

פרק 3 – היבטים נוספים הקשורים בתאורת LED

להלן סקירה קצרה שעניינה בהיבטים שאינם תוצאים בריאותיים ישירים של חשיפה לתאורת LED או היבטים הקשורים לשימושים נוספים של הארת LED.

1. ריצוד וסנוור



- **נורות LED מתאפיינות ברמות גבוהות של סנוור (dazzle) ובוהק (glare) בהשוואה לנורות מסוגים אחרים. עיניים בוגרות עלולות להיות רגישות יותר לסנוור מנורות סנוור מתרחש כאשר האור מתפזר בעין, ותופעה זו נפוצה יותר כאשר מקורות אור פולטים רמות גבוהות של אור כחול**
- **תופעה נוספת המיוחסת לתאורת LED היא שתאורה זו עלולה לגרום לאפקט סטרובוסקופי (ריצוד המתרחש עקב שינוי מהיר בעוצמת אור היוצר אפקט בו עצם נע נראה ניח או נע בכיוון הפוך), בהתאם לרמת המודולציה (אפנון, שינוי) של האור. אולם, קיימת מחלוקת ביחס להשפעה של תופעה זו בין מוסדות המחקר השונים**

נורות LED מתאפיינות ברמות גבוהות של סנוור (dazzle) ובוהק (glare) בהשוואה לנורות מסוגים אחרים ולפיכך, עלולות לגרום לרטינופתיה פוטוכימית (ללא קשר לקרינה הנפלטת ממקור התאורה)^{1,2}. קיימות תאורות רחוב החושפות את משתמשי הדרך לאור בהיר מאוד ומסנוור כך שמבטם מוסט מיד ממקור האור והם מתקשים לראות את האזור שבקרבת אותו מקור. תאורת רכבים, במיוחד פנסי רכב מ-LED ופנסים קדמיים יכולים להיות מקור לסנוור. כאשר יש תנאי ערפל תאורה זו מסנוורת עוד יותר. סנוור מתרחש כאשר האור מתפזר בעין, ותופעה זו נפוצה יותר כאשר מקורות אור פולטים רמות גבוהות של אור כחול¹.

עיניים בוגרות עלולות להיות רגישות יותר לסנוור מנורות LED (מכשירים דיגיטליים, תאורת חוץ ותאורת רכב) וקשישים עלולים לחוש אי-נוחות בחשיפה לאור העשיר באור כחול¹. רגישות זו נובעת מכך שעיניים בוגרות חשופות פחות לבליעה ולעבירות האור הכחול לרשתית והן יותר רגישות לפיזור האור כחול. אוכלוסייה רגישה נוספת הנה עובדים במקומות עם חשיפה מרובה לתאורת אור כחול העלולים להיות חשופה לסיכונים בטיחותיים בביצוע פעולות^{3,4}.

נורות LED בהירות מאוד, בדומה לנורות פלואורסצנט, מאופיינות בריצוד (flicker) בתדר נמוך שאינו נראה לעין. מאפיין זה עלול לגרום לאפקט סטרובוסקופי³ (ריצוד המתרחש עקב שינוי מהיר בעצמת אור היוצר אפקט בו עצם נע נראה ניח או נע בכיוון הפוך), בהתאם לרמת המודולציה (אפנון, שינוי) של האור. בסקירה של הוועדה המדעית של האיחוד האירופאי שעסקה בסיכונים בריאותיים של תאורת LED לא נמצאו מחקרים שבדקו אפקט זה. צוין, כי קיימות טענות של אנשים המעידים על רגישות למודולציה אור זמנית ברמות תדר נמוך של כ-100 הרץ (תנודות בשנייה). רגישות זו מאופיינת בתסמינים כגון כאבי ראש, התקפי אפילפסיה, אסטמה, מיגרנה וחולשה כללית¹. לאור האמור, ציינה הוועדה כי בסביבות ביתיות, ושיאין תעשייתיות, יש לתת את הדעת לכך בשימוש בתאורה מבוססת מודולצית LED. יש לציין כי מסמך (IEEE 1789-2015) שפרסמה אגודת מהנדסי חשמל ואלקטרוניקה (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) הציג סיכונים בריאותיים אפשריים הקשורים לאפנון בתדר נמוך של נורות לד ופרסם המלצות למניעת הסיכונים מריצוד⁴. לאור האמור, ניתן לראות כי קיימת מחלוקת ביחס להשפעה של תופעה זו בין מוסדות המחקר השונים.

