

צבי וינברגר

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה שנראו בישראל החל משנת ג' תקע"ט עד שנת ד' י"א

הלוח העברי מבוסס על אורך חודש ממוצע של עשרים ותשעה וחצי ימים ועוד שבע מאות תשעים ושלושה חלקים מתוך אלף ושמונים חלקים בשעה. החשבון מתחיל ממולד ראש השנה שלפני יצירת האדם – שנת תוהו ביום שני בשעה חמישית ומאתיים וארבעה חלקים, וסימנו בהר"ד. הרמב"ם סבר כי שיעורים אלה שעל פיהם נקבע הלוח העברי הם הלכה למשה מסיני. הרמב"ן חלק על הרמב"ם באומרו שאין רמז בחז"ל שסדרי קביעת הלוח הם הלכה למשה מסיני. נתייחס לשיטת הרמב"ן שמבנה הלוח איננו הלכה למשה מסיני. על פי לוחות ליקויי חמה שהוכנו בעבור נאס"א, החל מימיהם של יהושע בן פרחיה ונתאי הארבלי בשנת ג' תקע"ט בימי בית שני עד לזמן האמורא רבי יוחנן בשנת ד' י"א, במשך ארבע מאות שלושים ושתים שנה הייתה סדרת ליקויים, Saros 79, תשעה במספר, שנראו בארץ. אחד מליקויי הסדרה אירע בשנת ג' תשע"ז, לפני חורבן בית שני בימי רבן גמליאל הזקן, והבא אחריו כחמישים וארבע שנים לאחר מכן, בימי רבן יוחנן בן זכאי בשנת ג' תתל"א – כשלוש שנים לאחר חורבן המקדש. חישוב הימים והשעות שבין שני ליקויים אלה בלבד, ללא התייחסות לשאר הליקויים, מביא לתוצאה שבתקופה בין ליקויים אלה היה אורך החודש האמצעי עשרים ותשעה ימים וחצי יום ועוד 793.188 חלקים, כחמישית חלק יותר מהשיעור שעל פיו נתקן הלוח. אנו סבורים כי אם אין חשבונות הלוח הלכה למשה מסיני, היווה זוג ליקויים זה בסיס לייסוד הלוח העברי על פי החשבון. את מועד תחילת החשבון נסיק מממוצע זמני הליקויים שהיו בימי רבנו הקדוש ותלמידו האמורא רבי יוחנן. ליקויים אלה היו האחרונים בסדרת הליקויים וקרובים לימיו של רבי הלל בן רבי יהודה נשיאה, מתקן הלוח. אין התאמה בין שעות הליקויים – המולדות האמיתיים – של סדרת סרוס 79 למולדות המחושבים על פי אורך החודש האמצעי שבו אנו מחשבים היום. התאמה סבירה מתקבלת

צבי וינברגר

אם נעריך את אורך החודש האמצעי מבריאת העולם עד ימות התנאים להיות קרוב לאורך החודש שנסיק מן הליקויים שהיו בימי רבן גמליאל ורבן יוחנן בן זכאי. על פי שיקולים אסטרונומיים נלמד מסדרת הליקויים כי בתקופת הנשיא שמעון בן שטח – שנת ג' תר"פ – הגיע אורך החודש לערך מרבי, קרוב לשבעה חלקים יותר מאורך החודש ההלכתי. מאז מתקצר אורך החודש האסטרונומי ביחס לאורך היום. ההערכה היא כי אורך החודש האסטרונומי בזמננו קצר ב-0.166 חלקים מאורך החודש העברי שעל פיו נתקן הלוח. הן לפי הרמב"ם והן לפי הרמב"ן נצטרך להבין את ההפרשים בין אורכי החודש השונים הנמדדים בינם לבין עצמם וכן, בינם לבין אורך החודש האמצעי ההלכתי. במשך הדורות משתנה אורך החודש האמצעי ביחס לאורך היום. חיכוך הימים בארץ בשפל וגאות גורם להפסד של התנע הסיבובי של כדור הארץ וגורם להארכת היום וקיצור אורך החודש ביחס לאורך היום. לעומת תהליך החיכוך קיימים תהליכים אחרים שגורמים להגדלת קצב הסיבוב של כדור הארץ ותורמים לקיצור אורך היום. תהליכים אלה הם גאו-פיזיים ועיקרם בתהליך השוואת קוטר כדור הארץ בקו המשווה לקוטר של בין הקטבים. מאז ימי הבריאה ועד היום קוטר כדור הארץ בקו המשווה ארוך מהקוטר בין הקטבים. כאשר קוטר כדור הארץ בקו המשווה קטן יחסית עם הזמן, שמירת התנע הזוויתי של כדור הארץ מחייב את גידול קצב הסיבוב של כדור הארץ וכך גורם לקיצור אורך היום ולהארכת אורך החודש ביחס לאורך היום. מאז תקופתו של רבי שמעון בן שטח גדלה השפעת חיכוך הימים על השפעת התהליכים הגאו-פיזיים ומתקצר אורך החודש. לפני כן הייתה השפעת התהליכים הגאו-פיזיים גדולה מהשפעת חיכוך הימים. נעריך את אורך החודש בימי בראשית להיות כעשירית חלק פחות מאורך החודש ההלכתי והוא התארך במשך השנים עד לערכו המרבי בתקופתו של שמעון בן שטח, קרוב לשבעה חלקים יותר מאורך החודש ההלכתי.

אורך החודש האמצעי שעל פיו תוקן הלוח

אורך החודש האמצעי הוא הזמן הממוצע בין מולד למולד. אורך זה הוא מן היסודות של חשבון החודשים והשנים של הלוח העברי שהכין רבי הלל בן רבי יהודה נשיאה¹ קרוב לשנת ד' קי"ח בזמנם של אביו ורבה ונחתם סופית על ידי רב סעדיה גאון ובית דינו.² שיעור אורך החודש האמצעי נמסר לנו במסכת ראש השנה כה ע"א וזו לשון הגמרא שם: "אמר להם רבן גמליאל כך מקובלני מבית אבי אבא אין חידושה של לבנה פחותה מעשרים ותשעה יום

1 יחיאל היילפרין, סדר הדורות, תיקונים והשגות מאת נפתלי משכיל לאיתן, ורשה תרל"ג (נדפס מחדש ירושלים תשט"ז), עמ' נו, פד. גם שמות התנאים-הנשיאים בתקופות הליקויים נלמדים מחיבור זה.

2 רחמים שר שלום, "מתי נוסד הלוח העברי? מתי תוקן ומתי נחתם?", סיני קב (ניסן אייר תשמ"ח), עמ' כו-נא. וכן באתר של מכללת הרצוג – דעת ורוח.

ומחצה ושני שלישי שעה וע"ג חלקים".³ רבן גמליאל של הסוגיה במסכת ראש השנה הוא רבן גמליאל בן רבנו הקדוש, כן נבין ממבנה הסוגיה. לאחר דיון בענייני קידוש החודש בין רבי ורבי חייא מובא מעשה של רבן גמליאל כהמשך לדיוני רבי ורבי חייא. אם כן יהיה בית אבי אבא רבן שמעון בן גמליאל בן דורו של רבן יוחנן בן זכאי.

