

# תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר של הלוח העברי וההתאמה בין מולד וי"ד והאלמגסט

אריאל כהן

"מולד אדם" הוא המולד הבסיסי בלוח העברי הקבוע משום שהוא מתקיים ביום שישי בשבוע בשעה העגולה 8 בבוקר, או י"ד שעות לאחר תחילת היום לפי הלוח העברי (=וי"ד), אף על פי ש"מולד תוהו" הוא המולד הפותח את השנה 1 של הלוח 12 חודשים לפניו. במסורת היהודית ידועה המחלוקת בין רבי יהושע לרבי אליעזר בשאלה מתי נוצר העולם – בניסן או בתשרי. על כן הבחירה של "מולד אדם" כמולד המתקיים בערך המעוגל וההופכת אותו באופן מעשי לתחילת חישובי המועדים של כל מולדות הלוח העברי נוסף על בחירת "מולד תוהו" כמולד הראשון של הלוח, מלמדת על ניצחון הגישה הטוענת כי בריאת העולם הייתה בתשרי. בעקבות כך ניתן להניח כי נקודת העיקר של הלוח העברי היא בצמוד לתחילת תקופת תשרי ולא לתחילת תקופת ניסן. במאמרנו זה נראה כי חישוב המועד שבו חל "מולד אדם" תוך שימוש בערכי המולדות של האלמגסט מוביל לכך שכאשר מולד תשרי הוא נקודת העיקר של הלוח ובהסתמך על הערך של משוואת הזמן בנקודת עיקר זו, יתקיים המולד בשעה המדויקת של 8 בבוקר לפי שעון ירושלים.<sup>1</sup>

1. תקציר זה נכלל במלואו בתקציר המורחב שנשלח ביום ה'12 בחודש פברואר 2015 לוועדה המארגנת של הכנס בנושא ההיסטוריה של האסטרונומיה NDXII (שהוא הכנס ה'12 בנושא באוניברסיטת נוטרדם בארצות הברית). הוועדה המארגנת של הכנס אישרה את הגעת התקציר לידיה אך לבסוף בחרה לא לכלול את נושא התקציר בין הנושאים שנידונו במליאה בכנס. הנושא שהוצע לוועדה היה:

The Equation of Time and a Description of 4 Different Epochs Used by Ptolemy and by the Jews in the First Millennium AD

ארבע נקודות העיקר שנדונו בתקציר המורחב היו: 1. נקודת העיקר של האלמגסט, 2. נקודת העיקר של "הטבלאות השימושיות" (Handy Tables) של תלמי, 3. תקופת ניסן כנקודת העיקר במסורת ישראל, 4. ראש חודש תשרי כנקודת העיקר במסורת ישראל והשפעתו על חישוב הערך של "מולד אדם".

## 1. מולד י"ד כבסיס לחישובי הלוח העברי

פרק י בהלכות קידוש החודש של הרמב"ם מלמד כי על פי חכמי ישראל שקבעו את אורך השנה של הלוח העברי "תקופת ניסן הייתה בשנה ראשונה של יצירה קודם מולד ניסן בתשע שעות ושש מאות ושניים וארבעים חלקים – סימן להם ט' תרמ"ב". תקופת ניסן הראשונה החלה אור ליום רביעי בשעה 6 לפנות ערב ביום שוויון היום והלילה של השמש ומולד ניסן חל על כן ביום רביעי בשעה 3 ר' 642 חלקים אחרי חצות הלילה. הוספת 6 חודשים שאורכם הממוצע בלוח העברי הוא 29 יום 12 שעות ו-793 חלקים ליום ד' ט' תרמ"ב מובילה לערך העגול של מולד המתקיים ביום שישי בשעה 8 בבוקר לאחר חצות הליל. מולד זה הוא מולד וי"ד הקרוי גם בשם מולד אדם שהוא המולד של ר"ח תשרי של שנה 2 של הלוח, 14 שעות ו-8 חלקים מתחילת יום שישי בשבוע העברי. באופן מעשי משמש מולד עגול זה לחישוב הזמנים של כל המולדות של הלוח העברי על ידי הכפלת מספר החודשים שחלפו ממנו באורך החודש הממוצע. חוקר הלוח העברי הנודע בארנשטיין הציע דרך לבאר את מקורו של הערך העגול של מולד וי"ד, שפורסם לראשונה על ידי סעדיה גאון במאה העשירית, ואת ההבדל בן תרמ"ב החלקים במחלוקת בינו לבין בן מאיר. מפאת חשיבותו לענייננו נביא את ביאורו כלשונו:<sup>2</sup>

המולד אשר יסד לו תלמי לעיקר בכל חשבונותיו, חל ביום 24 תות המצרי שנה ראשונה לנבונאסר, הוא יום 21 מארץ' בשנת 747 לפני מנין הנוצרים, ג"א י"ד ליצירה "17' 44' מחלקי היום (לפי חלוקת תלמי את היום לששים חלקים) לאחר חצות היום, והוא באחד בניסן, ביום השבת, חמש שעות, מ"ב מינוטין, מ"ח סקונדיין, לאחר חצות הלילה, וכאשר נחזור מזה למפרע עד ניסן של יצירה (לדעת האומר בניסן נברא העולם), נמצא מולדו ד' ח' תתע"ב,<sup>3</sup> ומולד תשרי שלאחריו (שבו נברא העולם לבני מזרח או לבני בבל) יום ו' י"ג ר"ל,<sup>4</sup> זה וזה על מקום אלכסנדריא, ויען כי ירושלים יושבת למזרח של אלכסנדריא כחמש מעלות<sup>5</sup> ובבל י"ח מעלות יהיה מולד ניסן בירושלים ד' ט' ר' 152 חלקים, ומולד תשרי בבבל ו' י"ד ר' 446 חלקים, ובעזיבת החלקים יהיו שני המולדות במספרים שלמים: לניסן ד' ט' [בירושלים] ולתשרי וי"ד [בבבל]. המספר האחרון ידוע שהוא המולד הראשון ליצירה לבני מזרח או לדעת גאונים, והמספר השני, ד' ט', הוא המולד אשר שם לו בן מאיר לעיקר.

2. ח"י בארנשטיין, מחלוקת רב סעדיה גאון ובן מאיר, ורשה תרס"ד.
3. בחישוב מדויק יותר צ"ל תתס"ד.
4. בחישוב מדויק יותר צ"ל רכ"ח.
5. צ"ל 5.5 מעלות בהסתמך על תלמי.

תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר של הלוח העברי וההתאמה בין מולד וי"ד והאלמגסט

חוקרים רבים אחרים חוזרים על חישובי "מולד אדם" של בארנשטיין, אך מדגישים רק שטעות הייתה בידו לחשב את זמן "מולד אדם" לפי זמן בבל. וכך, לדוגמה, חורץ שר שלום<sup>6</sup> כי בארנשטיין היה צריך להפחית מן הערך הזה של י"ד ר-446 חלקים את מספר הדקות המפרידות בין בבל לירושלים ואז להוסיף ל"מולד אדם", המחושב לזמן ירושלים, 454 חלקים כדי להתאימו למספר עגול  $(454+446=900)$  חלקים שהם הפרש הזמנים של 12.5 מעלות).

