

בטיחות פוטוביולוגית של מקורות אור ומערכות תאורה

תקינה רלבנטית

קיימים שני תקנים ישראלים עיקריים הנוגעים לבטיחות פוטוביולוגית של תאורה. תקנים אלו הם למעשה אימוץ של תקני הנציבות הבינלאומית לאלקטרוטכניקה - IEC.

התקן הישראלי ת"י 62471 "בטיחות פוטוביולוגית של נורות ושל מערכות תאורה" כולל הנחיות לגבי הערכת הבטיחות הפוטוביולוגית של מקורות אור ומערכות תאורה, לרבות זו של דיודה פולטת אור (LED), ולמעט לייזרים. התקן מפרט מה הם גורמי הסיכון של מקורות האור, גבולות החשיפה, ודרגות המיון של



בשנים האחרונות חלה התקדמות ניכרת בענף התאורה, החל בהתפתחותם של מקורות האור הקונבנציונליים בהיבט של משך החיים, היעילות האורית, צבעי האור וכדומה, וכלה בהתפתחות המוצצת ופריצת הדרך בתחום תאורת המוליכים-למחצה - כלומר תאורת LED - אשר נעשית פופולרית במיגון יישומי תאורה. יחד עם זאת, ודווקא נוכח השילוב המואץ של מקורות האור החדשניים, גוברת הדאגה נוכח ההשפעות הפוטוביולוגיות של מקורות האור השונים על האדם. מאמר זה מציג בקצרה את גורמי

הסיכון של מקורות האור, את גבולות החשיפה, ואת דרגות המיון של מקורות האור על-פי קבוצות הסיכון, כפי שהם מוגדרים בתקינה הרלבנטית.

אור הוא למעשה אנרגיית קרינה, המתפשטת בצורה של גלים אלקטרומגנטיים. הקרינות בטבע מוגדרות כקרינות אלקטרומגנטיות. מגדירים ומסווגים אותן לפי אורך הגל, כמתואר באיור 1.

קרינה אופטית היא קרינה הכוללת 3 תחומים - התחום האולטרה סגול (או על-סגול), התחום הנראה, והתחום האינפרא אדום (או התת-אדום). התחום הנראה מצוי בין אורכי הגל 400 ננו-מטר ו-700 ננו-מטר. קרינה על-סגולה (UV) היא קרינה של אורכי גל קצרים, בתחום 100-400 ננו-מטר, ואילו קרינה תת-אדומה היא קרינה של אורכי גל ארוכים, בתחום 400-1,000,000 ננו-מטר. שאר הספקטרום האלקטרומגנטי כולל קרני X, קרני גמא, גלי מיקרו, וגלי רדיו.

מקורות האור על-פי קבוצות הסיכון.

התקן השני הוא למעשה חלק 2 של התקן ת"י 62471 "בטיחות פוטוביולוגית של נורות ומערכות תאורה" - הנחיות לדרישות ייצור הנוגעות לבטיחות: קרינה אופטית שאינה קרינת לייזר". תקן זה למעשה משמש כמדריך טכני עבור יצרנים של מערכות תאורה בנושאי דרישות בטיחות קרינה אופטית, דרישות סימון בתווית של מוצרים, הקצאת אמצעי בטיחות ועוד.

יש להדגיש, שתקנים אלו אינם עוסקים בדרישות הבטיחות הפוטוביולוגית נוכח חשיפה לקרינה אופטית של ציוד שיוף, מכשירים לטיפול בעיניים, התקנים רפואיים/קוסמטיים וכדומה.

עוד חשוב לציין, כי תקנים אלו אינם רשמיים, ולכן למעשה הם אינם מחייבים.

גורמי סיכון פוטוביולוגיים

רוב ההשפעות הפוטוביולוגיות הן על העור ועל העיניים של בני האדם, והן נפרסות על פני מיגון תחומים של אורכי גל.

גבולות החשיפה שנקבעו בתקן מציגות את עוצמת הקרינה תוך קשר ישיר לזמן החשיפה. ערכים אלו, שנקבעו על בסיס מחקרים, מתאימים למרבית האוכלוסייה, כך שחשיפה לערכים הללו באופן חוזר ונשנה לא תגרור השפעות על בריאותם של בני אדם. אולם, ערכים אלו אינם מתאימים לקבוצות אוכלוסייה חריגות, שלהן רגישות מיוחדת לאור (למשל, חולי זאבת - לופוס).