הרמב"ם סבר ששיעור זה הוא הלכה למשה מסיני וזו לשונו בהלכות קידוש החודש פרק ה הלכות א, ב: "ודבר זה הלכה למשה מסיני הוא – שבזמן שיש סנהדרין קובעים על פי הראייה ובזמן שאין שם סנהדרין קובעים על פי החשבון הוזה שאנו מחשבים בו היום ואין נזקקים לראייה".⁴ על קביעה זו שאורך החודש נודע מפי משה מסיני חלק הרמב"ם על הרמב"ם וזו לשונו בהערותיו על ספר המצוות, מצוות עשה קנג: "...ושם [כתב הרמב"ם בהלכות קידוש החודש] הדבר מסורת הלכה למשה מסיני, מה שלא נאמר בתלמוד ולא הוזכר בשום מקום".

בספר העיבור לרבי אברהם בר חייא הנשיא נאמר כי חשבון העיבור עתיק בחז"ל, אבל הוא איננו מזכיר שהחשבון הוא הלכה למשה מסיני.⁵ רבי אברהם מצטט מספרו של תלמי האלכסנדרוני (Claudius, Ptolemy c. CE 150) שחי כמאה שנה לאחר חורבן בית שני, את אורך החודש ביחידות מספריות על בסיס שישים: "המידה הזו היא כ"ט יום ול"א חלקים מששים חלקים ביום וחמישים חלקים שניים מששים בכל חלק ועוד שמונה חלקים שלישיים ותשעה חלקים רביעיים ועשרים חלקים חמישיים...". על פי גרסת רבי אברהם בן חייא הנשיא, חיבור כל החלקים והסבה לבסיס 1080, בסיס שבו השתמשו חז"ל, מביאים לסיכום של חצי יום ועוד שבע מאות תשעים ושלושה חלקים פחות שתי מאיות חלק. בגרסה אחרת: מספר החלקים הרביעיים הוא עשרים ואין חלקים חמישיים ויתר החלקים

3 השעה מתחלקת ל-1080 חלקים ולכן שני שלישי שעה וע"ג חלקים הם 793 חלקים. בדברי רבן גמליאל יש שתי תמיהות. הראשונה שבהן – אורך החודש יחסר עד שבע שעות מן החודש האמצעי, כפי שכתבנו להלן על פי המקורות שהבאנו בהערה 8. השנייה, הלא הגמרא מתייחסת לקידוש החודש על פי הראייה, ולכן מה עניין הבאת המולד האמצעי שעל פיו יתקן הלוח? נשיב על פי הבנת בעל המאור, הסובר שנוסף על פשטי הסוגיות בעניין קידוש החודש הפזורים בש"ס, יש גם רמזים לסוד העיבור אשר עניינם בזמן שיקדשו על פי החשבון. גם פה נסבור שדברי רבן גמליאל המובאים בש"ס הם רמז לתקופה בעתיד. לרמזי סודות העיבור הפזורים בש"ס התייחסתי במאמר: "מקורות בחז"ל לחשבונות קידוש החודש ועיבור השנים", המעין, ניסן תש"ס, עמ' 55-64.

4 דעת החזון איש (ערלה סימן טז) ועוד אחרונים היא כי הכוונה בהלכה למשה מסיני היא שנמסרה רשות לסנהדרין לקבוע לוח העיבור לדעת על פי החשבונות שיכינו בחכמתם. דברי החזון איש מובאים באנציקלופדיה תלמודית, כרך ב, ערך בהר"ד, עמ' שעד. על פי החזון איש יהיו שיקולינו להלן לא רק לדברי הרמב"ם, אלא גם בעבור הסוברים שפרטי הלוח אינם הלכה למשה מסיני.

5 אברהם בר חייא הנשיא, ספר העיבור, מהדורת צבי פיליפאוסקי, לונדון שנת תורה, נדפס מחדש בספר פועל ה', בני ברק תשכ"ח. הדפים אינם ממוספרים. ידיעותיי בספר תלמי האלכסנדרוני למדתי ממאמר שני שער שני בספר זה.

כגרסת רבי אברהם בר חייא. על פי גרסה זו, תהיה התוצאה 29.5 יום ו-793 חלקים בדיוק.⁶ לפי תלמי חישוב היפרכוס (אברכ"ש, 150 לפסה"נ, Hipparchus), כמאתיים שנה לפני חורבן הבית, שיעור זה מתוך בדיקות של ליקויי לבנה בבליים במשך ארבע מאות שנה. תלמי לא רשם את החישובים שעל פיהם הסיק היפרכוס מתוך הליקויים את אורך החודש האמצעי המתאים לדעת חז"ל.⁷ למרות הנאמר על ידי תלמי, סבר רבי אברהם בר חייא כי היפרכוס למד שיעור זה מחז"ל. כאשר באנו לבאר שיטת הרמב"ן על פי הבנתנו כי אורך החודש נקבע על ידי חז"ל ממדידות ליקויי חמה לפני ואחרי החורבן – כמאתיים שנה לאחר היפרכוס – אזי לא יתאימו דברינו לשיטת רבי אברהם בר חייא.

היות שהרמב"ן סובר שאין אורך החודש שלפיו אנו קובעים חשבונות השנה הלכה למשה מסיני, אזי נשאל כיצד הגיעו התוכנים הקדמונים לידיעה המדויקת של אורך החודש בימיהם וכן איך קבעו מולד בהר"ד לתחילת החשבון. לא נוכל לומר כי למדו שיעור זה מספרו של תלמי. חיבורי תלמי התפרסמו בעולם מעל למאה שנה לאחר תקופת רבן יוחנן בן זכאי.⁶ אילו ידענו על ספרות יוונית קדומה יותר שממנה למדו חז"ל שיעור אורך החודש לא יהיה בזה פסול. כתב הרמב"ם בסוף פרק שבעה עשר של הלכות קידוש החודש: "וטעם כל אלו החשבונות... והראיה על כל דבר ודבר, היא חכמת התקופות והגימטריות [אסטרונומיות] שחיברו בה חכמי היוונים ספרים הרבה והם נמצאים עכשיו ביד החכמים. אבל הספרים שחיברו חכמי ישראל שהיו בימי הנביאים מבני יששכר לא הגיע אלינו. ומאחר שכל אלו הדברים בראיות שאין בהם דופי... אין חוששים למחבר בין שחברו אותם נביאים בין שחברו אותם האומות...". אבל ספרות קדומה מזו של תלמי המתייחסת לאורך החודש האמצעי איננה ידועה לחוקרי העיתים. גם בספרות הקדומה אין התייחסות לתאריך בהר"ד שממנו נתחיל לחשב המולדות. על השאלה כיצד לייחס זכות ראשונים לידיעת אורך החודש

6 M. Engelson, "Source of Hebrew Month Duration: Babylonian Science or Ancient Tradition", *International Journal of Scientific History* 13.2 (September 2006), open access internet edition

אחד משיקוליו להפריד בין מסורת חז"ל לתרבויות הבבלית והיוונית הוא חלוקתה של השעה בלוח העברי ל-1080 חלקים, דבר שאין לו דמיון בתרבויות הזרות. בתרבות הבבלית היום מחולק לשישים חלקים ראשוניים, לשישים חלקים משניים, וכן לחלוקות נוספות כמובא בגוף המאמר. זהו סרבול לעומת חלוקת היום לעשרים וארבע שעות והשעה לאלף ושמונים חלקים.