אולם חישובים אלה שהוזכרו לעיל לוקים בחסר משום שהם לא כללו גורם חשוב ביותר: על פי הידע האסטרונומי שהיה נחלת הכלל כבר מזמנו של היפרקוס (המאה השנייה לפני הספירה), קיים הבדל בין זמן השמש האמיתית (הזמן הנמדד על ידי שעוני השמש – sundials) לבין השעון של השמש האמצעית ומפתיע הוא כי חוקרים דוגמת בארנשטיין לא כללו בחישוביהם גורם מרכזי זה שבבסיס חישובי תלמי באלמגסט<sup>7</sup>: כל חישובי הזמן שם של השעון הממוצע שבו נעזר תלמי לציון השעה של המולדות תלויים בסולם הזמן הנקבע על פי היום שבו מחליטים להשוות את שעת הצוהריים של השעון הממוצע (שכל אחת מימותיו בכל מהלך השנה היא 24 שעות בדיוק) לשעת הצוהריים של שעון השמש (שצילו נמצא אז בכיוון צפון-דרום). ההפרש בין שני הזמנים בכל אחד מימות השנה ידוע בשם "משוואת הזמן" או "המשוואה" בלשון האלמגסט.

היום הזה שבו נקבע השוויון על ידי תלמי איננו היום שנבחר בלוח העברי לצורך כיול השעון העברי. כך, למשל, לדעת כל החוקרים כיום, דוגמת חוקר הלוח העברי עלי מרצבך,<sup>8</sup> היום שבו משתווים השעונים הוא אותו היום שבו סכום הסטיות בין השעונים בכל יתר ימות השנה משתווה ל-0. אנו נראה להלן כי היום במהלך השנה שבו בחר תלמי להשוות בין שעון השמש לשעון הממוצע גורם לסטייה הידועה של 17 דקות וכ-34 שניות ביחס לשעונים של היום. אולם, על פי פרק י של משנה תורה של הרמב"ם ניתן גם לקבוע כי חז"ל, שהאמינו שהעולם נברא בניסן וניסחו לראשונה את כללי הלוח העברי, בחרו את תחילת תקופת ניסן כנקודת העיקר של הלוח, ואילו הגאונים, שהכריעו כי בתשרי נברא העולם, בחרו דווקא במולד של ראש חודש תשרי כדי לקבוע את נקודת העיקר של הלוח העברי, נקודה בה השתוו הצוהריים הממוצעים לצוהריים האמיתיים.

6. רחמים שר שלום, "מחלוקת רס"ג ובן מאיר – המחלוקת בין בבל וא"י על העיקר למולדות", סיני קיא (תשנ"ב). וראו: <https://daat.ac.il/daat/kitveyet/sinay/mahloket1-4.htm>.
7. Ptolemy Claudius, 2<sup>nd</sup> century; *Ptolemy's Almagest* (Translated and Annotated by Gerald J. Toomer), Princeton University Press, 1998
8. יהודה אייזנברג, לוח דינים ומנהגים לשנת תשע"ב, היכל שלמה ירושלים: "הסבר על משמעות המולד" עפ"י עלי מרצבך.

ועל כן התיאור של בארנשטיין ושל אחרים, שלפיו עיגל בן-מאיר את 152 החלקים ל־0 כדי לקבל את השעה העגולה 9 או שלפיו הגאונים ובני המזרח עיגלו את 446+ החלקים לפי שעון בבל או את 454- החלקים לפי שעון ירושלים ל־0 כדי לקבל את השעה העגולה 14, הוא תיאור שגוי.

נראה כי אם נקבע את העיקר לקביעת הזמן של המולדות של הלוח העברי בתחילת שנת יצירה לפי פרק י של משנה תורה, עיקר שבו שעון השמש האמיתית משתווה לשעון השמש האמצעית בתחילת תקופת ניסן, יהיה המולד של חודש ניסן בהסתמך על הערך של משוואת הזמן כפי שהוצעה על ידי תלמי, ביום ד', ט' שעות ו־20 דקות. ולעומת זאת, אם נקבע את תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר שבה משתווה שעון השמש האמיתית לשמש האמצעית, יהיה "מולד אדם" ביום ו', 14 שעות בדיוק של דקה אחת.

ההוכחה שנפרט בהמשך מסתמכת על פרסום נודע נוסף של תלמי הידוע בשם "טבלאות שימושיות" (Handy Tables) או בשם "טבלאות פשוטות לשימוש" (Tables Facile) ואשר בו מצויה טבלת ערכים של משוואת הזמן אשר תובא להלן כפי שנשתמרה, בין היתר, על ידי תיאון האלכסנדרוני במאה הרביעית לספירה בסדרת עבודותיו שהגדולה שבהן נודעת בשם The Great Commentary.<sup>9</sup>

## 2. משוואת הזמן

כאמור, האלמגסט מדגיש כי ההתאמה בין הזמנים של אלכסנדריה המתייחסים לצוהריים של השעון שבחר בו תלמי לבין הצוהריים האמיתיים, כאשר צל השמש נמצא בכיוון צפון דרום במרחק זמן שווה בין השקיעה לזריחה, טעונה בכל ימות השנה תיקון הידוע באסטרונומיה כתיקון של משוואת הזמן. התיקון של משוואת הזמן כפי שהוא מובא על ידי תלמי ומתואר בפירוט במאמרים רבים, בהם המאמר המקיף של van Dalen,<sup>10</sup> מורכב ממספר גורמים שנפתח תוך שמירה על ראיית המסלולים כפי שהם מתוארים על ידי תלמי: הגורם האחד הוא הסטייה הנגרמת הן מהתנועה הלא מעגלית של השמש והן מנטיית מישור המשווה השמימי ביחס למישור המילקה (ראו פסקאות

9. J. Mognet and A. Tihon, *Le Grand Commentaire de Theon d'Alexandrie aux Tables Facile de Ptolemee. Livre I. Histoire du Texte, edition critique*, traduction, Vatican City: Biblioteca Apostolica Vaticana

הספרים III II IV ר-תורגמו אף הם על ידי Tihon.

10. Benno van Dalen, "On Ptolemy's Table for the Equation of Time", *Centaurus: International Magazine of the History of Science and Medicine* 37 (1994), pp. 97-153

תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר של הלוח העברי וההתאמה בין מולד וי"ד והאלמגסט

(א) ר(ב) להלן) והגורם השני הוא הבחירה של השעה הממוצעת ביחס לשעון השמש (sundials) שהיא החלטה מקומית.

"משוואת הזמן" היא לפיכך ביטוי לתיקון היום-יומי שיש להוסיף כדי להתאים בין השעה של שעוני השמש לבין שעת השעון שכל אחת מיממותיו שווה בדיוק ל-24 שעות.

האלמגסט אף מפרט כי התיקון הגדול ביותר לזמן אלכסנדריה מגיע לערך החיובי של  $33^m, 26^s$  כאשר השמש נמצאת בקו האורך השמימי בסמוך לאמצע מזל דלי<sup>11</sup> ואילו הסטייה המזערית (0) מתקבלת בתחילת מזל עקרב. כפי שנפרט להלן בחר, אם כן, האלמגסט את סולם השעון שלו כך שהתיקון לזמן אלכסנדריה קטן בכל אחד מימות השנה ב-17 דקות וכ-34 שניות מן הסטייה היומית הממוצעת.

מכאן ואילך נעסוק בפרק זה בדרך בה חושבו הסטיות בהשפעת הגורמים הבאים: 1. הגורם הראשון לתיקון הוא החריגה של מסלול השמש (לפי ניסוח האלמגסט) מתנועה מעגלית סביב לכדור הארץ במהלך ימות השנה. תנועה לא מעגלית זו תוארה על ידי האלמגסט כתנועה מעגלית אקסצנטרית או כתנועה אפיציקלואידית של השמש<sup>12</sup>, תנועה שלפיה השמש האמיתית, S, נעה על מעגל מְשָׁנִי שנקודת מרכזו (נקודה הידועה כיום בהגדרתה כשמש האמצעית) נעה בסיבוב מעגלי סביב לכדור הארץ ועוברת לדוגמה דרך הנקודות A, B ו-C (ר' ציור 1).

