Iran Occupational Health

Original Article

Iran Occupational Health. 2020 (28 Nov);17:40.

http://ioh.iums.ac.ir

Non-visual effects of the light source "correlated color temperature" on electroencephalographic spectral power, sleepiness and neurobehavioral performance

Taleb Askaripoor, Assistant Professor, Dep. of Occupational Health and Safety Engineering, Faculty of Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran.

Majid Motamedzade, (*Corresponding author), Professor, Department of Ergonomics, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. motamedzade@yahoo.com

Rostam Golmohammadi, Professor, Center of Excellence for Occupational Health, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran.

Mohammad Babamiri, Assistant Professor, Department of Ergonomics, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Maryam Farhadian, Assistant Professor, Department of Biostatistics, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Mohammad Ebrahim Ghaffari, Assistant Professor, Dental Sciences Research Center, Faculty of Dentistry, Guilan University of Medical Sciences, Rasht, Iran.

Mehdi Samavati, Ph.D. in Biomedical Engineering, Department of Medical Physics & Biomedical Engineering & Research Center for Biomedical Technologies and Robotics (RCBTR), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Elahe Kazemi, MSc in occupational health and safety engineering, Dep. of Occupational Health and Safety Engineering, Faculty of Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran.

Hamed Aghaei, Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran.

Abstract

Background and aims: Fatigue and sleepiness (decreased alertness), in addition to a negative impact on performance and quality of work, are considered as one of the leading causes of human error and accidents in work environments. There is much evidence indicating that physical factors in the workplace could affect fatigue, vitality, motivation, and productivity of individuals. A physical environment suitable for activity is formed by various factors, among which light is known as an essential element. Recent photobiological advances and recognition of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs) have shown that in addition to improving eyesight, light can affect the circadian and homeostatic regulations and melatonin suppression in human. Furthermore, light can have acute effects on the physiological, psychological, neurobehavioral, and neuroendocrine responses, such as improvement in the alertness and neurobehavioral performance, which are known as the non-visual or non-imaging forming effects (NIF) of light. However, the possible roles of these potential effects in the improvement of human safety and efficiency have not been thoroughly investigated.

Some studies have shown that monochromatic blue light or blue-enriched white light (high correlated color temperature white light or high CCT) can enhance levels of alertness, and improve mood and cognitive function. Although recent evidence has indicated that monochromatic red light or red saturated white light (low correlated color temperature white light or low CCT) has also been able to induce such positive effects. There is still an open question left unanswered: "which of these lighting conditions (high CCT vs. low CCT) has a stronger effect on the alertness level and neurobehavioral function?" Therefore, the present study tested this hypothesis in a simulated office workplace environment with the recommended illumination level of 500 lx on the desk for daytime office work environments during the morning hours

Keywords

Correlated color temperature

Electroencephalogram

Light

Alertness

Performanc

Received: 2019/02/18

Accepted: 2019/11/13

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

Methods: In this study, 20 healthy paid volunteers (male; mean ± SD age, 27.6 ± 3.6 years) were selected and followed the experimental protocol. All participants were interviewed about the quality of sleep, lifestyle habits, and general health. The inclusion criteria were: not having any mental or physical health problem, having a good sleep quality according to the Persian version of Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI score<5), being neither extreme early nor extreme chronotype, having a regular sleep-wake state (bedtimes 22:00 to 24:00 p.m. and wake up between 07:00 and 08:00 a.m.), not smoking, not traveling to a different time zone or experiencing shift-work during three months prior the experiment, no history of eye diseases, and having a normal color blindness as evaluated by the Ishihara test. To control the effect of potential differences in the levels of alertness due to circadian variations and sleep pressure between the light conditions, the participants completed a sleep/wake log, starting one week prior to the beginning of the study. In addition, they were asked to keep a regular sleep/wake state during the study. The participants were also asked not to drink caffeine and/or alcohol about 12 h before the experiment. The aim of the study was described for all participants and they signed an informed consent before the commencement of the study. In addition, the protocol of the study was confirmed by the university ethics committee.