7 F. Richard Stephenson, *Historical Eclipses and Earth's Rotation*, Cambridge 1997. מטרת הספר כשמו, להעריך שינויים של אורך היום במשך הדורות על פי מדידות של ליקויי המאורות בימי קדם על ידי תרבויות שונות ולהשוות המדידות של הצפי על פי שעונו היום. ממדידות אלה נערכים UT. ראו שם, עמ' 96-97.

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה

האמצעי עמל פרופסור מ' אנגלסון. מסקנתו היא כי חז"ל לא למדו את אורך החודש לא מן הבבלים ולא מן היוונים.⁶ אנחנו נצעד בעקבותיו. בטור אורח חיים סימן תכז כתב הבית יוסף: "...ליקוי חמה שהוא מולד האמתי". על פי דברי הבית יוסף יש שהציעו כי ניתן להסיק את אורך החודש האמצעי על ידי ספירת הימים והשעות בין זוג ליקויים. דברי הבית יוסף נראים סבירים. אומנם "תניא אמר רבן גמליאל [דיבנה] כך מקובלני מבית אבי אבא [רבן גמליאל הזקן] לעתים בא בארוכה ולעתים בא בקצרה" (ראש השנה כה ע"א). אורך החודש האסטרונומי יכול לנוע בין שש וחצי שעות ביום השלושים (=בא בקצרה) לתשע עשרה שעות ביום השלושים (=בא בארוכה).⁸ בכל זאת, היות שפרק הזמן בין שני ליקויים הוא כחמישים וארבע שנים שבהן שש מאות שישים ותשעה חודשים שלמים, סביר שהבאים בארוכה והבאים בקצרה יקוּזו אלה את אלה. משימתנו קשה מזו של היפרכוס. את אורך החודש נצטרך לקבוע כבר באמצע סדרת הליקויים ולא להמתין עד סוף הסדרה בימיו של האמורא רבי יוחנן. בימי רבן שמעון בן גמליאל דיבנה, שבשמו העיד נכדו על אורך החודש,⁹ עדיין לא נשלמה סדרת הליקויים.

סדרת ליקויי חמה שנראו בארץ ישראל בתקופת התנאים נשיאי ישראל

ליקויי החמה נראים על פני אזורי הארץ בסדרות הנקראות *סזוס*.¹⁰ כאשר במהלך הירח מסביב לכדור הארץ יארע ליקוי הנראה באזור מסוים, ייראו שוב ליקויים באזור זה במשך מאות שנים עד העלם התופעה. בין ליקוי לליקוי הנראים יהיה הפרש של 669 חדשים שהם בערך 54.09 שנים. סדרה כזו נראתה בארץ ישראל, קו אורך 35° קו רוחב 32°, החל מימי התנאים נשיאי ישראל עד ימיו של האמורא רבי יוחנן. להלן תופעות וזמני הליקויים לפי המובא בטבלאות שחושבו בעבור NASA.¹¹

8 רחמים שר שלום, שערים ללוח העברי, עמ' 133. וכן: Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, Willman-Bell 1998, p. 354: "From 1900 to 2100 the shortest time from one new moon to the next is 29 days 6 hours and 35 minutes and the longest 29 days 19 hours and 55 minutes"

9 ראש השנה כה ע"א, הובא לעיל.

10 "Eclipse", *Encyclopædia Britannica*, vol. 7, pp. 904-911; "Saros", *Wikipedia Internet Encyclopedia*

11 NASA Catalog of Solar Eclipses – Saros 79 Internet Edition. התאמת היום בשבוע לתאריך היוליאני על פי האתר: On-line conversion – Julian date converter

צבי וינברגר

טבלה א

נתוני הליקויים של סדרת סרוס 79 שנראו בארץ

תאריך לועזי	תאריך עברי (ער"ח)	שעת ליקוי מרבי	יום בשבוע	אחוזי ליקוי
19.10.-0182 *BCE	ג' תקע"ט מרחשוון	UT 10:53:59**	ו	69
20.11.-0128	ג' תרל"ג כסלו	14:08:31	א	68
***12.12.-0092	ג' תרס"ט טבת	5:14:10	ה	53.4
14.01.-0037	ג' תשכ"ג שבט	8:23:34	ש	99.7
15.02.0017	ג' תשע"ז אדר	10:09:23	ב	63.7
20.03.0071	ג' תתל"א ניסן	9:29:32	ד	62.5
21.04.0125	ג' תתפ"ה אייר	6:55:1	ו	73.6
3.06.0197	ג' תתקנ"ז תמוז	12:50:06	ו	82.8
6.07.0251	ד' י"א אב	7:14:48	א	36.7

הערות

* בלוח האסטרונומי יש שנת אפס, להבדיל מן הלוח הנוצרי שבו המעבר משנת 1 - לשנת 1 הוא ישיר. השנים שנרשמו לעיל הן על פי הלוח האסטרונומי. למשל השנה 0037 - בלוח האסטרונומי תירשם - 0038 בלוח הנוצרי. חודשי הלוח הם חודשים יוליאניים. החודשים העבריים נרשמו בהתאמה לחודשי הלוח האזרחי.

** הזמנים UT (Universal Time) הם זמנים מחושבים על פי הערכה של שעת אירוע בתאריך הנידון ביחס לאורך יום של עשרים וארבע שעות בממוצע שנתי בשנה הנידונה.¹² היום ההלכתי נמדד משקיעת החמה לשקיעת החמה למחרת בעבור אותו יום ולא בממוצע השנתי. אומנם לחישובי המולדות גם היום ההלכתי נערך על פי ממוצע שנתי.¹³ לכן לצרכינו משתוות שעות היום ההלכתי ושעות UT. זמני UT הם משוערים כי היחס בין אורך היום לאורך החודש משתנה עם העידנים.¹⁴ נדון בשינויים אלה וסיבתם להלן בפרק הממוצע של אורך החודש האמצעי מבריאת העולם עד ימי התנאים.

סטיית התקן בהערכה נאמדת בכחצי שעה.¹⁵ זמני UT של הטבלה הם הזמנים על פי שעון גריניץ' שבהם ייראו הליקויים בארץ ישראל באופן המרבי. כדי להסב שעון UT לשעון ארץ ישראל - שעות

12 F. R. Stephenson, "Historical Eclipses and the Earth's Rotation", *Astronomy and Geophysics* 44B (2003), pp. 22-27

13 ערך "חצות", אנציקלופדיה תלמודית כרך טז, עמ' תקב.