גבולות החשיפה מתייחסים למקורות בעל אור רציף, ולזמן חשיפה שלא יפחת מ-0.01 שנייה ולא יעלה על 8 שעות (שהן כ-30,000 שניות). נציין, כי התקן מדגיש שאין להתייחס לערכים הנקובים בו כאל קו גבול מדויק ביותר בין התחום הבטיחותי לתחום שאינו בטיחותי, ותיתכנה סטיות לכאן או לכאן.

מבחינים בין עוצמת הקרינה בכיוון נתון ובזווית מסוימת, אשר

איור 1: הספקטרום האלקטרומגנטי



מקור: [Source]

לאור השפעות רבות על גוף האדם. מלבד הראייה, הוא מניע את השעון הביולוגי של הגוף, ומשפיע על תהליכים נוספים בגוף האדם, כגון מחזורי שינה, תיאבון, חום הגוף ועוד. אולם, אנרגיית קרינה גבוהה מדי עלולה לגרום נזקים. למשל, גלים קצרים (UV) יכולים לגרום כוויות בעור או אף להשפיע על התאים ועל ה-DNA של האדם. גלים ארוכים (IR) מתבטאים כחום, ולכן עוצמה גבוהה שלהם עלולה לגרום אי-נוחות ואף לפגיעה.

טבלה 2: קבוצות סיכון פוטוביולוגי

קבוצת סיכון	מהות הסיכון
ללא סיכון	אין סיכון פוטוביולוגי
קבוצת סיכון 1 (סיכון נמוך)	אין סיכון פוטוביולוגי במגבלות התנהגות נורמליות
קבוצת סיכון 2 (סיכון בינוני)	לא נחשב סיכון בעת תגובה שלילית לאור קורן או בעת אי-נוחות תרמית
קבוצת סיכון 3 (סיכון גבוה)	סיכון פוטוביולוגי אפילו עקב חשיפה רגעית

בטבלה 3 מוצגים גבולות ערכי עוצמת הקרינה (E) וזמני החשיפה המרביים עבור חשיפה לגורמי הסיכון השונים, תוך הבחנה בין קבוצות הסיכון.

נוסף על האמור בתקן IEC שאומץ על-ידי מכון התקנים כפי שתואר לעיל, נוספה בתקן הישראלי המלצה של משרד הבריאות בדבר נקיטת צעדי זהירות מונעת נוספים, כדלקמן: "נורה פלואורנית קומפקטית (CFL) מטיפוס פתוח: מומלץ להרחיק מרחק של 30 ס"מ לפחות מן הנחשפים לה, כאשר משך החשיפה לנורה צפוי להיות גדול משעה אחת ביממה".

"לאנשים בעלי רגישות יתר לקרני השמש (כגון החולים בזאבת - לופוס): מומלץ להימנע מחשיפה לתאורה של נורות פלואורניות קומפקטיות".

סימון של הנורה או מערכת התאורה בתווית נתונים

על-פי הקבוע בחלק 2 של התקן ת"י 62471, נדרש לסמן בתווית על גבי הנורה או על גבי מערכת התאורה, ולציין את קבוצת הסיכון, כמתואר לדוגמה בטבלה 4.

קרויה (L) Radiance (נמדדת ביחידות $W/m^2 \cdot sr$), לבין עוצמת הקרינה הכוללת של מקור אור המגיעה ליחידת שטח, אשר קרויה Irradiance (E) ונמדדת ביחידות W/m^2 .

בטבלה 1 מוצגים גבולות החשיפה לגורמי הסיכון הפוטוביולוגיים שנקבעו בתקן, וכן ההשפעות של חשיפה החורגת מגבולות אלו על העיניים והעור, עבור עוצמת הקרינה הכוללת (E) של מקור אור. בתקן ניתן למצוא גם ערכים עבור עוצמות קרינה בכיוון ובזווית נתונים (L).

(המונחים של גורמי הסיכון הפוטוביולוגיים המוצגים בטבלה הם המונחים הלוועזיים המקובלים).

