



02 ספטמבר 2010

חוות-דעת בנושא תאורת LED

תאורה חיצונית בעלת תכנון לקוי היא אחת הדוגמאות הבולטות של בזבוז אנרגיה. הקריאה העולמית לשימור מקורות אנרגיה גרמה למדינות בעולם ולערים רבות בתוכן למהר ולחפש תחליפים למערכות התאורה הציבוריות המיושנות והבזבזניות ולהחליפן במערכות תאורה חדישות וחסכוניות. טכנולוגיות תאורה אשר פותחו במשך שנים, הבשילו כיום לכדי פתרונות בעלי פוטנציאל חסכון אנרגטי. מבין אלו, האור הלבן החזק של נורות LED (light emitting diodes, דיודה פולטת אור), מתגלה כאחת האופציות המוצלחות בתעשייה.

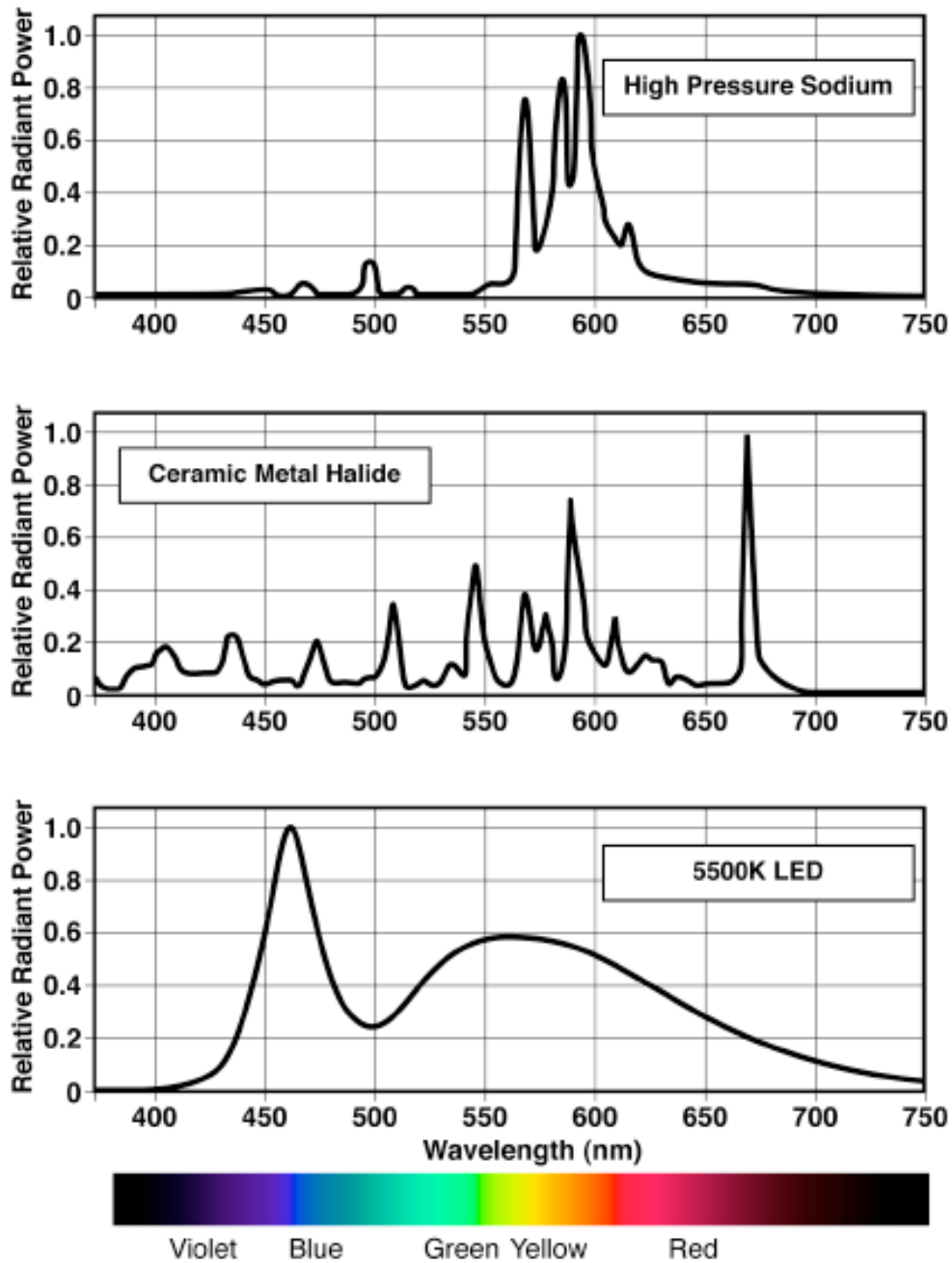
יחד עם זאת, חשוב לזכור כי מרבית מאופציות התאורה החדשניות טרם נוסו בהיקפים גדולים, ויתכן שהן עלולות לייצר השפעה סביבתית בלתי צפויה אם תשמשה בהיקפים גדולים להארה בחוץ.