14 Stephenson, לעיל הערה 7, עמ' 33-42.

15 שם, עמ' 511-513.

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה

הלוח העברי המקוריות – יש להוסיף על הזמנים שמונה שעות ועשרים דקות. שעתיים ועשרים דקות בגלל המרחק בין קו אורך של ארץ ישראל מגריניץ' ועוד שש שעות כי תחילת היום ההלכתי משעת שקיעת החמה הממוצעת של השנה. לכן חצות היום היא שעת 18:00 (אומנם בלוחות הנפוצים היום תיחשב השקיעה הממוצעת של השנה כשעה שש, כדי להתאים את השעה שמכריזים לפני ברכת החודש לשעון המקומי המקובל. כן נלמד מן ההקדמה ללוח הנפוץ "עתים לבינה").

*** בין השנים 0128 - 0092 - היו רק 446 חודשים בין הליקויים בסדרה ובין השנים 0125 לשנת 0197 היו 892 לעומת המחזור של 669 חדשים במחזור סרוס עיוני. לא למדתי על תכונות ליקויי החמה לעומק כדי להבין את פשר השינויים במחזוריים. אומנם סכום החודשים של שני מחזורי ליקויים אלה הוא 2*669 חודשים. לאחר שנת 0251 לא נראו עוד ליקויי חמה בסדרת סרוס 79 בארץ. בתאריך 16.09.-0236 (ערב ראש השנה ג' תקכ"ה) ביום ד בשעה 8:45:16 UT היה ליקוי בשמי ארץ ישראל של פחות מאחוז אחד, לא היה ניתן להבחין בו בעיני אדם. לא הוספתי אותו לרשימה בטבלה א. נתייחס גם למולד אסטרונומי זה בדיונונו בפרק הממוצע של אורך החודש האמצעי מבריאת העולם עד ימי התנאים כאשר נתייחס לאורך החודש המרבי מאז בריאת העולם שאירע בימי התנאים.

חישוב שינויי אורך החודש האמצעי בין שני ליקויים רצופים במשך תקופת התנאים

לפני שניגש לחישובי אורך החודש האמצעי על פי נתוני הליקויים, נשאל: אילו היה אורך החודש האמצעי עשרים ותשעה ימים, חצי יום ועוד 793 חלקים, כפי הלוח המקובל, וידענו יום בשבוע של ליקוי אחד, באיזה יום בשבוע – על פי חשבון – ייראה הליקוי הבא? מן הטור הרביעי בטבלה א נבחין כי כאשר היו 669 חודשים בין ליקויים, היום בשבוע שבו יארע הליקוי הבא יהיה יומיים לאחר היום בשבוע שבו אירע הליקוי הקודם. נבחן את ההתאמה על פי חשבון. ההפרש בין הימים בתוך שבוע הליקוי נתון על ידי:

$$(1) \quad 669[1.5+793/(1080*24)]=1023.9675 \text{ ימים}$$

במילים: 669 (חודשי המחזור) פעמים 1.5305941 ימים שהם התוספת על 28 ימים – ארבעה שבועות שלמים מן החודש – שווים לימי השבוע שבין הראיות ועוד חלק מן היום שבו ייראה הליקוי הבא. ביחידות עשרוניות:

$$1.5+793/(1080*24)=1.5305941$$

ראינו לדייק את תוספת החלקים לאורך החודש בשבע ספרות ביחידות עשרוניות כדי שחישובנו להלן למספר החלקים שבהם החודש ארוך מיום וחצי יהיה מדויק לשש ספרות.

נכתוב משוואה (1) בצורה הבאה:

$$(2) \quad 1023.9675 = 1022 + 2 - 0.0325 \text{ ימים}$$

צבי וינברגר

במילים: האיבר הימני של משוואה (2) שווה לערך הסוגריים המרובעים של משוואה (1) כפול מספר החודשים של המחזור. ערך זה שווה 1022 שבועות שלמים ועוד שני ימים פחות 0.025 יום. אם כן, בין מחזור למחזור יתווספו שני ימים בשבוע שבהם ייראה הליקוי לעומת היום בשבוע שנראה הליקוי במחזור הקודם. הפרשי השעות בין הליקויים בימים שייראו הליקויים בעבור 793 חלקים קבועים בתוספת ליום וחצי על ארבעה שבועות ניתן על ידי:

$$\text{שעות } -0.78 = 0.0325 * 24$$

בטבלה א או מבחינים כי כאשר בין ליקוי לליקוי היו 669 חודשים, אז יהיה הפרש – בהתאמה לחישובנו – של שני ימים בשבוע בימים שייראו הליקויים. אומנם הפרשי השעות אינם קבועים ונעים בין חיובי בראשית הטבלה לשלילי במחציתו השנייה. שינויים אלה עוררו אותנו לחשב את אורך החודש האמצעי בין זוגות הליקויים. להלן נתייחס לאורך החודש האמצעי כפי שמתקבל מהפרשי השעות ביום שבו נראים הליקויים. בטבלה ב רשמנו את ההפרש בין השעות ביום הליקוי לליקוי הקודם לו. גם רשמנו את שמות התנאים, והאמורא רבי יוחנן, שבימיהם אירעו הליקויים. הסבנו את שעות הליקוי משעות UT לשעון ארץ ישראל ביחידות עשרוניות.

טבלה ב

הפרשי השעות הנראים בימי הליקויים בין ליקוי אחד לבין הליקוי שהיה לפני 669 חודשים

תקופת התנאים – נשיאים ¹	תאריך – ערב ר"ח	שעת ליקוי מרבי	הפרשי שעות y
יהושע בן פרחיה - נתאי הארבל	ג' תקע"ט מרחשוון	19.2331	
מלכי חשמונאים	ג' תרל"ג כסלו	22.3433	3.110
שמעון בן שטח	ג' תרס"ט טבת	13.5694	
שמעיה ואבטליון	ג' תשכ"ג שבט	16.7261	3.1567
רבן גמליאל הזקן	ג' תשע"ז אדר	18.4897	1.7636
רבן יוחנן בן זכאי	ג' תתל"א ניסן	17.8256	-0.6641
רבן שמעון בן גמליאל דיבנה	ג' תתפ"ה אייר	15.257	-2.579
רבנו הקדוש	ג' תתקנ"ז תמוז	21.1683	
רבי יוחנן	ד' י"א אב	15.58	-6.103

הפרשי שעות היום y בין הימים שבהם נראו הליקויים ניתן על ידי:

$$(3) \quad y = [669(1.5 + x/(1080 * 24)) - 1024] * 24$$

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה

כאשר x הוא תוספת בחלקים על 29.5 יום המשלימה את אורך החודש האסטרונומי. ערכי y הם הרשומים בעמודה האחרונה של טבלה ב. יתר מרכיבי הנוסחה זהים לאלו של משוואות (1) (2).