2. השפעת חשיפה לתאורת LED על ביצועי נהיגה



- סקירת הספרות העלתה מחקרים בודדים העוסקים בהשפעת האור על ביצועי נהיגה
- נמצא כי חשיפה לאור מועשר בכחול מגבירה ערנות ומובילה לשיפור בביצוע של מספר מטלות קוגניטיביות. עם זאת, לפי חלק מהמחקרים, חשיפה לאור כחול עלולה להוביל לעלייה בשגיאות נהיגה
- ממצאים אלה מצביעים על כך שהעוררות הפיזיולוגית הנגרמת על ידי האור אינה מעידה בהכרח על שיפור קוגניטיבי במטלות מורכבות

נמצאו מחקרים בודדים העוסקים בהשפעת האור על ביצועי נהיגה. להלן שני מחקרים שבחנו את השפעת תאורת LED מועשרת בכחול.

ערנות בעת נהיגה פוחתת בדרך כלל עקב נהיגה ממושכת בשעות לא אופטימליות של היום. נמצא כי חשיפה לאור מועשר בכחול מגבירה ערנות ומובילה לשיפור בביצוען של מספר מטלות קוגניטיביות. מחקר עכשווי בחן את השפעת החשיפה לתאורת LED פוליכרומטית מועשרת באור כחול (אורך גל קצר, שיא ב- 440nm) וכתומה (אורך גל ארוך, שיא ב- 595nm) בהשוואה לתאורה עמומה על ביצועי נהיגה בשעת לילה מוקדמת באמצעות סימולטור⁵. נבדקו מדדי שינה ומצב רוח סובייקטיבי, מדד לעוררות פיזיולוגית (DPG), דיוק בנהיגה מדומה ומהירות תגובה במטלה שמיעה כמדד לערנות פסיכומטרית. תוצאות המחקר הראו כי אור מועשר בכחול שיפר את רמות העוררות, ושיפר את זמן התגובה ואת הביצועים בנהיגה. במקביל, אור כחול הוביל לעלייה בשגיאות נהיגה בהשוואה לחשיפה לאור כתום. ביצועי נהיגה בחשיפה לתאורה כתומה היו יציבים לכל אורך זמן המשימה. נתונים אלה מצביעים על כך שהעוררות הפיזיולוגית הנגרמת על ידי האור אינה מצביעה בהכרח על שיפור קוגניטיבי במטלות מורכבות.

ביצועים קוגניטיביים משתנים עם פעילות המקצב הצירקדי. בהתאם, ניתן להבחין בין שעות מיטביות ושעות פחות מיטביות ביום לביצוע מטלות הדורשות תשומת לב לאורך זמן. חוקרים בחנו את השפעת החשיפה לתאורת LED מועשר בכחול (שיא ב- 440nm ננומטר, 469 lux) בהשוואה לתאורה עמומה (עד 1 lux) על ביצועי נהיגה בסימולטור בקרב 17 טיפוסים ערב (chronotype)^a בשעת בוקר⁶. כלומר, החוקרים בדקו רמות ערנות בזמן ביצוע משימה בזמנים לא מיטביים של היום ביחס לנבדקים. נמצא כי חשיפה לאור, בעיקר לאור לבן מועשר בכחול, משפרת את רמות הערנות (במדד אובייקטיבי) אך לא נצפה שינוי במדד הסובייקטיבי לערנות של טיפוס ערב במועד לא מיטבי (בוקר). בנוסף, נצפתה ירידה בדיוק של ביצועי הנהיגה. בתנאי אור עמום נצפו ירידות הן בערנות והן במהירות התגובה למטלה ולאירועים בלתי צפויים ולירידה בדיוק הביצועים.