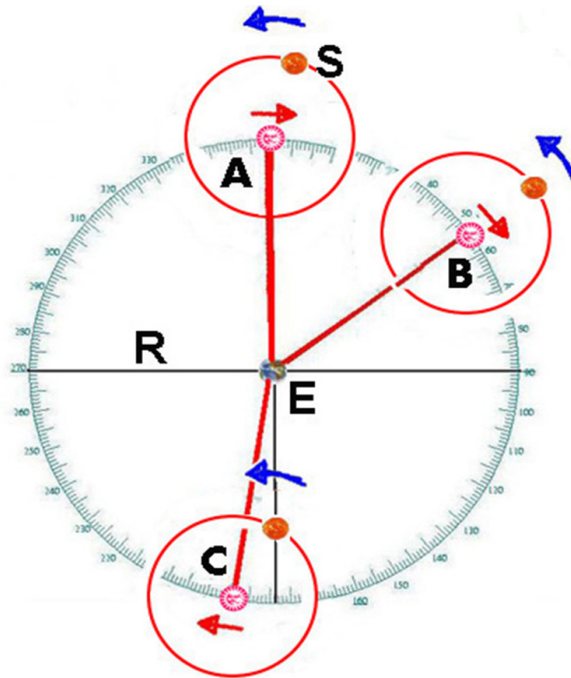
בנקודה A המצויה בתחילת האביב הממוצע (במצב בו השמש האמצעית מצויה במרכז המעגל המשני, וראו להלן) השמש האמיתית מקדימה את השמש האמצעית והזווית AES שווה, על פי האלמגסט, ל- $4''$ ,  $8'$ ;  $2^{\circ}$ . בנקודה B הנמצאת על קו האורך השמימי של  $30'$ ;  $65^{\circ}$  בו השמש האמיתית נמצאת במרחק הגדול ביותר מכדור הארץ. בקו אורך זה, שבהנחת האלמגסט נשאר קבוע עם השנים<sup>13</sup>, נמצאת גם השמש האמצעית ועל כן ההפרש בין קווי האורך של שתי השמשות שם הוא  $0'$ ;  $0^{\circ}$ .

11. Otto Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Berlin; New York: Springer-Verlag, 1975, p. 62

12. שתי הגישות – הגישה האקסצנטרית והגישה האפיציקלואידית – מובילות לאותה תנועה של השמש האמיתית וכאן נתרכז במודל האפיציקלואידי. נציין כי אל-בירוני, לדוגמה, נעזר במודל האקסצנטרי בעמ' 167 בספרו *Al-Biruni, The Chronology of Ancient Nations*, translated by E.C. Sachau, London 1879.

13. נעיר כי בתקופת סעדיה גאון (במאה העשירית) כבר פרסם אל-ביתאני (סמוך לסוף המאה התשיעית) את עבודותיו, בהן הדגיש כי קו האורך השמימי של נקודת האפהליון B אינו קבוע וערכו משתנה על-פיו בשיעור של מעלה אחת בכל 66 שנה (הערך המקובל כיום הוא מעלה אחת בכל כ-59 שנים).

הערך בו השתמש אל-ביתאני ב-1.3.880 לקו האורך של B עמד על  $17'$ ;  $82^{\circ}$  ואילו בחישובי



ציור 1. השמש האמיתית נעה בקצב קבוע על המעגל הקטן נגד כיוון השעון סביב לשמש האמצעית הנמצאת במרכז המעגל הקטן והנעה בכיוון השעון סביב כדור הארץ (E) בקצב קבוע על המעגל R. כיום ההפרשים השנתי בין קווי האורך של שתי השמשות במצב זה הוא 0

בנקודה C בתחילת תקופת הסתיו של השמש האמיתית, מקדימה השמש האמצעית את השמש האמיתית והזווית SEC שווה ל-  $22^{\circ}$ ;  $10'$ ;  $22''$ .

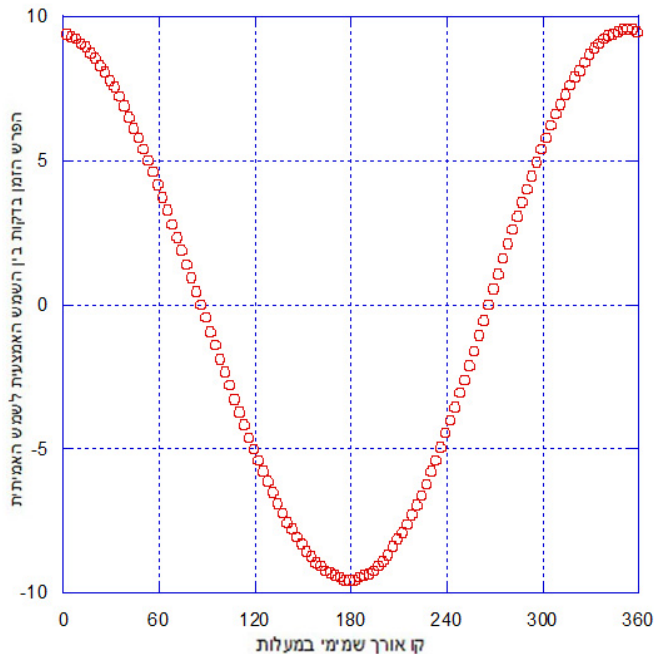
זמן המחזור של התנועה המעגלית סביב לנקודת מרכז זו שווה למחצית זמן ההקפה של השמש האמצעית סביב לכדור הארץ, וכך פעם אחת בשנה השמש האמיתית נמצאת במרחק מרבי מכדור הארץ (נקודה B בציור 1) וכעבור מחצית השנה היא נמצאת במרחק המזערי ממנו.

מרחק הזמן הקבוע שבין הצוהריים של השמש האמצעית לצוהריים הבאים נקבע על ידי חלוקת 360 המעלות שהשמש האמצעית עוברת בשנה במספר הימים שיש בשנה. אך כדי שהשמש האמיתית תגיע לשעת הצוהריים, לעיתים עליה לסובב זמן רב יותר ולעיתים זמן קצר יותר כדי להגיע לצוהריים. זאת משום שתנועת השמש

תלמי עמד ערכו על הערך הקבוע של  $30' 65^{\circ}$ . אולם, אנו נצא מנקודת ההנחה כי סעדיה גאון לא השתמש בחישובי אל-כתאני אלא בחישובי תלמי בלבד.

תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר של הלוח העברי וההתאמה בין מולד וי"ד והאלמגסט

התקבלה כמורכבת משתי תנועות – האחת סיבוב יומי סביב כדור הארץ והשנייה סיבוב שנתי של כל מערכת הכוכבים והשמש בתוכה סביב לכדור הארץ. כאשר הצל של השמש האמיתית נמצא בכיוון צפון-דרום נקבעים הצוהריים האמיתיים. צל זה יהיה בכיוון הנדרש בזמנים שונים עבור השמש האמצעית הנעה במהירות קבועה על מעגל לעומת השמש האמיתית, שכאמור לעיתים מפגרת אחריה ופעמים מקדימה אותה. סך כל הסטיות במהלך השנה הוא 0 דקות אם מניחים שהשמש האמצעית נעה על מרכז המעגל המשני. אך סך כל הסטיות במהלך השנה יכול להיות גם שונה מ-0, ולדוגמה, 17:34 דקות, אם מניחים כמו באלמגסט שהשמש האמצעית נעה על אותו מעגל אך 17:34 דקות לפני נקודת המרכז של המעגל המשני (וראו להלן).