במילים: 669 חודשים כפול התוספת בימים מעל ארבעה שבועות שלמים של החודש פחות 1024 ימים שהם 146 שבועות שלמים ועוד שני ימים בשבוע שבין ליקוי לליקוי. הערך בסוגריים הוא הפרשי היום בין הימים שבהם ייראו הליקויים. בהכפלת הערך בסוגריים ב-24 תהיה התוצאה ביחידות של שעות.

נפתח משוואה (3) לחלץ x :

$$(4) \quad x = 1.61435(y + 492)$$

תוצאות החישובים מובאות בטבלה ג:

טבלה ג

אורך החודש האמצעי המחושב מהפרשי שעות היום שבהן נראה הליקוי הנוכחי לבין הנראה בליקוי הקודם במחזור

תאריך – ערב ר"ח	שעת ליקוי מרבי	הפרשי שעות y	אורך חודש אמצעי: 29.5 ימים ועוד x חלקים
ג' תקע"ט מרחשוון	19.2331		
ג' תרל"ג כסלו	22.3433	3.110	799.281
ג' תרס"ט טבת	13.5694	*	
ג' תשכ"ג שבט	16.7261	3.1567	799.356
ג' תשע"ז אדר	18.4897	1.7636	797.107
ג' תתל"א ניסן	17.8256	-0.6641	793.188
ג' תתפ"ה אייר	15.257	-2.579	790.096
ג' תתקנ"ז תמוז	21.1683	*	
ד' י"א אב	15.5800	-6.103	784.408

* עיין לעיל, בהערה המסומנת כ*** שלאחר טבלה א, בעניין השנים ג' תרס"ט וג' תתקנ"ז.

אנו מבחינים שבמשך מאתיים שמונים ושמונה שנה, מימי שמעיה ואבטליון עד ימי רבי יוחנן, חסר החודש מ-799.356 חלקים עד 784.408 חלקים. נתייחס לירידה תלולה זו בפרק האחרון בסיכום דברינו. לשבר את האוזן, בזמנו – כאלף שבע מאות ושישים שנה לאחר זמנו של רבי יוחנן, גדל חזרה אורך החודש האמצעי עד 792.834 חלקים. להלן נתייחס לגורמי השינויים באורך החודש.

רק מזוג הליקויים – האחד לפני החורבן והשני זה שלאחריו – נקבל תוצאה של 793.188 חלקים המתקרבת לתוספת לחודש האמצעי שעל פיו תוקן הלוח. ההפרש, של 0.188 חלקים, הוא פחות מ-0.63 שניות לחודש, שהן שתי מאיות שנייה ליום. ההבדל מזערי, אבל לא זניח. ההפרש בין אורך החודש ההלכתי לבין התוצאה שמתקבלת על ידי מדידת חלקי השעות שבהם נראים הליקויים לאחר חמישים וארבע שנים מסתכם בפחות משבע דקות. חוקרי העיתים סבורים כי הדיוק המרבי של התוכנים בימי קדם בקביעת זמני אירועים שמיימיים היה כארבע דקות.¹⁶ סביר כי במדידת שני ליקויים תתקבל טעות של שבע דקות. אם הייתה טעות במדידת שעות הליקויים, אזי כיוון ה' שהטעות תהיה בהתאמה לחישובי המולד האמצעי של הלוח ההלכתי. אם לא הייתה זאת טעות, אז עיגלו חז"ל בימיו של רבי הלל בן רבי יהודה נשיאה את המדידות כלפי מטה ל-793 חלקים, והוא המתאים לדורות.

בכל זאת נתמה: במה העדיפות לבחירת זוג זה של ליקויים לעומת האחרים שרחוקים מלהיות אורך החודש האמצעי שעל פיו נקבעו חשבונות הלוח? על פי הרמב"ן נבאר שכבר בזמן רבן יוחנן בן זכאי נקבע אורך החודש ההלכתי על פי הליקויים שהקרה ה' הטוב בזמנו ובזמן קודמו רבן גמליאל הזקן. מאת ה' הייתה זאת. נלמד כי יסודות הלוח נקבעו על פי הליקויים כמאתיים ותשעים שנה לפני עריכתו על ידי רבי הלל בן רבי יהודה נשיאה. נראה לי שבראות רבן יוחנן בן זכאי את היקף החורבן הבין כי לא לעולם יזכו ישראל לקדש על פי הראייה. חישב את הזמנים, ימים שעות וחלקים שהיו בין הליקוי בימיו של רבן גמליאל הזקן ובין זמנו, והעמיד יסוד חשבונות הלוח להיות על אורך החודש שאנו מחשבים היום. על פי הרמב"ן נוסף תקנה זו לתקנות המובאות במשניות והתקפות בזמנו עד שייבנה שוב בית המקדש במהרה בימינו.¹⁷

16 Stephenson, לעיל הערה 7, עמ' 511-513.

17 תקנות רבן יוחנן בן זכאי להלכות שלאחר החורבן מובאות במשנה סוכה פרק ג משנה יג; ראש השנה פרק ד משנה א; פרק ג, משנה ד; מנחות פרק י משנה ה.

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה

חשבון המולדות

הלוח העברי טרם נתקן בתקופת הליקויים שבהם אנו דנים. בכל זאת אמרתי להשוות זמני המולד המחושבים על פי יסודות הלוח שלנו היום, שמולד הראשון היה בחמש שעות ומאתיים וארבעה חלקים ביום השני לשנת תוהו. שיטת עשיית החשבון מתוארת היטב בטור אורח חיים סימן תכז. היות שעברתי לחישובים עשרוניים אתאר השיטה בקצרה, והדוגמה תהיה בעבור הליקוי הראשון שנראה בשנת ג' תקע"ט.

א. אורך החודש 29.530594 ימים. 28 ימים שהם ארבעה שבועות שלמים ועוד 1.530594 יום.

ב. לשנה פשוטה שנים עשר חודשים. לשנה מעוברת שלושה עשר חודשים. סדר השנים הפשוטות והמעוברות מובא בטור אורח חיים סימן תכח ולהם התייחסנו בחישובינו.

ג. במחזור של 19 שנה יש 235 חודשים שהם 359.6896219 ימים. לאחר הורדת 357 ימים (51 שבועות שלמים) תהיה השארית 2.6896219 ימים.

ד. תחילת המניין בראש השנה של שנת תוהו – שנה לפני יצירת האדם ביום שישי לבריאה. המולד המדומה של ראש שנה זו היה ביום שני בשעה החמישית ומאתיים וארבעה חלקים וסימנו בהר"ד. ר"ד חלקים הם $204/1080 = 0.189$ שעות.

נבוא חשבון: בשנת ג' תקע"ט היה ליקוי החמה במולד חשוון. שנת ג' תקע"ח = 3578 שנים, השנים השלמות לפני ג' תקע"ט לבריאה שהן $3578/19 = 188$ מחזורים ועוד שש שנים. על זה נוסף ימי חודש תשרי של שנת ג' תקע"ט שלפני מולד חשוון.