חוות-דעת זו תעסוק בהשפעה של הפליטה הספקטראלית המוגברת בתחום הכחול המיוצרת ע"י מקורות אור לבנים, כמו נורות LED, ומשמעותה הסביבתית. כפי שיפורט בהמשך, לתחום ספקטראלי זה יש השפעה שלילית חזקה על היכולת לראות כוכבים בשמי הלילה ותרומה בולטת להגברת אפקט זהירות הרקיע (sky glow). יתר על-כן, מתברר שתחום ספקטראלי זה הוא בעל השפעת שלילית יתרה על התנהגות בעלי-חיים ועל מקצבים ביולוגיים (circadian rhythms) מאשר סוגי אורות אחרים.

אי לכך שימוש נרחב במקורות תאורה של אור לבן העשיר בפליטה ספקטראלית כחולה עלול להיות בעייתי מבחינת זיהום אור אסתטי (הסתרת מראה הכוכבים בשמיים) ובעיקר מבחינת זיהום אור אקולוגי והשפעתו השלילית על מערכות ביולוגיות.

חוות-דעת זו מתבססת על פרסום חדש (מאי 2010) של ארגון International Dark Skies Association, שמטרתו הגברת המודעות להשפעות השליליות הפוטנציאליות של אור לבן עשיר בכחול, להלן, BRWL (קיצור של Blue-rich White Light), וזאת על מנת לעזור לממשלות ותעשיית התאורה לשקול את המשמעויות ארוכות-הטווח של שימוש בטכנולוגיה זו למול התועלות האנרגטיות המוכחות.

האור הנראה לבני-אדם נע בתחום שבין 380 ל-760 ננומטר, כאשר אורכי הגל הארוכים יותר נראים כאדום ואורכי הגל הקצרים יותר ככחול וסגול. נורות שונות הן בעלות תכונות ספקטראליות שונות (איור 1). העוצמה הספקטראלית של נורה היא מדד כמותי לכמות האנרגיה הנפלטת באורכי גל שונים. מקורות אור לבן "חמים" הפולטים יותר באורכי גל בינוניים וארוכים (אדום), כמו נורות ליבון, בדרך-כלל מועדפות מבחינה אסתטית. מקורות אור לבן "קר", בעלות פיזור ספקטראלי בולט יותר באורכי-גל קצרים יוצרות הארה המתורגמת כ"קשה" ו"קרה" יותר בעיני רבים, וזאת למרות שהם מחקים בצורה טובה יותר את אור היום.



