמה: 46 ס"מ.

א. מבוא

הקהילייה התורנית נתברכה לאחרונה בחוקרים רבים בעלי-ידע, הן בתורה הן במדע החדש. לפיכך נתרבו ספרים ומאמרים המשתמשים בידע מדעי בחקר נושאים תורניים. קשת הנושאים רחבה — מדיונים הלכתיים מעשיים (שבת, כשרות ועוד) ועד לעיונים יותר פילוסופיים, כגון תיאום בין המדע החדש לסיפורי הבריאה, המבול ונסים אחרים שבתורה. במשך הדורות לא היססו תלמידי-חכמים להשתמש בתגליות ובמחקרים מדעיים, כדי לרדת לסוף דעת פסוקי תורה ומאמרי חז"ל בתחומים שונים. מסורת זו נמשכת במאמר הנוכחי.

הנושא שנדון בו הוא קביעת אורך האמה. נושא זה הוא בעל עניין רב, משום שהאמה היא יחידת האורך החשובה ביותר בתורה, המוזכרת שוב ושוב בקשר למידות של פריטים שונים, מתיבת נח ועד לכלי-הקודש שבמשכן. כמו כן, יש בה שימוש במצוות רבות. כמובן, אין אנו נכנסים כאן לשאלות הלכתיות. מטרתנו היא לקבוע את אורך האמה על-פי מדידת מדעיות של גופים שונים, שממדיהם ביחס לאמה מובאים בתלמוד ובדברי הראשונים. בגישתנו המדעית נשתדל להראות שיש התאמה בין כל ההגדרות התלמודיות השונות של האמה, והיא מאפשרת לנו לקבוע את אורכה בדיוק רב. האמה מוגדרת בתלמוד כמונחים של מידות חלקי-גוף שונים: זרוע, טפח חזרת, וכן גובה ורוחב של אדם. לפיכך נוכל לקבוע את אורך האמה באמצעות מדידת חלקי-גוף אלה.

שיטה אחרת לקביעת אורך האמה מבוססת על משקל הכפורת וממדיה. גישה זו נותנת את הגודל המרבי של האמה.

אורך האמה עשוי להיקבע גם על סמך משקלות זכוכית, ששרדו מן המאה השמינית ושימשו להטבעת מטבע זהב ערבי נפוץ. ידוע שמשקל מטבע זה שווה למשקל הדינר התלמודי. הרמב"ם קובע את היחס בין הדינר לרביעית, ובתלמוד מובא היחס בין הרביעית לאמה.

שיטה נוספת מתבססת על אורך באמות של הגבול המערבי של ארץ-ישראל על-פי

חז"ל בספרי. לפי זה, אפשר לחשב את אורך האמה מאורך הגבול בקילומטרים. לבסוף, היקף כדור-הארץ מבוטא בפרסה אירופית, שהיא יחידת אורך מן המאה השבע-עשרה. הג"ר יעקב בן צבי (יעב"ץ) קבע את היחס בינה לבין הפרסה התלמודית (8000 אמות). חישוב פשוט נותן את אורך האמה על-פי יחס זה. לענייננו יש חשיבות עצומה לעובדה, שמתוך מגוון כה רחב של מדידות מתקבל אורך כמעט זהה של האמה — כ-46 ס"מ. התאמה כה קרובה בין ממצאים כה שונים זה מזה, מעניקה אמינות גבוהה לאורך האמה הנקבע על-ידיהם.

ב. השיטות השונות לקביעת אורך האמה

1. מדידת האמה ה"טבעית"

האמה ה"טבעית" מוגדרת כמרחק שבין המרפק לקצה האצבע האמצעית. רד"ק הגדירה כן בבירור ודעתו מתחזקת על-ידי ראשונים רבים, וכיניהם: רש"י, הערוך, רבנו בחיי, המאירי, ר"ש משאנץ ור"ע מברטנורא. אכן, האצבע האמצעית קרויה "אמה" בגלל שימושה במדידת האמה. ביצענו מדידות של האמה במדגם של 42 גברים. לאחר ייחוס לגובה גבר ממוצע, מתקבלת מן המדידות אמה בת 46.5 ס"מ, עם אי-ודאות של 1.5 ס"מ.