מן המחזור של י"ט שנה נסיק:

$$188 * 2.6896219 = 505.64892 \text{ ימים.}$$

בהורדת 72 שבועות (504 ימים) תהיה השארית:

ימים: 1.648917

ג' תקע"ט היא השנה השביעית במחזור המקובל.

קדמו לו ארבע שנים פשוטות ושנתיים מעוברות שהן ביחד 74 חודשים.

$$74 * 1.530594 = 113.26397 \text{ ימים. והשארית לאחר הורדת 16 שבועות:}$$

1.530594 וחודש תשרי של שנת תקע"ט מוסיף:

ימים: 4.443467 והסיכום:

4.443467 יום שהם ארבעה ימים ועוד 10.643208 שעות.

מוסיפים לסיכום זה את הערך של בהר"ד ויהיה המולד ביום שישי בשעה 15.83. יום הליקוי בהתאמה ליום הליקוי בטבלה א. השעה מקדימה את שעת הליקוי שהיא בשעה 19.23, ב-3.4 שעות הליקוי בא בארוכה. וכן נרשם בטבלה ד. באותה שיטה נחשב את המולד של חודש כסלו של שנת ג' תרל"ג והתוצאה היא שיום הליקוי היה ביום א כפי הרשום בטבלה א, ובשעה 15.05 ביום המולד. הפרש של 7.29 שעות משעת הליקוי שבא בארוכה. המשך החישובים על פי מחזור המובא בטור אורח חיים סימן תכח עורר אכזבה. כל יתר המולדות המחושבים היו בלילה, כפי שרשמנו בטבלה ד, בזמנים שלא ייראו הליקויים האסטרונומיים שכולם נראים ביום לאחר זריחת החמה.

אומנם לא היה עלינו להיות מופתעים מתוצאות חשבון ראשוני זה. יחס אורך החודש לאורך היום איננו קבוע ומשתנה במשך הדורות.⁷ השינויים נלמדים על ידי השוואת הזמנים שבהם נרשמו ליקויים על ידי תוכנים בימי קדם לערכים מחושבים לליקויים אילו לא השתנה היחס בין אורך החודש לאורך היום. נדון בגורמי השינויים, הן לקצר והן להאריך, בפרק הממוצע של אורך החודש האמצעי מן בריאת העולם עד ימי התנאים.

כדי לחשב נכון את המולדות היה עלינו להתייחס לממוצע של אורך החודש מבריאת העולם עד לשנה הנדונה. אומנם לא נוכל לדעת את שינויי אורך החודש מראש מבלי מבט של דורות מאוחרים שבחנו את ליקויי המאורות במשך אלפי שנים. אם אורך החודש הממוצע מן הבריאה עד זמנם של רבן גמליאל ורבן יוחנן גם היה קרוב לזה שנלמד מן הליקויים שהיו בזמנם נמצא התאמה סבירה בין הליקויים למולדות המחושבים. בטבלה ד חישבנו את המולדות בעבור אורך החודש של 29.5 ימים ותוספות של 793 חלקים כפי המקובל וכן בעבור תוספת של 793.188 חלקים. העתקנו את זמני הליקויים מטבלה ב.

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה

טבלה ד

המולדות המחושבים והשוואתם לזמני הליקויים על פי שני ערכים לאורך החודש האמצעי

תאריך – ערב ר"ח	יום	אורך החודש 29.5 ימים ועוד 793 חלקים: 793.188 חלקים:		המולד על פי הליקוי	הבדלי שעות
ג' תקע"ט מרחשוון	ו	15.83	23.54	19.23	-4.31
ג' תרל"ג כסלו	א	15.05	22.87	22.34	-0.53
ג' תרס"ט טבת	ה	6.53	14.43	13.57	-0.86
ג' תשכ"ג שבט	ש	5.75	13.77	16.73	2.96
ג' תשע"ו אדר	ב	4.97	13.10	18.49	5.39
ג' תתל"א ניסן	ד	4.17	12.42	17.825	5.41
ג' תתפ"ה אייר	ו	3.41	11.77	15.25	3.48
ג' תתקנ"ז תמוז	ו	10.37	18.89	21.17	2.28
ד' י"א אב	א	9.59	18.22	15.58	-2.64

המסומן בטבלה הבדלי שעות הן השעות של ליקוי החמה פחות המולד לפי החשבון בעבור אורך חודש של עשרים ותשעה וחצי ימים ועוד 793.188 חלקים. כאשר הבדל השעות חיובי, נאמר שהליקוי בא בארוכה. כאשר ההבדל שלילי, נאמר שבא בקצרה. שוב נתלבט: האם גם רבי הלל התייחס לחשבון המדויק יותר לימי התנאים. נתייחס לשאלה זו בפרק הבא. חיבור הסטיות מן המולד המחושב לליקויים מסתכם ב-11.18 שעות לתשעת הליקויים. נתייחס גם לסטייה זו בפרק הבא. בנספח העתקנו את המחזור המובא בטור או"ח סימן תכה ורשמנו בו את תאריכי הליקויים בהתאמה.

מולד בהר"ד

חישובי המולדות בפרק הקודם, הן לפי תוספת של 793 חלקים והן לתוספת של 793.188 חלקים, היו בהנחה כי המולד הראשון בשנת תוהו היה ביום ב' שעה חמישית ועוד מאתיים וארבעה חלקים. גם אם נדע את שנות העולם וכן יום בריאת האדם ביום השישי של ימי בראשית ונקבע אותו לראש השנה של השנה הראשונה לספירה ונוסיף מולד שנת תוהו – שנה פשוטה והחודשים כסדרם – אחד מלא ואחד חסר ויהיה ראש השנה של שנת תוהו ביום

שני – עדיין נצטרך לדעת את השעה ביום המולד של שנת תוהו כדי שתהיה בידינו שעה מדויקת שממנה נחשב מולדות חודשי הלוח.

נקדים הנחה שזמני ליקויי החמה נשמרו על ידי בית דינם של הנשיאים והיו ידועים לרבי הלל. גם אם ייעשו החשבונות של המולדות לתקופת התנאים בעבור תוספת של 793.188 חלקים יהיה צורך בשעת התחלה לחישוב חשבונות הלוח. בטבלה ד נבחן ליקוי חמה אחד שמתקרב לחשבון ה'ר"ד של חישובי המולדות – הליקוי בשנת ג' תרל"ג בימי מלכי החשמונאים. לא נראה לי כי נבחר ליקוי זה כמקור לחישובי שעות הלוח. אינני רואה שום סיבה שיבחרו בליקוי זה שהיה רחוק מימיו של רב הלל בן יהודה נשיאה לעומת שאר הליקויים. זאת ועוד. הפרש של ליקוי זה לחשבון המולד על פי ה'ר"ד הוא מעל לחצי שעה, שהוא מעבר לסטיית התקן של חישובי UT של הליקויים.¹⁸ גם ההתאמה החלקית של חישובי המולדות והליקויים על פי הנחת בה'ר"ד איננה משכנעת לבחירת בה'ר"ד. העלינו לעיל כי קיימת תוספת של 11.18 שעות לתשעת הליקויים שהם איחור ממוצע של 1.24 שעות לליקוי. התאמה בין הליקויים לחשבון המולדות הייתה טובה יותר אם היינו מתחילים את החשבון מיום ב' שעה שלישית ואלף עשרים וחמישה חלקים, זאת אומרת 1.24 שעות לפני ה'ר"ד. לכן לא נסיק שיעור ה'ר"ד מהתאמת ממוצע שעות החשבונות לממוצע שעות הליקויים.