איור 1. ההרכב הספקטראלי של נורות שונות. מלמעלה למטה: נורת נתרן בלחץ גבוה (נל"ג) בעלת פיזור ספקטראלי קטן סביב 550-600 ננומטר (נורה זו נמצאת כיום בשימוש כמעט בלעדי בתאורת כבישים בישראל), נורת מטאל-הליד בעלת פיזור ספקטראלי רחב, נורות LED מטיפוס BRWL בעלת פיזור ספקטראלי גבוה באורכי גל קצרים (450 ננומטר).

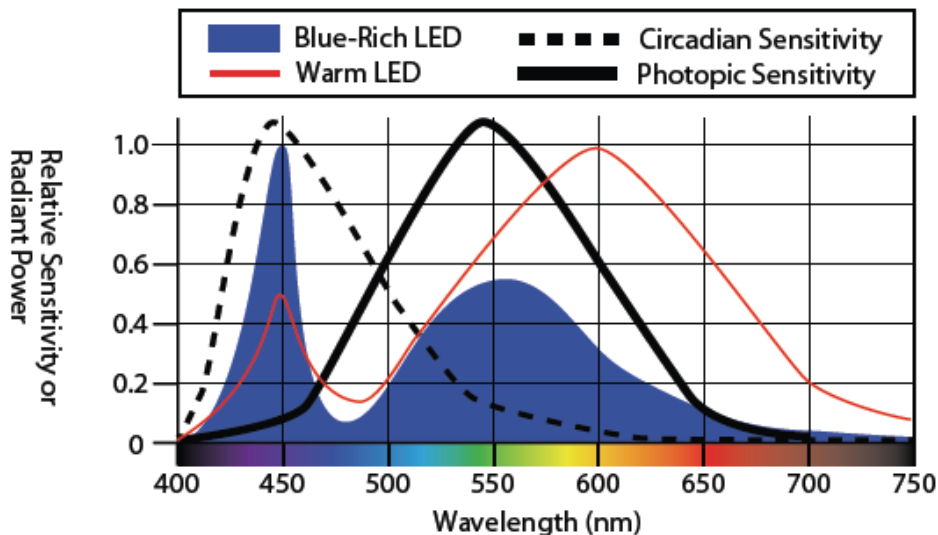
הפרסום החדש, שנכתב בידי 16 חוקרים המובילים בתחום בדק את ההשפעות האפשריות של תאורת BRWL מבחינה ויזואלית, סביבתית ובריאותית.

א. זיהום אור אסטרונומי ואסתטי: המחקר מגלה שפיזור יתר של אור מ-BRWL גורם ל-15 עד 20 אחוז יותר זהירות רקיע (sky glow) מאשר נורות נתון בלחץ גבוה (נל"ג) או נורות נתון בלחץ נמוך (נל"ן). יתרה מכך, עקב הרגישות המוגברת של העין האנושית לאור כחול בעוצמות נמוכות, הבהירות הנראית לעין מ-BRWL עלולה להיראות פי שלוש עד חמש פעמים בהירה יותר מזאת הנצפית מנורות נל"ג, ועד לפי 15 מהבהירות בהשוואה לנורות נל"ן. בנוסף, BRWL תורם לזהירות רקיע בתחום הספקטרום שבתאורה כיום מושפע מעט. במילים אחרות, BRWL מייצר סוג חדש של זיהום אור, בחלק של הספקטרום שהוא חשוך יחסית ופחות מופר. שימוש נרחב ב-BRWL צפוי לייצר השפעה שלילית משמעותית המגבירה את הידרדרות איכות השמיים מבחינה אסטרונומית ואסתטית.