ציור 2א. התיקון לשעת הצוהריים האמיתית ביחס לשעון הממוצע הנובע מהתנועה האפיציקלואידית של השמש האמיתית

השמש האמיתית מתקדמת מהר יותר בשמיים ככל שהיא מתקרבת לנקודה הקרובה ביותר לכדור הארץ ומתקדמת לאט יותר לקראת נקודתה המרוחקת ביותר. ספר האלמגסט מספק טבלה של המרחקים במעלות אורך שמימי של השמש האמיתית מן השמש האמצעית ומתוך ידיעת ההתקדמות הממוצעת של השמש ניתן לחשב את משך הזמן שעל השמש לעבור כדי להגיע לצוהריים האמיתיים מאז הצוהריים האמיתיים

של יום האתמול בכל אחד מימות השנה. נקודות האפלהליון –  $65.5^\circ$  (שנחשב, כאמור, על ידי תלמי לקו אורך שמימי קבוע שאינו משתנה עם השנים) והפריהליון –  $245.5^\circ$  (נקודות שבהן השמש האמיתית במרחק מרבי ומזערי, בהתאמה) הן נקודות המעבר מיממות המתארכות כתוצאה מן המהירות המשתנית של השמש האמיתית סביב כדור הארץ, ליממות המתקצרות כתוצאה ממהירות משתנית זו ולהיפך.

התרומה של התנועה הלא מעגלית להבדל בזמן שבין הצוהריים האמיתיים לצוהריים הממוצעים היא על כן פונקצייה מחזורית המשלימה מחזור אחד בשנה (ציור 2א). וכאשר הצוהריים האמיתיים משתווים לצוהריים של השעון בנקודות האפלהליון או הפריהליון יתאפס סכום כל ההבדלים הנובעים מתרומה זו במהלך השנה.

ב. אולם גם אילו הייתה תנועת ההקפה של השמש האמיתית סביב כדור הארץ מעגלית טהורה, נטיית מישור המשווה השמימי (המוגדר, כיום, כמישור הניצב לציר הסיבוב של כדור הארץ) ביחס למישור המילקה (שהוא המישור של תנועת ההקפה במהלך השנה) בשיעור של  $\varepsilon_0 = 23.85556^\circ$  (שהוא הערך של האלמגסט), גורמת לכך שהצל בכיוון צפון דרום לאורך ציר הסיבוב נקבע על פי הערך של קואורדינטת המעגלים הגדולים דווקא במערכת הקואורדינטות המתייחסת למשווה השמימי, קואורדינטות הידועות בשם העלייה הישרה ( $\text{Right Ascension} = \alpha$ ). שיעור התרומה של נטיית המישור על הארכת הזמן, או קיצורו, מצוהריים אמיתיים לצוהריים אמיתיים שווה להבדל שבין הערך של העלייה הישרה לערך של קו האורך השמימי המתאים הנמדד במישור המילקה. בחישובים להלן לגבי התרומה (ב) של נטיית הציר, מניחים לפיכך את ההנחה הבאה: השמש האמצעית נעה בתנועה מעגלית טהורה במישור המילקה ושעת הצוהריים הממוצעים מתקבלת בקפיצות שוות של האורך השמימי  $\lambda$ . לכל קו אורך כזה ניתן לחשב מהי העלייה הישרה  $\alpha$ . לעומת זאת, שעת הצוהריים האמיתית מתקבלת כאשר זווית העלייה הישרה במישור המשווה השמימי משתווה לקו האורך השמימי של שעת הצוהריים הממוצעים  $\lambda = \alpha_1$  כי רק אז יהיה הצל בכיוון צפון דרום. תוספת התיקון של אפקט זה למשוואת הזמן היא לכן  $\alpha_1 - \alpha$  אותו מחשבים באמצעות משוואות האסטרונומיה הכדורית<sup>14</sup> הקושרות בין האורך השמימי של השמש,  $\lambda$ , לבין העלייה הישרה  $\alpha$  ביום שבו זווית הדקלינציה של השמש היא  $\delta$ .<sup>15</sup> בימי שוויון היום והלילה האסטרונומי (תחילת האביב והסתיו),  $\delta = 0$ , ולכן  $\alpha = \lambda$  והתרומה  $\alpha_1 - \alpha$  היא 0. נוסף על כך, ביום הארוך או הקצר ביותר  $270$ ;  $\lambda = 90$

14. וראו, למשל, פירוט בנספח המדעי של הספר א' כהן, מסע אל ההיסטוריה של האסטרונומיה – מסע באוזבקיסטן בעקבות תרומותיהם של אליחואריזמי אל-בירוני ואולוגבק ומצפה הכוכבים בסמרקנד, עמ' 180.

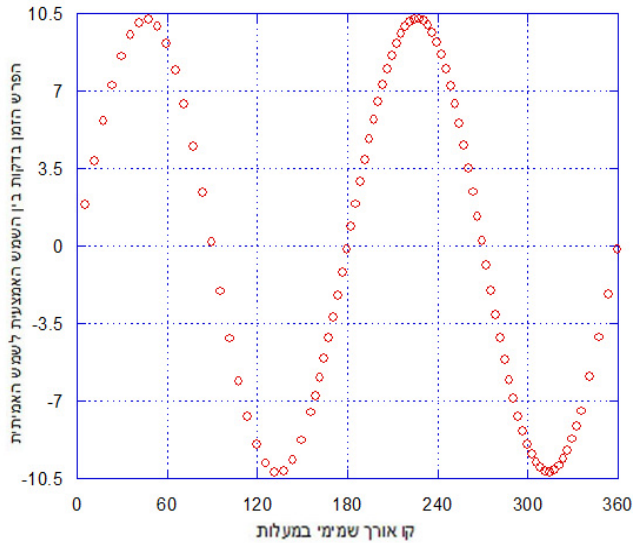
15. המשוואות הבסיסיות הנדרשות לחישובים כאן הן:

$$\cos(\alpha) \cos(\delta) = \cos(\lambda) \quad (1) \quad \text{כאשר} \quad \sin(\delta) = \sin(\varepsilon_0) \sin(\lambda) \quad (2)$$

תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר של הלוח העברי וההתאמה בין מולד וי"ד והאלמגסט

(ו-  $\lambda = \alpha = \pm 23.855556^\circ = \pm \varepsilon_0 = 20'' , 51' ; \delta = \pm 23^\circ$  ; ולכן גם בימים אלה  $\lambda = \alpha$  והתרומה היא שוב 0.

כאשר  $\lambda = 45^\circ$  ,  $\delta = 16.6172^\circ$  ומתקבלת הסטייה המרבית,  $\alpha - \lambda = 2.555^\circ$ . משך הזמן הדרוש לסגור פער של 2.555 מעלות הוא 10.2 דקות וזוהי הסטייה המרבית המופיעה בציור 2 (עד לדיוק של יחידת הזמן של האלמגסט).