מקור סביר לשיעור ה'ר"ד הוא הממוצע של הפרשי השעות שבין ליקויי החמה וחישובי המולדות בשני הליקויים האחרונים בסרוס 79, הליקויים בשנת ג' תתקנ"ז ובשנת ד' י"א. ליקויים אלו קרובים יחסית לימיו של רבי הלל. מטבלה ד נראה כי ממוצע ההפרשים של שני ליקויים אלה בחישובי המולדות על פי ה'ר"ד הוא 0.18- שעות שהן 10.8- דקות. סטיית התקן של זמני UT שעליהם ביססנו את חשבוננו היא כחצי שעה¹⁸ ולכן סטייה בפחות מאחת עשרה דקות היא בהחלט בתחום השגיאה בעבור זמני UT.

אף אם נסבור שאין טעות בחישובי UT, נלך בעקבות חוקרי הלוח הסבורים כי נבחרה התוספת ה'ר"ד כדי שהמולד ביום בריאת האדם יחול בשעה שלמה – ביום ו בשעה י"ד.² עדיף שנחשב את המולד ביום בריאת האדם להיות בשעה שלמה מאי הדיוק של פחות מאחת עשרה דקות בחישובי המולדות במשך הדורות. כן אבין מדבריו של רבי אברהם אבן עזרא (ויקרא כג, ג): "ותחילת החשבון [המולד האמיתי הראשון] ו' י"ד".

Stephenson 18, לעיל הערה 7, עמ' 511-513.

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה

הממוצע של אורך החודש האמצעי מבריאת העולם עד ימי התנאים

חישובינו עד עתה היו בהנחה כי המולד האמצעי הוא זה שנלמד בעזרת משוואות (3) ו-(4) מן הזמן שהיה בין הליקוי בימי רבן גמליאל לבין הליקוי בימי רבן יוחנן בן זכאי. גם סברנו על פי מימרה של רבן גמליאל בנו של רבנו הקדוש במסכת ראש השנה כה ע"א שרבן יוחנן בן זכאי הניח את היסוד לחישובי הלוח. בימי רבי הלל בן רבי יהודה נשיאה הייתה כל סדרת הליקויים גלויה לפניו. הבעתי דעתי בפרק הקודם שמועד הליקויים נשמר על ידי חז"ל ולכן ניתן היה לחשב את אורך החודש האמצעי בכל תקופת סדרת הליקויים שהייתה בתקופת התנאים. אם לא נשמרו על ידי חז"ל לפני ימיו של רבן גמליאל, נחשב אנחנו בראייה לאחור. בהקבלה למשוואה (3) נכתוב w בעבור הפרשי השעות בשל הליקוי הראשון בסדרה שהיה בשעת 19.2331 בשנת ג'תקע"ט לליקוי האחרון שהיה בשעה 15.58 בשנת ד' י"א על פי הרישום בטבלה ב. ונמצא:

$$(5) \quad w = 8 * [669(1.5 + x/1080 * 24) - 1024] * 24$$

מרכיבי הנוסחה הם זהים לאלו של משוואה (3). המכפלה 8 מופיעה לפני הסוגריים המרובעים כי שמונה הם הפרקים של 669 חודש בין הליקוי הראשון והאחרון שנראו בסדרה.

נפתח משוואה (5) לחלץ x :

$$(6) \quad x = 1.61435(w/8 + 492)$$

מטבלה ב נסיק את הפרשי השעות: $w = 15.5800 - 19.2331 = -3.6531$

ומכאן: חלקים $x = 793.523$

זאת אומרת כחצי חלק יותר מן הערך שאנו משתמשים בו לחישוב המולדות היום ושליש חלק יותר מן החישובים שערכנו בטבלה ד.

השינויים בין אורכי החודש שהסקנו מחישובי הליקויים ורשמנו בטבלה ג נעוצים בעובדה שבמשך הדורות משתנה אורך החודש האמצעי ביחס לאורך היום. חיכוך הימים בארץ בשפל וגאות גורם להפסד של התנע הסיבובי של כדור הארץ ותורם להארכת היום ולקיצור אורך החודש ביחס לאורך היום. לעומת תהליך החיכוך קיימים תהליכים גאו-פיזיים שגורמים להגדלת קצב הסיבוב של כדור הארץ המשפיעים על קיצור אורך היום ולכן על הארכת החודש לעומת אורך היום. התהליכים הגאו-פיזיים האלה הם של "רוקע הארץ על

המים" ועיקרם גורמים להשוואת קוטר כדור הארץ בקו המשווה לזה של בין הקטבים.¹⁴ מאז ימי הבריאה ועד היום קוטר כדור הארץ בקו המשווה גדול מהקוטר שבין הקטבים.¹⁹ כוחות פנימיים של כדור הארץ פועלים להשוות את אורכי שני הקטרים. כאשר קוטר כדור הארץ בקו המשווה קטן יחסית עם הזמן, שמירת התנע הזוויתי של כדור הארץ מחייבת להגדיל את קצב הסיבוב של כדור הארץ ולקצר את אורך היום.²⁰ ממדידות המתבססות על זמני ליקויים בימי קדם, משנת אלפיים ושבע מאות לבריאה ואילך, מסיקים התוכנים שהיום נהיה ארוך במשך הדורות אילו היה נמדד בשעון אטומי של ימינו. רישומי הליקויים שאליהם התייחסו התוכנים כוללים ליקויים שנרשמו על ידי תוכנים בבליים בימי בית ראשון דרך רישומים סיניים עד רישומים על ידי תוכנים ערבים בימי הביניים. אומנם מידע על תקופה קדומה יותר איננו בידי החוקרים.