2. האמה במונחים של שישה טפחים או שתי זרתות

לדברי רד"ק,¹ האמה הטבעית שווה לשישה טפחים כאשר "מדת הטפח בארבע אצבעות דבוקות זו בזו". יש ללחוץ את כפות הידיים זו אחר זו לסירוגין, כאשר אצבעות כל יד מופנות אלו כנגד כיווןן של אלו, וכל יד מוצבת באופן שבסיס האצבע האמצעית שבכף היד נמצא בקו ישר לאורך הכיוון הנמדד.² ביצענו מדידות טפח במדגם של 42 אנשים. תוצאות המדידות, לאחר ייחוס לגובהו של כל אחד במדגם, נותנות טפח בן 7.7 ס"מ. לפיכך, אורך שישה טפחים שווה ל-46.2 ס"מ — בהתאמה מצויינת עם אורך האמה הטבעית שניתן לעיל.

אחד המילונים המוסמכים ביותר של הראשונים הוא "ספר הערוך". הוא מגדיר (ערך "אצבע") את המידה "זרת" כמרחק שמקצה האצבע זרת עד קצה האגודל.³ ראשונים אחרים⁴ מגדירים זרת כשווה לחצי אמה בת שישה טפחים. היא נמדדת על-ידי פריסת האצבעות והאגודל והרחקתן זו מזו ככל האפשר. המדידות שביצענו ב-42 איש נותנות זרת בת 22.5 ס"מ. לפיכך, משתי זרתות מתקבלת אמה בת 45 ס"מ — בהתאמה טובה עם אורך האמה הטבעית.

3. גובה אדם ורוחבו

לדברי חז"ל (עירובין מת ע"א), גובהו של אדם בינוני הוא שלוש אמות. המונח "גובה" כאן שנוי במחלוקת ראשונים: עשרים ושניים ראשונים⁵ סבורים שהגובה נמדד עד הכתפיים, ואילו שישה⁶ סבורים שהגובה נמדד עד קצה הראש. לפי מדידותינו, דעת רוב הראשונים עולה בקנה אחד עם אורך האמה הטבעית. נמדד הגובה הממוצע עד הכתפיים והוא 140 ס"מ. מכאן מתקבלת אמה בת 46.7 ס"מ — בהתאמה מצויינת עם אורך האמה הטבעית.

הרוחב המרבי של האדם על-פי חז"ל הוא אמה אחת.⁷ הרוחב מוגדר כרוחב הכתפיים של האדם כאשר הוא יושב על ספסל כשידיו לצדדיו. ביצענו מדידות של רוחב האדם במדגם של 42 איש ומצאנו רוחב של 45 ס"מ — בהתאמה טובה עם אורך האמה הטבעית.

4. אמה הנקבעת ממשקל הזהב שבמשכן

אורך האמה ששימש במשכן יכול להיקבע גם ממשקל הזהב שבמשכן וכליו. משקל כל הזהב במשכן נזכר במפורש בשמות לח, כד — 29.24 כיכר (29 כיכר ועוד 730 שקל; הכיכר הוא 3000 שקל). בין כלי המשכן, רק משקל המנורה (כיכר אחת — שם כה, לט) נזכר בתורה במפורש. נותרו, אפוא, 28.24 כיכר זהב ליתר כלי הזהב במשכן. הגאונים קבעו שמשקל שקל המשכן הוא 14.1 גרם (ראה נספח א), ומכאן שמשקל כיכר (3000 שקל) הוא 42.3 ק"ג. לפי זה, משקל כל כלי הזהב שבמשכן (חוץ מן המנורה) היה כ-1200 ק"ג (42.3×28.24 ק"ג לכיכר). ממשקל זה אפשר לקבוע את האורך המרבי של האמה, כדלהלן.