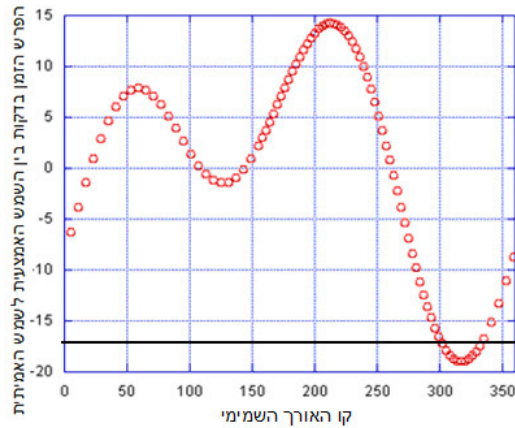
ציור 2. התרומה לתיקון לשעת הצוהריים האמיתית ביחס לשעון הממוצע, הנובעת מנטיית מסלול המשווה השמימי ביחס למישור המילקה

התרומה של נטיית הציר להבדל בין הזמנים של הצוהריים האמיתיים לצוהריים הממוצעים ניתנת לקירוב באמצעות פונקציית סינוס, אך הפעם היא בעלת שני מחזורים שלמים שנקודות האפס שלה במהלך השנה הן תחילת ארבע העונות ונקודות ההפרש המרבי בן  $\pm 10.2$  דקות מתקבלות באמצע העונות.

צירוף של שתי התרומות מוביל לגרף הידוע בשם "משוואת הזמן" שכונתה על ידי תלמי בשם "המשוואה" (ציור 3), כל ערכי "המשוואה" חושבו בהתאם לידע האסטרונומי של תלמי והם תואמים במדויק לגרף המופיע באתרו של האסטרונום הבלגיהולנדי ואן גנט.<sup>16</sup>

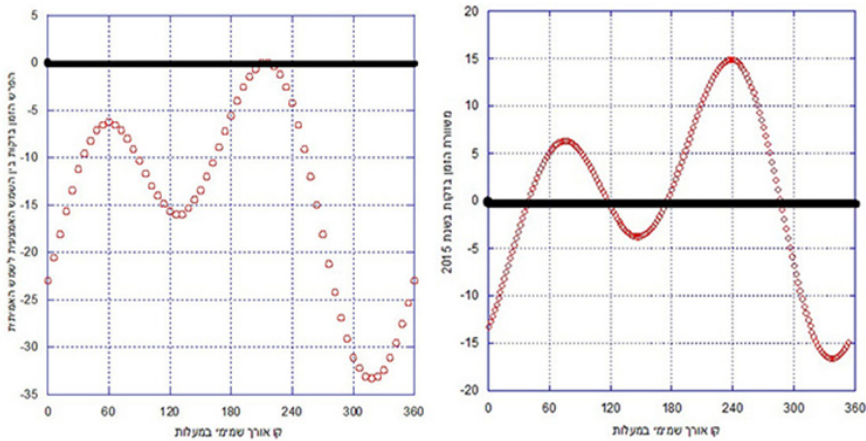
16. Van Gent, <http://www.staff.science.uu.nl/~gent0113/eclipse/astro/almagestephemeris.htm>

## אריאל כהן



ציור 3. צירוף של שני הצוירים 2א ו-2ב המציג את התיקון לשעת הצוהריים האמיתית (צל שעון השמש הוא בכיוון צפון-דרום) ביחס לשעון הממוצע אילו היה מותאם לזמן שבו ממוצע כל הסטיות הוא 0. הקו השחור מציין את השעה שביחס אליה נתונים הזמנים באלמגסט – וראו פרק 3

הגרף הזה דומה בתכונותיו לגרף משוואת הזמן המחושב לשנת 2015 כאשר תמונת המסלול של השמש מוחלפת למסלול האליפטי, ונקודת האפהליון מותאמת למיקומה היום בתאריך המקורב של ה-4 ביולי. ציור 4 משווה בין הגרף של נתוני תלמי ובין הגרף של היום.



ציור 4. התיקון לשעת הצוהריים האמיתית עפ"י "הטבלאות השימושיות" של תלמי (משמאל) ומשוואת הזמן המשמשת כיום בהתאמת השעון הממוצע בגריניץ' לצוהריים האמיתיים (מימין). הקווים המודגשים בשני השרטוטים מסמנים את שעת האפס של השעון הממוצע, בה היא משתווה לשעת האפס של השמש האמיתית שתלמי שינה מנקודת מינימום מקורבת לנקודת מקסימום במעבר בין האלמגסט לטבלאות השימושיות וראו הפרק הבא

תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר של הלוח העברי וההתאמה בין מולד וי"ד והאלמגסט

### 3. סקלת הזמן של האלמגסט והטבלאות השימושיות

תלמי מציין כי תאריך המוצא שלו הוא תחילת היום הראשון של הלוח המצרי בשנה הראשונה למלכותו של נבונאסר. הזמן המדויק הוא צוהרי השמש האמיתית ביום ה-1 בחודש תות' המתאים לתאריך של יום רביעי ה-26 בספטמבר שנת 747 לפני הספירה לפי הסקלה של הלוח היוליאני. מכך ניתן להסיק כי באותו היום בחר תלמי שהשמש האמצעית תורה אף היא על שעת הצוהריים.

בהתאם להנחה זו יש לתקן את הזמן שבו תהיה השמש האמיתית בצוהרי היום על פי הגרף של משוואת הזמן שנקודת האפס שלה היא חיתוך הגרף עם מעלת האורך השמימי של 330 מעלות ו-45 דקות של מעלה שבה נמצאת השמש הממוצעת (הקו השחור המודגש בציור 3), על פי האלמגסט בנקודת העיקר.

אולם, באלמגסט אין פירוט של ערכי משוואת הזמן פרט לניסוח הכללי של תלמי בסוף הפרק השלישי באלמגסט, שלפיו, כנזכר לעיל, התיקון של משוואת הזמן הוא משתנה בצורה חיובית מרבית בין תחילת מזל עקרב לבין אמצע מזל דלי.<sup>17</sup> לעומת זאת, בעבודתו הנוספת של תלמי "טבלאות שימושיות" מופיעה טבלה שנשמרה, כאמור, בעבודתו של תיאון האלכסנדרוני<sup>18</sup> טבלת ערכים אשר שימשה את האסטרונומים בחישוביהם (ראו טבלה 1 וציור 4 משמאל).

T	λ	T	λ	T	λ	T	λ	T	λ
26.83	288	0.03	216	14.45	144	7.1	72	23	0
29.06	294	0.36	222	13.45	150	8	78	20.55	6
31.06	300	1.21	228	11.98	156	9.11	84	18.06	12
32.25	306	2.58	234	10.51	162	10.38	90	15.63	18
33.1	312	4.21	240	8.86	168	11.7	96	13.4	24
33.38	318	6.56	246	7.18	174	12.95	102	11.21	30
33.08	324	9.1	252	5.55	180	14.05	108	9.58	36
32.43	330	11.96	258	4	186	14.88	114	8.16	42
31.1	336	15.03	264	2.5	192	15.61	120	7.11	48
29.5	342	18.15	270	1.46	198	16.05	126	6.55	54
27.55	348	21.25	276	0.61	204	16.03	132	6.2	60
25.35	354	24.18	282	0	210	15.3	138	6.56	66

טבלה 1. ערכי משוואת הזמן T בדקות כאשר השמש האמיתית נמצאת בקווי האורך השמימיים λ

Almagest – Toomer p. 171 .17

Benno van Dalen p. 134 .18

נקודת העיקר של תלמי ב"טבלאות השימושיות" היא במעלה ה-210 (תחילת מזל עקרב) שבה צוהרי השמש האמצעית (השעון) מתאחדים עם הצוהריים של השמש האמיתית וזה מתקיים בקירוב רב בדיוק 424 שנים מצריות בנות 365 ימים כל אחת אחרי ה-1 בחודש תות' שנת 746-. בתאריך ה-1 בתות' בשנת 324 לפני הספירה לפי הסקלה היוליאנית היה התאריך 12 בנובמבר.