בטבלה ד חישבנו את המולדות בימי התנאים בעבור אורך חודש ממוצע מן הבריאה עד ימי התנאים של 29.5 יום ועוד 793.188 חלקים וקיבלנו התאמה סבירה בין הליקויים והמולדות המחושבים. זאת אומרת שממוצע אורך החודש מבראשית עד ימי התנאים היה פחות מאורך החודש בימי התנאים שרשמנו בטבלה ד. נסיק כי מן הבריאה עד ימי התנאים התארך אורך החודש. הדרך הרצויה לחשב את המולדות בימי התנאים הייתה לדעת אורך החודש האמצעי בכל הדורות משנת תוהו עד עידן החשבון ולחשב חודש אחד על אחד עד ימי התנאים. מידע זה אינו בידינו. אבל נוכל להעריך הממוצע של אורך החודש האמצעי מבראשית עד ימי התנאים. אילו בחרנו תוספת של 793.216 חלקים במקום 793.188 חלקים בחישובי טבלה ד היה מתאפס סכום הפרשי הזמנים בין זמני הליקויים לזמני המולדות לעומת הפרש של 11.18 שעות. אם בימי התנאים הייתה התוספת לאורך חודש של 29.5 יום 793.5230 חלקים (כפי שהעלינו ממשוואה 6) והתוספת הממוצעת מן הבריאה הייתה 793.216 חלקים אזי בשנת תוהו, בהנחה שהשינויים מימי הבריאה עד ימי התנאים היו אטיים וקרובים לליניאריים, נסיק כי בימי בראשית הייתה התוספת לאורך החודש 792.909 חלקים כי:

$$(7) \quad 793.216 = (793.523 + 792.909) / 2$$

19 לפי הערך "Earth Radius" בוויקיפדיה (אנגלית), הקוטר באזור קו המשווה כעת הוא 6378.1730 ק"מ והקוטר בקטבים הוא 6356.7523 ק"מ. מאז 1998 התהפך התהליך של השתוות קוטר כדור הארץ בקו המשווה לקוטר של בין הקטבים. סיבות היפוך התהליך אינן ברורות.

20 Stephenson, לעיל הערה 7, עמ' 516.

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה

זאת אומרת בימי בראשית היה אורך החודש כעשירית חלק פחות מן השיעור שבו נתקן הלוח. על פי הבנתנו החודש התארך מן הבריאה עד ערך מרבי בימי התנאים ומאז הוא מתקצר והולך.

ננסה כעת להעריך את העידן שבו היה אורך החודש מרבי. לצרכינו נעתיק בטבלה ה את חמשת הליקויים הראשונים מתוך טבלה ג ונוסיף את הליקוי בערב ראש השנה שנת ג' תקכ"ה (תאריך לועזי 16.09.-0236) בשעה 17.0878. ליקוי זה היה פחות מ-1% ולא היה ניתן להבחין בו בארץ. הוספנו אותו לטבלה ה לצורך הערכת התקופה שממנה החל התהליך של קיצור אורך החודש האסטרונומי. על פי משוואה (4) יהיה אורך החודש האמצעי בין שני הליקויים הראשונים בטבלה 29.5 יום ועוד 797.723 חלקים.

טבלה ה

אורך החודש האמצעי המחושב מהפרשי הזמנים בין הליקויים

תאריך – ערב ר"ח	שעת ליקוי מרבי	הפרשי שעות	אורך חודש אמצעי: 29.5 ימים
ג' תקכ"ה תשרי	17.0878		
ג' תקע"ט מרחשוון	19.2331	2.1453	ועוד 797.723 חלקים
ג' תרל"ג כסלו	22.3433	3.110	ועוד 799.281 חלקים
ג' תרס"ט טבת	13.5694	*	
ג' תשכ"ג שבט	16.7261	3.1567	ועוד 799.356 חלקים
ג' תשע"ז אדר	18.4897	1.7636	ועוד 797.107 חלקים

* עיין לעיל, בהערה המסומנת כ*** שלאחר טבלה א, בעניין השנה ג' תרס"ט.

עיון בטבלה מראה כי בין השנים ג' תרל"ג – ג' תשכ"ג היה לאורך החודש האמצעי ערך מרבי. מקירוב פרבולה לערכי אורך החודש שרשמנו בטבלה ה נסיק כי אורך החודש האמצעי המרבי היה בשנת ג' תר"פ, בימי הנשיא שמעון בן שטח וערך התוספת 799.712 חלקים. מסקנה זו היא משיקולים אסטרונומיים בלבד ללא תלות בלוח העברי.

**השינויים באורך החודש האמצעי מבריאת העולם עד ימינו –
סיכום חישובינו ודעת התוכנים בזמננו**

בימי בראשית היה אורך החודש האמצעי חסר כעשירית חלק מחישוב הלוח העברי היום. הממוצע של אורך החודש בימי התנאים היה כחצי חלק יותר. ערך מרבי לחודש האמצעי היה בימי הנשיא שמעון בן שטח וערכו 6.7 חלקים יותר מחשבון הלוח. יסוד הלוח העברי הוא החודש האמצעי שמתקבל בין הליקויים שהיו בימי הנשיא רבן גמליאל הזקן לפני החורבן ורבן יוחנן בן זכאי אחריו. חודש זה ארוך 0.188 חלקים יותר מחשבון הלוח וקרוב לממוצע של אורך החודש מן הבריאה לימי התנאים. על פי הערכתנו אורך החודש הממוצע מבריאת העולם עד ימי התנאים הוא 0.216 חלקים יותר מחשבון הלוח. בימי האמורא רבי יוחנן קטן אורך החודש האסטרונומי ב- 8.6 חלקים מאורך החודש של הלוח. קיטון זה גם השפיע לקצר אורך החודש הממוצע מן הבריאה עד ימיו של רבי הלל בן רבי יהודה נשיאה. קיטון זה אפשר התאמת הלוח העברי עם המולד האסטרונומי במשך הדורות.

בימי רבי הלל נשיאה השתווה אורך החודש האמצעי לאורך החודש שעליו מבוססים חישובי הלוח.²¹ בימי רבי הלל יכול המולד של הלוח לנוע בארבע עשרה שעות מסביב למולד האסטרונומי. בימינו קצר החודש האסטרונומי ב- 0.166 חלק מן החודש האמצעי של הלוח.²¹ על פי דעת התוכנים, בימינו מאחר המולד האמצעי המחושב את המולד האסטרונומי האמצעי בשעתיים. לכן בדורנו הפרש בין מולד חשבון הלוח לבין המולד האמיתי ינוע בתוך התחום של שש עשרה השעות שבו מאחר מולד הלוח את המולד האסטרונומי שתיים עשרה שעות שבהן מולד הלוח מקדים את המולד האסטרונומי.

I. Bromberg, "The length of the lunar cycle", www.sym454/lunar/ 21

התאמת חשבון הלוח העברי לסדרה של תשעה ליקויי חמה

נספח: המחזור המקובל שעל פיו ערכנו את החישוב

מחזור י"ט שנים טור אורח חיים סימן תכח

שנת מחזור	שנה	ליקוי – ערב ר"ח
א	פשוטה	
ב	פ	ג' תרס"ט טבת, ד' י"א אב
ג	מעוברת	
ד	פ	ג' תרל"ג כסלו
ה	פ	ג' תתקנ"ז תמוז
ו	מ	
ז	פ	ג' תקע"ט מרחשוון
ח	מ	
ט	פ	ג' תתפ"ה אייר
י	פ	
יא	מ	
יב	פ	ג' תתל"א ניסן
יג	פ	
יד	מ	
טו	פ	ג' תשע"ז אדר
טז	פ	
יז	מ	
יח	פ	ג' תשכ"ג שבט
יט	מ	