רוב זהב המשכן נדרש לכפורת, שהיתה לוח זהב טהור בעל אורך ורוחב של 2.5 על 1.5 אמות (שם כה, יז) ובעובי של טפח אחד שהוא שישית האמה (סוכה ה ע"ב). ממדים אלה נותנים את נפח הכפורת באמות מעוקבות.⁸ ממשקל הכפורת בק"ג ומצפיפות זהב טהור (19,300 ק"ג למטר מעוקב), אפשר לחשב את נפח הכפורת במטרים מעוקבים (צפיפות/משקל = נפח). מנפח הכפורת באמות מעוקבות ומנפחה במטרים מעוקבים, מתקבלת אמה בת 46.3 ס"מ. ערך זה הוא האורך המרבי של האמה, מכיוון שהובא בחשבון המשקל המרבי.

אם נביא בחשבון גם את הזהב של יתר כלי המשכן (ראה נספח ב), מתקבלת אמה בת 44.0 ס"מ עם אי-ודאות של 2 ס"מ. שוב אנו מוצאים אורך הנמצא בהתאמה עם אורך האמה הטבעית.

5. אמה הנקבעת ממשקלות הזכוכית התיקניים לדינר הערבי

הגאונים, הרי"ף ועוד ראשונים⁹ קבעו, שמשקל דינר הזהב של חז"ל היה שווה בדיוק למשקל מטבע ערבי שהיה נפוץ-שימוש ונקרא מיטקאל או ששדנג. על-פי ההשגחה, שרדו ונשמרו כ-15 גולות זכוכית (משנת 780 אחה"ס) ששימשו כסטאנדארטים בהטבעת מטבעות אלה.¹⁰ חלקן צויין כמטבע ששדנג, חלקן — מטבע של חצי ששדנג, ואחרות — מטבע של שליש ששדנג. הסטייה הממוצעת ממטבע בן 4.23 גרם היא רק 0.1%, וזהו דיוק ראוי לשבח בתקופה כה קדומה.

הרמב"ם (הלכות עירובין פ"א ה"ב) כתב שמשקל רביעית מים הוא 17.5 דינרים. לפי דינר בן 4.23 גרם, משקל רביעית מים הוא 74.0 גרם, ונפחה הוא, אפוא, 74.0 סמ"ק. מכיוון שנפח ביצה הוא 2/3 מנפח רביעית, נמצא שנפח ביצה לפי הרמב"ם הוא 49.3 סמ"ק — ערך קרוב לנפח הביצה בפועל, לפני שהחלו בהכלאה וברירה חדשניות. רב חסדא (פסחים קט ע"א) מלמדנו שנפח מקווה (40 סאה = 40×144 ביצים) שווה ל"אמה על אמה ברום שלוש אמות" (3 אמות מעוקבות). מיחסים אלה נוכל לקבוע¹¹ את אורך האמה כ-45.6 ס"מ — בהתאמה עם האמה הטבעית.

6. אמה הנקבעת על-פי אורך הגבול המערבי של ארץ ישראל במקום אחר¹² ביררנו בפרוטרוט כיצד לקבוע את גבולות ארץ-ישראל כפי המתואר בנבואת יחזקאל, בהתבסס על ספרי לדברים יב, לב ועל פירוש רש"י ליחזקאל מה-מח. כאן רק נסכם את התוצאות. אורך הגבול המערבי של ארץ-ישראל, מהור-ההר בצפון עד קצה נחל מצרים בדרום, הוא 1,950,000 אמות. אורך הגבול במפת הארץ הוא 906 ק"מ. השוואת האורכים האלו נותנת אמה בת 46.5 ס"מ — בהתאמה מלאה עם האמה הטבעית.

7. אמה הנקבעת מהיקף כדור-הארץ קביעת האמה על-פי היקף כדור-הארץ תוארה על-ידי הרב י"ג וייס¹³. הוא מביא דברי "תוספות יום-טוב" (ברכות א, א) ו"גבורות ה'"¹⁴ הקובעים שהיקף כדור-הארץ הוא 5400 פרסאות אירופיות (15 פרסאות למעלת אורך אחת). מאידך גיסא, הוא מביא¹⁵ בשם הג"ר יעב"ץ¹⁶ שפרסה אירופית גדולה פי שניים מהפרסה שבתלמוד (8000 אמות). על-פי זה, היקף כדור-הארץ הוא 10,800 פרסאות תלמודיות. מעלת אורך אחת מקבילה ל-11,110,000 ס"מ. על-פי ההגדרה הנ"ל של פרסה אירופית,¹⁷ מקבילה מעלת אורך אחת גם ל-240,000 אמות. היחס 11,110,000/240,000 נותן אמה בת 46.3 ס"מ, שהיא בהתאמה מצויינת עם יתר הקביעות של האמה.