כאמור, בטבלת ערכים זו מודגש שמשוואת הזמן שווה ל-0 דווקא כאשר השמש האמצעית נמצאת במעלת האורך 210 וכי כל ערכי משוואת הזמן חיוביים. זמני המולדות המבוטאים ביחס לשעון של אלכסנדריה החדש, שנקודת העיקר שלו ידועה בשם נקודת העיקר של פיליפ, יהיו בעלי ערכים השונים מן האלמגסט כשיעור ההבדל במשוואת הזמן בין ערכה במעלת האורך השמימי של 330 מעלות ו-45 דקות של מעלה (נקודת העיקר של נבונאסר) לבין ערכה במעלת האורך של 210 מעלות. הבדל זה נסמן ב- $M_0$  וערכו ניתן על פי טבלה 1 על ידי:

$$M_0 = 32.4$$

#### 4. הלוח העברי ומשוואת הזמן

הערך של  $M$ , שהוא מספר הדקות שיש להוסיף לשעון האלמגסט כדי לקבל את השעון של הלוח העברי בהתחשב במשוואת הזמן, תלוי בבחירה של נקודת העיקר של הלוח העברי.

נדון בשלוש אפשרויות של ערכי  $M$ :

- א. נקודת העיקר המתאימה לתחילת היום שבו החלה תקופת ניסן לאומרים שבניסן נברא העולם –  $M_1$ .
- ב. נקודת העיקר המתאימה למועד שבו חל מולד אדם לאומרים שבתשרי נברא העולם –  $M_2$ .
- ג. השעון בן זמננו שלפיו סכום כל ערכי משוואת הזמן בשנה שווה ל-0 –  $M_3$ .

בסעיפים א ו-ב אנו נניח כי ירושלים נמצאת במרחק של 5.5 מעלות מאלכסנדריה (בניגוד לקירוב של בארנשטיין, ראו לעיל), כלומר אנו נניח ששעת הצוהריים האמיתיים המקומיים בירושלים מקדימה ב-22 דקות את שעת הצוהריים האמיתיים באלכסנדריה. בדעה זו החזיקו האסטרונומים של האלף הראשון לספירה ובראשם תלמי.<sup>19</sup>

19. ראו, למשל, ההקדמה באתר <http://www.staff.science.uu.nl/~gent0113/eclipse/astro/almagestephemeris.htm>

תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר של הלוח העברי וההתאמה בין מולד וי"ד והאלמגסט

א. הזמן על פי שעון האלמגסט של מולד ניסן באלכסנדריה בשנה הראשונה ליצירה, ובתאריך בסולם היוליאני של 2 באפריל שנת 3760 לפני הספירה, הוא 14 שעות 48 דקות ו־20 שניות לאחר צוהרי היום או 8 שעות 48 דקות ו־20 שניות לפי השעון העברי של יום רביעי. ועל כן אם בירושלים היו מתייחסים לאותה נקודת מוצא של נבונאסר, הייתה השעה 9 שעות 10 דקות ו־20 שניות. אך אם נוסיף לחישוב שעת המולד את הבחירה של סולם זמן המקיים את הדרישה ששעון השמש האמיתי יתאחד עם שעון השמש האמצעי ביום שבו חל מולד ניסן בשנת היצירה כך שבתחילת תקופת ניסן תהיה שעת השקיעה בשעה 6, על פי החלק השמאלי של ציור 4 בחירה כזאת הייתה מזוזה את סקלת הזמן הממוצע של השעון ב־10 דקות ביחס לאלמגסט והשעה שבה יחול המולד בירושלים יהיה 9 שעות 20 דקות ו־20 שניות. אם נניח שלפני עיניהם של חז"ל עמדו דווקא נתוני טבלה 1 מ"הטבלאות השימושיות", משום שטבלה זו היא התרגום היחיד של תלמי לשפת המספרים של התיאור הכללי המצוי באלמגסט, יהיה הערך שונה במעט מ־10 דקות: על פי טבלה 1 יהיה ההבדל של ערכי משוואת הזמן בין נקודת נבונאסר (השמש האמצעי באורך שמימי של  $330.75^0$  [330] ושלושת רבעי מעלה)) לתחילת האביב (השמש האמצעי באורך שמימי 0) שווה ל־9.6 דקות.<sup>20</sup> זאת משום שבתחילת האביב הממוצע,<sup>21</sup> דהיינו, כאשר האורך השמימי הוא 0 מעלות הערך בטבלה הנדונה הוא 23 דקות ולכן

$$M_1 = 32.4^m - 23^m = 9.6^m$$

נובע מכך כי שעת המולד של 9 שעות ו־20 דקות היא השעה של מולד ניסן על פי עולם המדע (דאז) בירושלים בסולם אפשרי זה בדיוק של כחלק אחד. ערך זה מדגיש כי הזמן אותו הציע בן מאיר כעיקר המביא לכך שמולד ניסן יהיה בירושלים בשעה ט' בדיוק הוא ערך מעוגל אם מתחשבים במשוואת הזמן (עיגול של 20 דקות) אם ללא משוואת הזמן (עיגול של כ־10 דקות).

המולד של חודש תשרי על פי האלמגסט, 6 חודשים מאוחר יותר, יהיה לפי סולם זה ביום שישי בשבוע בשעה 13 ו־798 חלקים, או בשעה 13, 44 דקות ו־20 שניות. על כן, אם הסתמכו חז"ל על ערך זה המבוסס על נקודת עיקר של תחילת תקופת ניסן, יתקבל מולד וי"ד על ידי עיגול של 15 דקות ו־40 שניות. נעיר כי סכום העיגול לאחר

20. באורך השמימי של 330 מעלות שבו מוצבת השמש האמצעי משוואת הזמן על פי טבלה 1 מלמדת כי הבדל הזמן מנקודת האפס של הטבלה הוא  $32.43^m$ , ועל כן יהיה הבדל הזמן באורך השמימי של 330.75 נתון על ידי 32.4 (לעומת 23 דקות כאשר השמש ב־0 מעלות).

21. לפי הרמב"ם בסוף פרק י של הלכות קידוש החודש: "וחשבון שתי התקופות האלו שביארנו דרכם, הכול בקירוב הוא, ובמהלך השמש האמצעי, לא במקומה האמיתי; אבל במקום השמש האמיתי תהיה תקופת ניסן בזמנים אלו, בכמו שני ימים קודם שתי התקופות שיוצאין בחשבון זה, בין בחשבון מי שמחשב רביע יום גמור, בין למי שמחשב לפחות מרביע יום".

של 20 דקות של בן מאיר בהתחשב במשוואת הזמן לקבלת הערך ד"ט והעיגול לפנים של 15 דקות ו-40 שניות לקבלת וי"ד הוא בדיוק תרמ"ב חלקים.