ב. זיהום אור אקולוגי: העובדה שאור מלאכותי בסביבה טבעית גורם להשפעה שלילית כרונית על בתי-גידול טבעיים ידועה. בעוד שמידע רב נצבר על השפעת תאורה מלאכותית על ההתנהגות, תזונה, תנועה ורבייה בקרב בעלי-חיים שונים, הנושא של השפעת התחום הספקטראלי זכה עד לפרסום זה למעט התייחסות. יחד עם זאת, המחקר מצטט מספר מחקרים ובהם דוגמאות להשפעת תאורת BRWL. נמצא שתאורה מסוג זה משפיעה על תגובות התנהגותיות בקרב מיני בעלי-חיים שונים. כך לדוגמא, צבי-ים חומים (*Caretta caretta*) עשויים להימשך עד פי 10 יותר למקורות אור בתחום 450 ננומטר (התחום הכחול) לעומת מקורות אור בתחום ה-600 ננומטר (התחום הצהוב-כתום). תגובה דומה של משיכה לאור נמצאה גם עבור ארבע מיני צבי-ים נוספים החיים באוקיינוס האטלנטי. מקורות אור שלהם הרכב ספטרלי בולט בתחום הכחול והאולטרה-סגול נמצאו גם כמושכים במיוחד לחרקים (למרות שגם מקורות אור בעלי ספקטרום נרחב גם כן נמצאו כמושכים). שינויים בהתנהגות ופעילות מרחבית של חרקים עלולה להשפיע על מספר מינים רב הניזונים מחרקים כמו דוחיים ועטלפי חרקים. בנוסף, התגובה הצירקאדית (ראת למטה) של בעלי-חיים רבים דומה לזו של בני-אדם, כך שגם אם מין לא נמצא כמגיב התנהגותית לאור BRWL, אור כזה יתכן והוא עדיין משנה את דגמי הפעילות היומיים והליליים של בעלי-חיים. חשוב לציין, עם זאת, שמהידוע כיום, לא כל מיני בעלי-חיים מגלים שינויים התנהגותיים בעקבות חשיפה לאור באורכי-גל קצרים. כך לדוגמא, מיני עופות שונים נמצאו כמגיבים באופן חזק יותר לאור אדום, בעוד שאחרים נמנעים ממנו. דווקא בגלל הבדלים בין-מיניים אלו נדרשת זהירות ובחינה מדעית מדוקדקת כדי לבחון את כלל ההשפעות האפשריות לפני שטכנולוגית הארה זו מוצאת שימוש נרחב בסמיכות לסביבות חיים טבעיות.

ד"ר נעם לידר, מנהל אגף אקולוגיה

ג. הפרעות למקצבים ביולוגיים: בעלי-חיים רבים, החל מחסרי חוליות ועד לבני-אדם, מראים מקצבים יומיים בפעילות ובמדדים פיזיולוגיים. רוב התפקידים של כל מערכת חיה מתבצעים במקצב של כ-24 שעות. היות וקצבים אלו נמשכים בערך יום, הם קרויים מקצבים צירקאדיים (circadian rhythms). לדוגמא, בני אדם ורוב הפרימטים הם פעילי יום. אי לכך מדדים פיזיולוגיים רבים - רמת הורמונים, טמפרטורת גוף, רגישות לתרופות - משתנים במהלכו של היום, אך מראים התאמה לרמת הפעילות. לעומת זאת, בעלי-חיים הפעילים בלילה מגלים דגמים פיזיולוגיים הפוכים מבחינת הזמן לאלו של פעילי-יום. לאור (בעיקר אור השמש אך לא רק) קיימת השפעה חשובה על סנכרון מקצבים צירקאדיים אלו. האור גורם לעיכוב בהפרשת ההורמון מלטונין במוח, ועיי כך להסדרה של המקצב היומי הצירקאדי. למלטונין תפקיד חשוב גם בתפקוד המערכת החיסונית של בעל-החיים. אור כחול בתחום שבין 430 ל-510 ננומטר נמצא כבעל יכולת ההפרעה הגדולה ביותר למקצבים צירקאדיים והפרשת מלטונין, כאשר שיא הרגישות הוא סביב 460 ננומטר (איור 2). אי לכך ההפרעה הפוטנציאלית בדגמי הפעילות היומיים והליליים של בעלי-חיים, עלולה לגרום לטריפה מוגברת או ולפגיעה ביכולת התפקוד, הרבייה והשרידות. בנוסף, מספר הולך וגובר של המחקרים מוצא קשר ברור בין הפרשות נמוכות של מלטונין עם עלייה במחלת הסרטן בקרב בני-אדם, ובעיקר סרטן השד. כמו-כן יתכן שסף עוצמת ההארה הנדרש לשיבוש הפרשת מלטונין הוא יחסית נמוך (אם כי טרם התברר ערכו המדויק). למרות שיש מקום למחקרים מעמיקים יותר בתחום, ההשפעה של אור כחול על ייצור מלטונין, וההשפעה של מלטונין על היווצרות גידולים סרטניים בניסוי מעבדה כבר הוכחו מעבר לכל ספק. אי לכך ברור שהמרכיב הספקטראלי הכחול של אור מהווה גורם סיכון מוגבר.