ג. סיכום: קביעת אורך האמה

קבענו את אורך האמה על-פי תשע שיטות שונות והגענו לאורך ממוצע של 46 ס"מ. (מעניין שהגימטריה של המלה "אמה" שווה 46). התוצאות של תשע הקביעות הללו ניתנות בטבלה:

טבעית	46.5 ס"מ	גובה	46.7 ס"מ	משקל דינר	45.6 ס"מ
טפח	46.2 ס"מ	רוחב	45.0 ס"מ	גבול ארץ-ישראל	46.5 ס"מ
זרת	45.0 ס"מ	כפורת	44.0 ס"מ	היקף כדור-הארץ	46.3 ס"מ

יש לציין, שתשעה ערכים אלו של אורך האמה מציגים מידה מרשימה של עקיבות, אף-על-פי שהם הושגו במדידות בלתי-תלויות לגמרי זו בזו. דבר זה מעניק לתוצאה אמינות גבוהה.

נספח א: משקל השקל בזמן המשכן

תיאור מפורט ראה: הרב ח"פ בניש, "מדות ושיעורי תורה", בני-ברק, תשמ"ז (מהדורה שנייה), פרקים כא, כב, כז, ל; הרב י"ג וייס, "מדות ומשקלות של תורה", ירושלים, תשמ"ד, פרקים כו-לב. כאן אנו מביאים תקציר בלבד של הפרטים הנוגעים לנושא.

משקל השקל — דעת הגאונים לגאונים היתה מסורת ברורה, שמשקל הדינר שווה למשקל מטבע זהב ערבי ידוע —

ששדנג. מטבע זה היה בשימוש במדינות ערב במשך 600 שנה (700-1300 אחה"ס), שבהן נכללות תקופות הגאונים והראשונים. משקל הששדנג הוא 4.23 גרם. מכיוון שמשקל השקל גדול פי ארבעה, משקלו 16.9 גרם. אמנם חז"ל הוסיפו עליו 20% ממשקלו, ולכן משקלו המקורי של השקל היה 14.1 גרם.

משקל השקל — דעת רש"י
 רש"י וראשונים אחרים סבורים שמשקל השקל היה רק 11.7 גרם (ראה: "מדות ושיעורי תורה", פרק כב, ובייחוד הערות 23-24), בניגוד לדעת הגאונים. אמנם בשולחן ערוך נפסק כדעת הגאונים (ח"מ פח, א; אה"ע כז, י; יו"ד רצד, ו; שה, א).

נספח ב: חישוב כמות הזהב בכלי המשכן

83.1%	א. הכפורת: נפח של 0.625 אמות מעוקבות (זהב טהור)
	ב. 48 קרשים ו-9 עמודים: ציפוי זהב על שטח של כ-2500 אמות מרובעות.
9.7%	הנחה: עובי של 0.03 מ"מ; סגסוגת 42% זהב (10 קאראט)
3.4%	ג. המנורה וכליה — 1 כיכר (זהב טהור)
	ד. הארון: שתי תיבות זהב טהור (חיצונית ופנימית) — רש"י.
1.6%	הנחות: עובי של 0.2 מ"מ; שטח של כ-30 אמות מרובעות
	ה. מזבח הזהב: זהב טהור מצופה על עץ, בעובי של 0.7 מ"מ (חגיגה כז ע"א), על שטח של כ-6 אמות מרובעות
1.3%	ו. הכרובים: זהב מצופה על בסיס עץ — אבן עזרא.
0.7%	הנחות: עובי של 0.7 מ"מ; סגסוגת 42% זהב; כ-8 אמות מרובעות
	ז. השולחן: ציפוי זהב טהור.
0.2%	הנחות: עובי של 0.03 מ"מ; שטח של כ-25 אמות מרובעות
	ח. טבעות, בדים, קרסים וכו'.
0.1%	הנחה: הזהב שהושקע בהם היה פחות מ-1 ק"ג פחות מ-1%
<hr/>	
100.0%	ס"ה (1240 ק"ג זהב):