ב. הזמן על פי שעון האלמגסט של מולד תשרי 6 חודשים לאחר מולד ניסן באלכסנדריה (בתאריך ה-26 בספטמבר שנת 3760 לפני הספירה) הוא 19 שעות 12 דקות ו-39 שניות אחר צוהרי היום או 13 שעות 12 דקות ו-39 שניות לפי השעון העברי של יום שישי, ובירושלים – 13 שעות 34 דקות ו-39 שניות. אך הפעם נסיף את הדרישה שהשעון של השמש האמצעית ישתווה לשעון השמש האמיתית בזמן המולד של תשרי, דהיינו בזמן מולד אדם. בזמן המולד (של השמש והירח הממוצעים) נמצאת השמש האמצעית במעלת האורך השמימי של  $175^{\circ}$  בקירוב רב,<sup>22</sup> ועל פי החלק השמאלי של ציור 4 הערך של משוואת הזמן בנקודה זו הוא 24 דקות ו-14 שניות והשעה בה יחול המולד בירושלים, בסולם חדש זה, תהיה 13 שעות 58 דקות ו-53 שניות. אך, אם נניח פעם נוספת שבידי חז"ל היו נתוני טבלה 1 מ"הטבלאות השימושיות", יהיה הערך של משוואת הזמן שונה מ-24 דקות ו-14 שניות והוא יעמוד על 25 דקות ו-29 שניות:

$$M_2 = 32.4^m - (7.18 - [7.18 - 5.55] / 6) = 32.4^m - 6.91^m = 25^m 29^s$$

נובע מכך כי שעת המולד תהיה 13 שעות 34 דקות ו-39 שניות ובנוסף 25 דקות ו-29 שניות ושעת מולד אדם על פי עולם המדע (דאז) בירושלים בסולם זה תהיה על כן ביום שישי בשעה 14 בדיוק (בתחום של מספר שניות בלבד, וראו פרק הדיון).

ג. בלוחות זמני המולד דהיום מחשבים את מספר המולדות שחלפו מאז מולד אדם, וי"ד, והתוצאה המתקבלת היא התוצאה המחייבת בהלכה של היום כשעת המולד על פי השעון העכשווי בירושלים, כבכל ערי ארץ ישראל, כאשר שעון זה מותאם לשעון אלכסנדריה. באלכסנדריה השעון מורה על שעתיים יותר מאשר השעון בגריניץ', שבה משוואת הזמן מורה על 0 דקות כאשר קו האורך השמימי של השמש האמצעית מתאים למועד שבו סכום כל הסטיות של צוהרי השמש ביחס לצוהרי השעון הוא 0. כל זאת בהזנחת ההשפעה של שינוי השעה בשעון הקיץ. הפרש הזמן בין שעוננו כיום לשעון האלמגסט (ראו הצד הימני של ציור 4) ניתן על ידי:

$$M_3 = 17^m 34^s$$

22. מעלת האורך של השמש האמצעית במולד אדם מתקבלת ע"י הזמן העובר מתחילת תקופת ניסן עד למולד ניסן בתוספת של 6 חודשי הלוח העברי. זמן זה הוא 177.58333 ימים שהם 175.03 מעלות. וראו פרק הדיון.

תחילת תקופת תשרי כנקודת העיקר של הלוח העברי וההתאמה בין מולד וי"ד והאלמגסט

על פי מרצבך<sup>23</sup> יש על כן לתקן את זמני המולד בירושלים תחילה כ־21 דקות המבדילות בשעון בין אלכסנדריה לירושלים בהתאם לידע הגאוגרפי של היום ובנוסף יש לתקן גם את שעת המולד כאשר מתקיים שעון הקיץ.

אולם, כל המתחשב בתיקונים חשובים אלו המוצעים על ידי מרצבך ראוי הוא שישקול להוסיף גם תיקון המתייחס לשאלה על פי איזו נקודת עיקר נקבע זמן וי"ד של מולד אדם. אם סעיף א בפרק זה מבטא את נקודת העיקר (תקופת ניסן), יש להוסיף עוד  $M_3 - M_1 = 7^m 58^s$  לזמני המולדות. לעומת זאת, אם נקודת העיקר היא מולד אדם בירושלים, יש לגרוע  $M_2 - M_3 = 7^m 45^s$  מזמני המולדות.

## 5. דיון

הרמב"ם מציין כי "תקופת ניסן, היא השעה והחלק שתיכנס בו השמש לתחילת מזל טלה" (מתוך פרק ט בהלכות קידוש החודש) וכן כי בלוח העברי הנוהג כיום "תקופת ניסן הייתה, כאמור, בשנה ראשונה של יצירה והחלה ט' שעות ותרמ"ב חלקים לפני מולד ניסן" (מתוך פרק י בהלכות קידוש החודש).

שתי קביעות אלה, המתייחסות לתחילת תקופת ניסן ולמולד ניסן, שאין מחלוקת לגביהן בין חוקרי הלוח העברי, מבדילות את הלוח העברי מן האלמגסט ומכל המדידות האסטרונומיות הידועות לנו שבוצעו באלף הראשון לפני הספירה ובאלף הראשון לספירה עד למאה השמינית-תשיעית בו.

הדוגמה הבולטת במיוחד היא הקביעה של הלוח העברי הקבוע המתבטאת בדברי הרמב"ם לעיל, שביום תחילת מזל טלה, שהוא נקודת המוצא של קווי האורך השמימיים, הייתה השמש האמצעית בקו אורך שמימי  $0^\circ$  בתחילת תקופת ניסן. קו אורך שמימי של  $0$  מעלות, (בתוספת של  $0.394^\circ$ )<sup>24</sup> היה גם קו האורך של השמש והירח הממוצעים במולד ניסן.

אולם, כפי שניתן להיווכח מהאתר של ואן גנט, הייתה השמש האמצעית כ־ $92\frac{2}{3}$  שעות לפני המולד באורך השמימי של  $354^\circ$  ר' בקירוב, כלומר קו האורך השמימי של השמש האמצעית עפ"י האלמגסט נמצא בשנת היצירה, שנת 3760 לפני הספירה, למעלה מ־5 מעלות לפני ערכו בלוח העברי!

הוא הדין ביחס למיקום השמש האמצעית במולד אדם: על פי האלמגסט השמש האמצעית הייתה במולד אדם בקו האורך של  $169^\circ$  ר' בקירוב ואילו על פי הלוח העברי היה קו האורך השמימי שלה  $175$  מעלות. הבדל זה אינו יכול להיות מבואר

23. לעיל הערה 8, עמ' 165.

24.  $(9h+642/1080)/24*360/365.24682 = 0.394$

על ידי ההבדל בין אורך השנה העברית לאורך שנת האלמגסט משום שאורך השנה העברית רחוק מהשנה של האלמגסט בכ-13.4 שניות בלבד ורק לאחר כ-6300 שנה יצטבר ההבדל למעלה אחת בין אורכי השמש הממוצעים באלמגסט לבין ערכיהם על פי שנת הלוח העברי. על כן הבדל של כ-4.5 מעלות ( $0.2^{\circ} \pm$ ) בין האלמגסט לבין מיקום השמש על פי הלוח העברי משקף גם את האלף הראשון לפני הספירה ואת האלף הראשון לאחר הספירה.

אורך השנה של האלמגסט (365.25 פחות 1/300 יממות) שונה מאורך השנה האסטרונומית בשיעור של כ-6.45 דקות בשנה ועל פי הידע העכשווי הוא גרם לסטייה של מעלה אחת מהערך האסטרונומי בכל 220 שנה בקירוב. אף על פי כן ניתן לחשב ולהיווכח כי התאמה טובה בין התצפית האסטרונומית לבין ערכי האלמגסט הייתה קיימת במאה הראשונה לפני הספירה, ולכן המצב האסטרונומי המתואר על ידי הרמב"ם שגוי בכ-4.5 מעלות ביחס למצב האסטרונומי במאה הראשונה לפני הספירה. מאחר שהשנה העברית ארוכה מהשנה האסטרונומית (שהיא האורך הנכון של השנה) ביממה כל 216 שנה הפער בין הלוח העברי לתצפית האסטרונומית לא יכול היה להיסגר אלא במאה התשיעית לספירה. דיון על כך ניתן למצוא במאמרנו על חישובי ראיית הירח של הרמב"ם<sup>25</sup>, ובאתר שלנו <http://shum.cc.huji.ac.il/~cariel/code/4938.html>, שבהם אנו מגיעים למסקנה כי פרק י של הרמב"ם לא יכול היה להילקח ממקור שחובר לפני המאה השמינית-תשיעית לספירה.