^a כרונטיפ (Chronotype) הוא ביטוי התנהגותי של מערכת השעון הצירקדי הפנימית של הפרט. ניתן לסווג אנשים לפי ביטוי התנהגותי זה, למשל, לטיפוס בוקר ולטיפוס ערב. טיפוס בוקר מתאפיין בשעת התעוררות מוקדמת, נטייה לפעילות פיסית וחשיבתית בשעות הבוקר וכן נטייה לשעת שינה מוקדמת, וההיפך עבור טיפוס ערב. עבור טיפוס ערב קיצוני, השלב הצירקדי של המקצבים הביולוגיים יכול לזוז ב 2-3 שעות לעומת זה של טיפוס בוקר קיצוני.



- **ממצאי מחקרים הדגימו כי שימוש במסכי LED במהלך הערב יכול להשפיע על המקצב הצירקדי ועל איכות השינה**
- **יתכנו מנגנונים נוספים אשר ישפיעו על איכות השינה, כגון: העתקת זמן השינה וקיצור משך זמן השינה, וכן עוררות פיזית נפשית או חברתית שיכולה להשפיע על איכות השינה הן מעצם השימוש והן כפונקציה של התכנים הנצפים**

מחקרים מצאו כי אור קצר-גל, ולמרכיב האור הכחול הנפלט ממסכי LED דיגיטליים, יש השפעה על הפרשת מלטונין, על חביון ההירדמות, כמו גם על מבנה השינה ועל איכותה^{7 8 9}.

מחקר מ-2011 בדק את ההשפעות של מסך LED של מחשב (6953k) ומסך מבוסס תאורת פלואורסצנט קתודית קרה (CCFL 4775k) על מדדי שינה ועל מדדים קוגניטיביים בקרב 13 גברים בגילים 19-35. הנבדקים ביצעו מבחנים קוגניטיביים שונים במחשב במשך כ-5 שעות בשעות הערב בתנאי מעבדה. במהלך זמן זה נלקחו מהנבדקים כמה דגימות רוק לבדיקת מלטונין. במדידות שבוצעו נמצא כי הקרינה בטווח התדרים 400-480nm (האור הכחול) היו גבוהות יותר במסכי LED. המחקר הראו כי חשיפה למסך LED בשעות הערב והלילה עיכבה את הופעת הפרשת המלטונין בשעות הערב והובילה לדיכוי רמות המלטונין במשך כשעתיים¹⁰.

מחקר שהתפרסם בשנת 2017 בחן את השפעות החשיפה הלילית לאור כחול ממסכי LED של טלפונים סולריים חכמים בקרב 22 גברים בני 20-40, שנחלקו לשתי קבוצות אקראיות. הנבדקים הגיעו פעמיים לקליניקה, כאשר כל ביקור ארך 3 ימים (שעות מלאה במרכז). ביום הראשון למחקר, המשתתפים שהו בתנאים סביבתיים זהים ושמרו על הרגלי השינה שלהם. ביום השני הנבדקים נחשפו למסך ה-LED בשעות הלילה (19:30-22:00). מדדים של רמות מלטונין וטמפרטורת הגוף נבדקו בכל אחד משלושת הימים (החל מ-19:00-07:00). מבחנים קוגניטיביים בוצעו ביום הראשון והשלישי. הקבוצה הראשונה נחשפה בביקור הראשון למסך LED ללא אור כחול, ולאחר שבוע נחשפה למסך LED עם אור כחול. הקבוצה השנייה נחשפה בפעם הראשונה למסך LED עם אור כחול, ולאחר שבוע נחשפה למסך LED ללא אור כחול. נמצא כי החשיפה לאור הכחול הנפלט ממסך הטלפון קשורה באופן מובהק עם ירידה בתחושת ישנוניות¹¹.

במחקר ישראלי שהתפרסם ב-2017 נבדקה השפעת אורך הגל ועוצמת האור הנפלטת ממסך מחשב LED על השינה ועל מדדים נוספים כמו ישנוניות ומצב רוח. המחקר כלל 19 נשים וגברים בני 20-29, שנחשפו במשך שעתיים בלילה (21:00-23:00), במשך 4 לילות לא עוקבים במכון לרפואת שינה לתנאי הארה משתנים (אורך גל: קצר/ארוך ועוצמת הארה: נמוכה/גבוהה). נמצא שלאורך הגל ולעוצמת ההארה קיימת השפעה על השינה, אך לאורך הגל השפעה רבה יותר על השינה מאשר עוצמת ההארה. נמצא שחשיפה לילית לאורך גל קצר הנפלט ממסך מחשב גורמת לירידה ברמות המלטונין ובטמפרטורת הגוף לאחר החשיפה, שהשפיעו בתורן על רציפות השינה ופגעו באיכותה. כמו כן, החשיפה הלילית למסך המחשב הובילה לעייפות בבוקר שלמחרת החשיפה¹².