מקורות והערות

- 1 "ספר השרשים", ערך "זרת" וערך "טפח".
- 2 דרך שונה במקצת למדידת טפחים ראה: א"י גרינפילד, "מידה כנגד מידה", מוריה, גליון ז-ח (קכז-קכח), תמוז תשמ"ב, עמ' 72. שם נכתב, שיש להניח את הידיים זו אחר זו במקביל כשהאצבעות פונות לאותו כיוון. הדרך הנכונה היא זו המתוארת במאמר כאן.
- 3 רש"י, המאירי ואחרים, מוכיחים מכתובות ה ע"ב שמדידת הזרת מתחילה מהאצבע הקטנה הקרויה "זרת".
- 4 מנחם בן סרוק, "מחברת מנחם", רד"ק, "ספר השרשים", ערך "זרת".
- 5 רב האי גאון, רבנו גרשום, רבנו חננאל, רי"ף, רש"י, בעלי התוספות (בשישה מקומות), אבן עזרא,

- רמב"ם, ר' יהונתן מלוניל, ר' ישעיה דטראני, ר' חננאל בר שמואל, ספר המאורות, אור זרוע, ר"י הזקן, מהר"ם מרוזנטבורג, המאירי, רא"ש, טור, ר"ן, חידושי הר"ן על שבת (לפרשן אתר), תרומת הדשן, ר' ישמעאל בן חכמון. ראה במפורט: גרינפילד, "מידה כנגד מידה" (לעיל הע' 2), עמ' 66. גאונים (הביאם הריטב"א), רשב"ם, ראב"ד, רמב"ן, רשב"א, ותשב"ץ. ראה במפורט שם. 6
- תוספות, פסחים קט ע"ב, יומא לא ע"ב; ריטב"א לבבא בתרא קא ע"ב. 7
- נפח הכפורת במונחי אמה הוא $2.5 \times 1.5 \times \frac{1}{6} = 0.625$ אמות מעוקבות, ואילו במונחי מטר הוא 0.0620 מ"מ"ק (בהתבסס על משקל של 1200 ק"ג). היחס בין שני הנפחים הללו הוא 0.0992 מ"מ"ק לאמה מעוקבת. השורש המעוקב של יחס זה נותן אמה בת 46.3 ס"מ. 8
- ראה: הרב ח"פ בניש, "מידות ושיעורי תורה", בני-ברק, תשמ"ז (מהדורה שנייה), עמ' תסג, אות ח. 9
- ראה: הרב י"ג וייס, "מידות ומשקלות של תורה", ירושלים, תשמ"ד, עמ' 79 ואילך. 10
- נפח מקווה — 40 סאה; סאה — 144 ביצים; ביצה — 49.3 סמ"ק. דהיינו, נפח מקווה הוא $40 \times 144 \times 49.3 = 284,000$ סמ"ק. נפח מקווה שווה גם לשלוש אמות מעוקבות. היחס בין שני נפחים אלה נותן אמה מעוקבת בת $94,700$ סמ"ק. השורש המעוקב של יחס זה נותן אמה בת 45.6 ס"מ. 11
- א"י גרינפילד, "גבולות ארץ ישראל על-פי המקורות", תחומין, יא (תש"ן), פרק ה. 12
- "מידות ומשקלות של תורה", עמ' 294 ואילך. 13
- ר' יוסף שלמה רופא (דלמדיגו), איש קאנדיה, "גבורות ה'", דף קמב, ע"ב, מדרגה א. 14
- שם, הערה 6. 15
- הרב יעב"ץ, "מור וקציעה", סי' טז; "ישוב ארץ ישראל", עמ' יז, טור א, ד"ה ומלאכה. 16
- לעומת זאת, ר' יוסף שלמה רופא ו"חוט השני" כותבים שפרסה אירופית שווה ל- $\frac{5}{3}$ של פרסה תלמודית, ולפי זה נוספים 20% לאורך האמה. 17