נעיר גם כי הערך של 175 מעלות עבור האורך השמימי של מולד אדם בלוח העברי מוזכר לראשונה במאמר של אל-חואריזמי מן המאה התשיעית לספירה כאשר הוא מציין שם כי המולד היה בתחילת המעלה ה-176<sup>26</sup> שהיא, כפי שמבואר שם, מבטאת את קו האורך 175.0.

מסקנת דיון זה היא כי כדי להיעזר בנתוני משוואת הזמן של האלמגסט לצורך חישוב הזמן של מולד אדם יש להשתמש בנתון של תלמי עבור המעלה 175 ולא עבור מעלה 169.8. רק אז מתקבל מולד אדם במועד וי"ד במדויק בעיר ירושלים. שימוש בלתי נכון בערך של משוואת הזמן במעלה 169.8 עשוי להוביל למסקנה כי הערך של וי"ד מתקבל במדויק רק עבור מקום חסר משמעות שהפרש הזמנים בינו לבין אלכסנדריה הוא 24 דקות.

25. א' כהן, "כיצד בחר הרמב"ם את נקודת "העיקר" – ביאורים לחישובים האסטרונומיים בהלכות קידוש החודש", בד"ד 26 (תשע"ב), עמ' 69-80.

26. וראו הספר: א' כהן, מסע אל ההיסטוריה של האסטרונומיה ופיענוח הצופן של שנת הבריאה בתנ"ך, ירושלים תשס"ח.

## 6. סיכום

מטרת חיבורנו זה היא להציע ביאור מדויק לבחירה של וי"ד כמועד המדויק של מולד אדם. אולם, נותרת השאלה האם תוצאת החישוב מובילה בהכרח למסקנה חד-משמעית שנקודת העיקר של הלוח העברי היא מולד אדם, או תחילת חודש תשרי אור ליום שישי של מולד אדם?

ככלל, יש להבדיל לטענתנו בין נקודת מוצא לחישובי הזמנים של המולדות לבין נקודת העיקר שבה זמן השעון הממוצע מתלכד עם זמן שעון השמש. בחירה של זמן עגול עבור נקודת מוצא של הלוח העברי מלמדת בראש ובראשונה על גישה אסטרונומית-מדעית עמוקה של חז"ל שלפיה אין לקבוע את המולד המרכזי לחישובי המולדות של הלוח העברי הקבוע באמצעות זמן הכולל שעה, דקות וחלקים משום שהדיוק של המדידות האסטרונומיות של המדענים הקדומים לא אפשר קביעה מדויקת שכזאת.

תלמי עצמו בחר את מיקומיהם של השמש האמצעית, הירח הממוצע וכל כוכבי הלכת בנקודת העיקר שלו באלמגסט, שהייתה בשנת 747 לפני הספירה, בדיוק שלא עלה על דקות מעלה!

ערכים אלה שהם, לדוגמה:

1.	השמש האמצעית ב	330 מעלות,	45 דקות מעלה ו	0 שניות מעלה
2.	הירח הממוצע	41	22	0
3.	האורך הממוצע של נקודת האפוגי של הירח	132	33	0
4.	האורך של חיתוך מסלול הירח עם מישור המילקה	317	7	0
5.	כוכב הלכת שבתאי	296	43	0
6.	כוכב הלכת צדק	184	41	0

ובדומה ערכים רבים נוספים הם הערכים שקבע תלמי בנקודת העיקר לחישוביו והם אינם יכולים להיות כולם תוצאה מדויקת של חישוב לאחור מתוך מדידות אסטרונומיות שהוא ביצע במאה השנייה לספירה הכוללות 0 שניות מעלה בדיוק של שניות מעלה. הערכים לעיל הם מעוגלים מתוך חישובים לאחור ותלמי ביטא בצורך בעיגולם את מגבלות מדע האסטרונומיה דאז.<sup>27</sup> מתוך הבנה בסיסית ויסודית זו בחרו חז"ל והגאונים

27. יש להדגיש כי כל ערכי המיקומים של השמש והירח ושל המולדות הממוצעים ב"טבלאות השימושיות" של תלמי ניתנים רק בדיוק של דקות מעלה ולא שניות מעלה. ההצדקה המקובלת הניתנת לכך היא כי תלמי התכוון לפשט את החישובים של האסטרונומים הזקוקים להערכה מהירה של תנועות כוכבי הלכת. אולם נראה כי תלמי הבין כי אין כל משמעות לערכים מדויקים

זמן מעוגל עבור מולד אדם שהוא המולד הראשון של חודש תשרי אחרי היצירה. לפיכך הוא מהווה בחירה מתחייבת כתחילת המולדות לטוענים כי בתשרי נברא העולם (מולד בהר"ד הוא לדעת הכול תוצאה של חישוב לאחור והוא אינו מבטא את דעת חז"ל כאילו העולם נברא בחודש תשרי של השנה 1 בלוח העברי). על כן זהו צירוף מקרים מיוחד במינו שבחירת סולם זמן שבו השמש האמיתית מתלכדת עם השמש האמצעית ביום מולד אדם מביאה לתוצאה המדויקת של שעה 14.

מהו, אם כן, סולם הזמן המשמש את הלוח העברי הקבוע? אם לשפוט לפי הרמב"ם, מתוך נתונים בפרקים ט' וי' בהלכות קידוש החודש, תחילת מזל טלה, שהיא תחילת תקופת ניסן ושהיא תחילת חודש ניסן בלוח העברי הקבוע, הייתה בשנת יצירה בשעה 6 בערב אור ליום רביעי בירושלים בעת שקיעת השמש (בהזנחת השבירה האטמוספירית), ומולד אדם וי"ד המשמש בלוח העברי אינו אלא ערך מעוגל בכ"5 דקות כמוסבר לעיל.

מאידך גיסא, אם לשפוט לפי המחלוקת בין בן מאיר ותומכיו בירושלים לבין סעדיה גאון ובית מדרשו בבבל, ההכרעה לבחור בראש חודש תשרי כנקודת העיקר עשויה לבטא את ניצחון הגאונים על חכמי ירושלים. זאת במיוחד לאור העובדה שכך מתקבל המועד של מולד אדם במדויק כוי"ד בתחום שגיאה של שניות בודדות. אך אין כל ודאות שאלה גם אלה הכירו בעובדה שיש בבחירה זו כדי להשפיע על המועד המדויק של תחילת תקופת ניסן ושההפרש בין שני הסולמות של השעונים המוצעים מגיע לכ"5 דקות ר-43 שניות.

יותר כאשר הערכים בנקודת העיקר אינם מדויקים אלא עד כדי דקות מעלה. על כן במקום לתקן את הטבלאות בספרו האלמגסט, הוא בחר להוציא ספר אחר שבו הערכים המחושבים לכל זמן שהוא כבר מתאימים בדיוקם למתחייב מדויק ערכיהם בנקודת העיקר.