במחקר המשך נבדקו ההשפעות של חשיפה לילית אקוטית למסך מחשב LED (חשיפה במשך לילה אחד) וכרונית (חשיפה במשך חמישה לילות רצופים) על מדדי שינה (רמת מלטונין, טמפרטורת גוף) ועל מדדים התנהגותיים (עייפות, מצב רוח, ריכוז). המחקר נערך בקרב 19 נשים וגברים בני 20-45 שהגיעו בכל לילה למעבדה ונחשפו במשך שעתיים למסך ה-LED (21:00-23:00). ממצאי החשיפה האקוטית והכרונית הצביעו על דיכוי רמות המלטונין וירידה בטמפרטורת הגוף, כשעתיים לאחר החשיפה, וכן על קיצור משך השינה. לא נמצאו הבדלים במדדים אלו בין שני תנאי החשיפה המתוארים; כלומר, המדדים הושפעו באותו אופן הן בחשיפה אקוטית והן בחשיפה כרונית¹³.

-
- ¹ SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs), 6 June 2018.
- ² Kim J, Hwang Y, Kang S et al. Association between Exposure to Smartphones and Ocular Health in Adolescents. *Ophthalmic epidemiology* 2016; 23(4):269-76.
- ³ ד"א אינה ניסבאום. במקומות העבודה - היבטי בטיחות וגיהות המוסד לבטיחות ולגיהות. 2006.
https://www.osh.org.il/uploadfiles/b109_teura_1.pdf;
https://www.osh.org.il/uploadfiles/d_300283_teura.pdf
- ⁴ Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers. http://www.seeei.org.il/prdFiles/3724_desc3.pdf. Website approached March 2019.
- ⁵ Rodríguez-Morilla B, Madrid JA, Molina E, Correa A. Blue-Enriched White Light Enhances Physiological Arousal But Not Behavioral Performance during Simulated Driving at Early Night. *Front Psychology* 2017;8:997. doi:10.3389/fpsyg.2017.00997
- ⁶ Rodríguez-Morilla B, Madrid JA, Molina E et al. Blue-Enriched Light Enhances Alertness but Impairs Accurate Performance in Evening Chronotypes Driving in the Morning. *Front Psychology* 2018; 9: 688. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00688.
- ⁷ Higuchi S, Motohashi Y, Liu Y and Maeda A. Effects of playing a computer game using a bright display on presleep physiological variables, sleep latency, slow wave sleep and REM sleep. *J. Sleep Res* 2005; 14:267–273.
- ⁸ Czeisler C. Casting light on sleep deficiency: The use of electric lights at night is disrupting the sleep of more and more people. 2013; *Nature*: S13.
- ⁹ Cain N, Gradisar M. Electronic media use and sleep in school-aged children and adolescents: A review. *Sleep Medicine* 2010;11:735–742.
- ¹⁰ Cajochen C, Frey S, Anders D et al. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology* 2011; 110(5): 1432-14388.
- ¹¹ Heo JY, Kim K, Fava M et al. Effects of smartphone use with and without blue light at night in healthy adults: A randomized, double-blind, cross-over, placebo-controlled comparison. *Journal of Psychiatric Research* 2017; 87: 61-70.
- ¹² Green A, Cohen-Zion M, Haim A et al. Evening light exposure to computer screens disrupts human sleep, biological rhythms, and attention abilities. *Chronobiology International* 2017; 34(7): 855-865.
- ¹³ Green A, Cohen-Zion M, Haim A et al. Comparing the response to acute and chronic exposure to short wavelength lighting emitted from computer screens. *Chronobiology International* 2018; 35(1): 90-100.