מיון של מקורות האור לפי קבוצת סיכון

מאחר שמקורות האור יכולים להכיל כמה סכנות פוטוביולוגיות, וכן על מנת להקל על המשתמש הסופי, הכרחי לשייכם לקבוצות

טבלה 1: גבולות החשיפה לגורמי סיכון פוטוביולוגיים של קרינה כוללת של מקור אור (E)

גורם סיכון	תחום אורכי גל משפיעים (ננו-מטר)	זמן חשיפה (שניות)	E-עוצמת הקרינה הכוללת (W/m^2)	האיבר המושפע	הסימפטום
Actinic UV skin and eye גורם סיכון של קרינה על-סגולה	200-400	$t < 30,000$	30/t	עין, עור	פגיעה בקרנית, נפיחות, דמע רב, קטרקט, אדמומיות של העור, התנוונות של העור
UV-A eye	315-400	$t \leq 1,000$ $t > 1,000$	10,000/t 10	עין	קטרקט
Retinal Blue-Light small source גורם סיכון של אור כחול	300-700	$t \leq 100$ $t > 100$	100/t 1	עין	נזק לרשתית
Infrared radiation eye גורם סיכון של קרינה תת-אדומה	780-3,000	$t \leq 1,000$ $t > 1,000$	18,000/t ^{0.75} 100	עין	פגיעה בקרנית, קטרקט
Thermal skin	380-3,000	$t < 10$	20,000/t ^{0.75}	עור	כוויות עור

טבלה 3: גבולות עוצמת הקרינה וזמני החשיפה תוך הבחנה בין קבוצות הסיכון

גורם סיכון	E - עוצמת הקרינה הכוללת (W/m^2)			זמן החשיפה המרבי (שניות)		
	ללא סיכון	סיכון בינוני	סיכון נמוך	ללא סיכון	סיכון נמוך	סיכון בינוני
Actinic UV	0.001	0.003	0.03	30,000	10,000	1,000
UV-A eye	10	33	100	1,000	300	100
Blue-Light small source	1	1	400	10,000	100	0.25
Infrared radiation eye	100	570	3200	1,000	100	10

נוסף על כך, נדרש לספק מידע מפורט יותר על גבי מדריך למשתמש ביחס לאמצעי הזהירות הבסיסיים שיש לנקוט בעת שימוש במערכת התאורה, בהתאמה לקבוצת הסיכון, כמתואר לדוגמה בטבלה 5.

סיכון. התקן מתייחס לשני סוגי מקורות אור. האחד הוא מקורות אור לצרכים רגילים, כלומר מקומות שבהם נמצאים לרוב בני אדם, כגון בתי ספר, משרדים, דירות מגורים, חנויות וכדומה. הסוג השני הוא מקורות אור לצרכים מיוחדים, כגון תהליכים תעשייתיים, הפקת סרטים וכדומה, וכן מקורות אור לא-רציפים המתאפיינים באור פולסים לטווחי זמן של עד 0.25 שנייה (מכונות צילום, הבזקים למיניהם ועוד). במאמר זה נתייחס רק למקורות האור לשימושים רגילים, ולא נציג את התייחסות התקן למקורות האור אשר מיועדים לצרכים ייחודיים.

הערכים שנקבעו בתקן עבור מקורות האור לשימושים רגילים מתייחסים לעוצמות הארה של 500 לוקס ובמרחק של מקור האור שלא יפחת מ-200 מ"מ.

קבוצות הסיכון מעידות על פוטנציאל הסיכון בלבד. פוטנציאל זה עלול להפוך לממשי בהתאם לערכי זמן החשיפה ועוצמת הקרינה. בהתאם לכך נקבעו 4 קבוצות סיכון, כמתואר בטבלה 2.

בהתאם לגורמי הסיכון ולגבולות של עוצמות זמני החשיפה להם, משויכות מערכות התאורה על-פי מיון ל-4 קבוצות סיכון - "ללא סיכון", "סיכון נמוך", "סיכון בינוני", "סיכון גבוה"

