**תקציר**

גרמי השמיים המקיפים אותנו, מתווים את הזמנים בעולם ההלכה. החל ממשה רבנו, דרך המשנה והגמרא, ועד לפסיקת ההלכה בשולחן ערוך ונושאי כליו האחרונים, נעזרים בתצפיות בגרמי השמים לצד חישובים, להגדרות הזמנים בהלכה. שימוש בתצפיות אלו, לאורך הדורות, נועדו לקביעת זמני היום - זריחה שקיעה וצאת הכוכבים - וכן לקביעת זמן מולד הלבנה. תצפיות אלו התבצעו ללא שימוש בכלי הבטה, ועל בסיס אותה הצפייה, נקבע הזמן ההלכתי.

מחקר זה, עוסק בבירור סוגיית זמן הראות צאת הכוכבים לעין הצופה. הוא מפתח נוסחה שבעזרתה ניתן יהיה לחזות, מתי יהיה אפשרי לראות כוכב מסוים כתלות בבהיקות הרקיע ובתנאי הראוּת של הצופה. המחקר משלב כלים מדעיים מתקדמים מחד (טלסקופ, מצלמה מקוררת, מערכת עקיבה ועיבוד ממוחשב של הנתונים), ומאידך משמר את התצפיות בעין בלתי מצוידת, לקביעת זמן צאת הכוכבים, הנראה לעין הצופה כפי שנדרש בהלכה.

מחקר זה, מומן על-ידי משרד המדע (מענק המחקר בשנים 2011-2010;מספר מענק: 3-6933#), בהנהלת פרופ' עלי מרצבך- מהמחלקה למתמטיקה וראש תוכנית 'מדע הלכה וחינוך' בבית הספר לחינוך בר אילן, הרב דר' דרור פיקסלר בית הספר להנדסה בר אילן, והרב דר' שי ולטר ראש מכון 'קידוש החודש' כרם ביבנה.

הפרק הראשון עוסק ברקע הלכתי-מדעי. פרק זה כולל סקירה הלכתית בסוגיית צאת הכוכבים, ובמקביל סקירה מדעית באסטרונומיה- המתמקדת בתצפיות אסטרונומיות.

החלק ההלכתי עוסק בהשלכות ההלכתיות של זמן צאת הכוכבים. בירור סוגיית תחילת הלילה ההלכתי בחז"ל: האחד ע"פ מצב הרקיע, השני מצב אסטרונומי-תצפיתי בכוכבים והשלישי כתיאור זמן מרגע השקיעה. בהמשך מוצגות דעות אחרוני זמננו לקביעת זמן צאת הכוכבים, תוך התייחסות לתצפיות שנעשו במהלך השנים ע"י גדולי ישראל לאורך הדורות. בסיום החלק ההלכתי של הפרק אנו דנים ביחס ההלכתי לשימוש בכלים מדעיים-בהלכה, תוך התמקדות במאמרו של הרב נחום אליעזר רבינוביץ, בנושא חישוב מדעי כבקרה לקביעה הלכתית, וכן מתי ההגדרה היא הלכתית ומתי יש לברר על פי המדע.

בפתחו של החלק השני של הרקע, הפן המדעי, מוצגת סקירה קצרה של כיפת הרקיע אותה אנו רואים. בהמשך מוצג המידע התצפיתי האופטי אודות כוכבים, המתקבל משלשה סוגים עיקריים של תצפיות אסטרונומיות. א. אסטרומטריה- קביעת מיקומיהם של כוכבים על פני כיפת השמים, ומדידת תנועותיהם. ב. פוטומטריה- מדידת כמות האור המתקבלת מהכוכבים. ג. ספקטרוסקופיה- צילום ספקטרום האור של הכוכבים. בסיום הרקע המדעי, אנו מציגים בקצרה את מבנה הטלסקופ ואת סוג הטלסקופ בו השתמשנו במחקר.

פרק המחקר, פותח במטרת המחקר שמגמתו לפתח ביטוי מתמטי המאפשר חיזוי זמן צאת הכוכבים הנראה לעין. הפרק מציג את מערכת התצפיות הכוללת טלסקופ מצלמה ותיאור מקום ביצוע המחקר וכן קבוצת הצופים המביטה אל פני הרקיע לזיהוי הכוכב. שלב זה של המחקר נמשך כשנה וחודשיים וכלל איסוף תצפיות של שמונה כוכבים שונים (אלטאיר, אנטארס, ארקטורוס, וגה, סיריוס, קפלה, ריג'ל ופרוקיון) המופיעים בזמן הדמדומים. אחרי איסוף הנתונים, סודרו התמונות על-פי לילות תצפית עבור כל כוכב. נכתבה על ידי תוכנה המעבדת את התמונות ומנתחת אותם, ובמקביל בודקת מהו הזמן בו נצפה הכוכב לעין הצופה. בגמר תהליך זה, התוכנה מציגה גרף עבור כל כוכב, המראה את רמת הבהירות בו נצפה הכוכב ואת ערכו- הממוצע לאורך כל לילות הצפית בו צולם. בשלב תוצאות המחקר מוצגים במרוכז כל שבעת הכוכבים שנצפו ונותחו (הכוכב סיריוס 'יצא' מהמחקר, כיוון שכבר נצפה בעין עוד לפני השקיעה). לכל כוכב נבנתה טבלת נתונים הכוללת: את שם הכוכב, קבוצת הכוכבים אליו הוא משתייך (תוך הצגת תמונת קבוצת הכוכבים), סיווג ספקטרלי, בהירות יחסית ובהירות מוחלטת, גודל, מרחק ומיקום בכיפת הרקיע. בסיום הצגת תוצאות המחקר, מובא הממצא המרכזי - ממוצע הכולל של כל הכוכבים, שמשמעותו הרגע בו יוכל הצופה לראות את הכוכב ברקיע על-פי רמת בהירות הכוכב. בחתימת פרק המחקר, הובאו המסקנות המרכזיות ממהלך המחקר, שממוצע רמת בהירות הכוכבים הנראית לעין הצופה היא 1.96. לסיכום על פי התזה שהצגנו, ניתן לחזות, מהי רמת הבהירות הדרושה אשר בה ייראו הכוכבים לעין הצופה ללא כל אמצעי.