איור 2. גרף המראה את רגישות העין לאור (photopic sensitivity) ואת הרגישות הצירקאדית למוח הפיזור הספקטראלי של תאורת LED עשירה בכחול (BRWL) ואור LED לבן "חם".



המלצות:

כגוף הממונה על שמירת ערכי טבע במדינת ישראל, לרשות הטבע והגנים תפקיד חשוב בשמירה על תקינותם של בתי-גידול בצורה שאינה מופרת ואשר מאפשרת למערכות אקולוגיות לתפקד בצורה טבעית. ההשפעה של תאורה מלאכותית והמלצות לצמצום זיהום אור אקולוגי הוצגו במסמך קודם (לידר, 2008).

לאור המידע החדש שהתפרסם על ההשפעה האקולוגית השלילית הפוטנציאלית של תאורת LED

מטיפוס BRWL כפי שמוצג בחוות-דעת זו, בשלב זה יש להימנע משימוש בנורות מסוג אלו בסמיכות לשטחים פתוחים, ובשטחים המנוהלים ע"י רשות הטבע והגנים (שמורות טבע וגנים לאומיים), וזאת למרות החיסכון האנרגטי הבולט לעומת סוגי תאורה אחרים.

יש להדגיש את הבעייתיות של סוג תאורה זה בפני מתכננים וגופים שמולם עובדת רט"ג, וזאת על-מנת לצמצם את השימוש בתאורה זו בשטחים הפתוחים. יש לקדם תהליך התייעצות מוקדמת ותיאום מפורט של כל תכנית תאורה מול רט"ג.

בכל שימוש בתאורת LED יש להעדיף שימוש בנורות LED לבן "חם", בטמפרטורת צבע של עד 2700K, כלומר כזה שהפיזור הספקטראלי שלו מתרכז באורכי-גל גבוהים יותר, ולכן פגיעתו האקולוגית נמוכה יותר. כמו-כן, יש לבחון באופן מקיף את ההיתכנות היישומית והכלכלית של שימוש בנורות LED בצבע Amber אשר מייצרות תאורה באורכי גל סביב 600 ננומטר בלבד, ויכולים להוות תחליף עתידי לנורות נתון בלחץ גבוה.

בכל שימוש בתאורת LED יש להדגיש את הצורך בתכנון תאורה מוקפד המגביל את פיזור האור למשטח ההארה בלבד ומונע זליגת אור לשמיים ולשטחים שכנים.

מקורות:

International Dark-Sky Association. 2010. Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting.

<http://docs.darksky.org/Reports/IDA Blue-Rich Light White Paper051710.pdf>

(ראה גם רשימת ספרות נרחבת בתוך המאמר)

לידר, נ. 2008. השפעות אקולוגיות של תאורת דרכים בישראל והמלצות לפתרון. פרסומי חטיבת

המדע. רשות הטבע והגנים. <http://parks.org.il/sigalit/road-Noam.pdf>



www.parks.org.il

רשות הטבע והגנים

חטיבת מדע

ד"ר נעם לידר, מנהל אגף אקולוגיה