טבלה 4: דוגמה לסימון של מערכות תאורה בתונית, לפי קבוצת הסיכון בהתאם לגורם הסיכון

גורם הסיכון	קבוצת סיכון פטורה מסיכון	קבוצת סיכון 1	קבוצת סיכון 2	קבוצת סיכון 3
גורם סיכון של קרינה על-סגולה, 200 ננו-מטר עד 400 ננו-מטר	פטור	הודעה מוצר זה פולט קרינה על-סגולה	זהירות מוצר זה פולט קרינה על-סגולה	אזהרה מוצר זה פולט קרינה על-סגולה
גורם סיכון של אור כחול לרשתית, או גורם סיכון תרמי, 400 ננו-מטר עד 780 ננו-מטר	פטור	פטור	זהירות מוצר זה פולט קרינה אופטית העלולה להיות מסוכנת	אזהרה מוצר זה פולט קרינה אופטית העלולה להיות מסוכנת
גורם סיכון של אור כחול לרשתית או גורם סיכון תרמי, 400 ננו-מטר עד 780 ננו-מטר	פטור	פטור	זהירות מוצר זה פולט קרינה אופטית העלולה להיות מסוכנת	אזהרה מוצר זה פולט קרינה אופטית העלולה להיות מסוכנת
גורם סיכון של קרינה תת-אדומה לקרנית/לעדשה, 780 ננו-מטר עד 3,000 ננו-מטר	פטור	הודעה מוצר זה פולט קרינה תת-אדומה	זהירות מוצר זה פולט קרינה תת-אדומה	אזהרה מוצר זה פולט קרינה תת-אדומה
גורם סיכון תרמי לרשתית, גירוי חזותי חלש, 780 ננו-מטר עד 1,400 ננו-מטר	פטור	אזהרה: מוצר זה פולט קרינה תת-אדומה	אזהרה מוצר זה פולט קרינה תת-אדומה	אזהרה מוצר זה פולט קרינה תת-אדומה

מקור: תקן ישראלי ת"י 2-62471

טבלה 5: דוגמה להסבר על המידע שיש להציג בתונית ובהנחיות לגבי אמצעי זהירות

גורם הסיכון	קבוצת סיכון פטורה מסיכון	קבוצת סיכון 1	קבוצת סיכון 2	קבוצת סיכון 3
גורם סיכון של קרינה על-סגולה, 200 ננו-מטר עד 400 ננו-מטר	פטור	מזער חשיפה של העיניים או העור. השתמש במיגון מתאים נגד קרינה	החשיפה עלולה לגרום לגירוי של העיניים או העור.	הימנע מחשיפה של העיניים או העור למוצר שאינו מוגן מפני קרינה
גורם סיכון של אור כחול לרשתית, או גורם סיכון תרמי, 400 ננו-מטר עד 780 ננו-מטר	פטור	פטור	אין להתבונן ישירות אל הנורה הדולקת. הדבר עלול להזיק לעיניים	אין להסתכל על הנורה הדולקת. הדבר עלול לפגוע בעיניים
גורם סיכון של אור כחול לרשתית או גורם סיכון תרמי, 400 ננו-מטר עד 780 ננו-מטר	פטור	פטור	אין להתבונן ישירות אל הנורה הדולקת. הדבר עלול להזיק לעיניים	אין להסתכל על הנורה הדולקת. הדבר עלול לפגוע בעיניים
גורם סיכון של קרינה תת-אדומה לקרנית/לעדשה, 780 ננו-מטר עד 3000 ננו-מטר	פטור	השתמש במיגון מתאים נגד קרינה או הגן על העיניים	הימנע מחשיפת העיניים. השתמש במיגון מתאים נגד קרינה או הגן על העיניים	הימנע מחשיפת העיניים. השתמש במיגון מתאים נגד קרינה או הגן על העיניים
גורם סיכון תרמי לרשתית, גירוי חזותי חלש, 780 ננו-מטר עד 1400 ננו-מטר	פטור	אין להתבונן ישירות אל הנורה הדולקת	אין להתבונן ישירות אל הנורה הדולקת	אין להסתכל על הנורה הדולקת

מקור: תקן ישראלי ת"י 2-62471

סיכום

האור הוא גורם חיוני לאדם, הן לראייה והן להנעת תהליכים בגוף האדם, אך בו בזמן הוא גם טומן בחובו גורמי סיכון העלולים להשפיע לרעה על בריאות האדם. דווקא משום כך, ונוכח השילוב המואץ של מקורות האור החדשניים, חשוב להכיר את ההשפעות

הפוטוביולוגית של מקורות האור השונים על האדם, ולהתייחס בכובד ראש לנושא זה בעת רכישת מערכות תאורה חדשות, על בסיס התקנים שהוצגו במאמר.

נורה פלואורנית קומפקטית (CFL) מטיפוס פתוח מומלץ להרחיק 30 ס"מ לפחות מן הנחשפים לה, כאשר משך החשיפה לנורה צפוי להיות גדול משעה אחת ביממה