The present study had a repeated-measures design, and the participants were exposed to four light conditions for 140 minutes in a counterbalanced order with a one-week interval. The light conditions were dim light (DL, <5 lx, control), and a 500 lx light intensity on the desk level for high CCT white light (HWL, nominal CCT= 12000 K), low CCT white light (LWL, nominal CCT= 2700 K), and standard white light (SWL, nominal CCT= 4000 K).The study was performed in an air-conditioned room with an area of 19 m2. The room's windows were closed with light-blocking curtains to restrict the penetration of daylight into the experimental setting. Electroencephalogram (EEG) activity (5–7 Hz: theta, 5-9: alpha-theta, 8–12 Hz: alpha, and 13–30 Hz: beta), subjective sleepiness (Karolinska Sleepiness Scale, KSS), subjective mood (Visual Analogue Mood Scale, VAMS), cognitive performance tests (sustained attention, working memory, selective attention task, and inhibitory capacity) and subjective evaluation and beliefs of the participants about the light conditions were measured. The data were analyzed using the MATLAB software package (ver. R2012a, Math-Works, USA) and version 20.0 of the SPSS software (IBM, Armonk, NY, USA). Repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was conducted, and where necessary, the Greenhouse–Geisser correction was applied. A 4 (light conditions) × 6 time intervals ANOVA was performed for the EEG activity measures (alpha, theta, beta, and alpha-theta) and CPT data. For the subjective sleepiness and mood, a 4 (light conditions) × 3 time intervals ANOVA was performed. Also, a 4 (light conditions) ANOVA was performed using each cognitive performance (GO/NO-GO, 2-Back, and divided attention) outcome measures. A 3 (light conditions) ANOVA was performed using each subjective evaluation and belief measures about the light conditions. The Bonferroni-adjusted post-hoc tests were applied to multiple comparisons (P<0.05).

Results: The means±standard error (SE) of the normalized alpha power was 1.083±0.018 for HWL, 1.147±0.021 for SWL, 1.069±0.021 for LWL, and 1.225±0.027 for DL condition. The Bonferroni-adjusted post-hoc tests indicated a significantly lower power under HWL (P=0.012) and LWL (P=0.006) compared to DL condition. The other comparisons revealed no significant differences. The means±SE of the normalized alpha-theta power was 1.009±0.012 for LWL, 1.053±0.014 for SWL, 1.024±0.016 for HWL, and 1.106±0.017 for DL condition. Post-hoc tests showed a significantly lower alpha-theta power under LWL (P<0.001) and HWL (P=0.033) compared to DL condition. The other comparisons indicated no significant differences. No significant main effect of the light conditions and interaction between them and the time intervals in the normalized beta and theta powers were observed.

The means±SE of the normalized subjective sleepiness were 1.129± 0.045 for LWL, 1.25±0.057 for SWL, 1.127±0.052 for HWL, and 1.499±0.074 for DL condition. Post-hoc tests showed that HWL (P=0.002) and LWL (P=0.001) conditions significantly decreased the sleepiness compared to the DL condition. The other comparisons revealed no significant differences. Furthermore, the present study results indicated that the means±SE of the normalized mood scores were 1.048±0.013 for SWL, 1.066±0.011 for HWL, 0.942±0.014 for DL, and 1.158±0.02 for LWL condition.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

Post-hoc tests indicated that the participants had significantly better mood under the LWL (P<0.001), SWL (P=0.001), and HWL (P<0.001) conditions compared to the DL condition. Furthermore, the LWL enhanced the participants' mood state as compared to the SWL (P<0.001) and HWL (P=0.009) conditions.

The means±SE of the normalized mean reaction time for continuous performance test (CPT) were 0.998±0.011 for SWL, 0.977±0.011 for HWL, 1.066±0.017 for DL, and 0.985±0.011 for LWL condition. The post-hoc with Bonferroni-adjusted pairwise comparison revealed a significantly lower mean reaction time under HWL (P<0.001), LWL (P=0.009), and SWL (P=0.026) conditions compared to the DL condition. Furthermore, the means±SE of the normalized mean reaction time for GO/NO-GO task were 305.13±13.959 ms for HWL, 308.91±13.78 ms for SWL, 304.64±14.11 ms for LWL, and 327.49±17.7 ms for DL condition. Post-hoc tests indicated a significantly lower mean reaction time under LWL (P=0.033) and HWL (P=0.034) conditions compared to DL condition. The means±SE of the normalized mean reaction time for 2–Back task were 394.24±32.22 ms for SWL, 387.92±31.64 ms for HWL, 398.62±31.81 ms for DL, and 384.16±30.66 ms for LWL condition. Post-hoc tests revealed a significantly lower reaction time under LWL (P=0.001) and HWL (P=0.027) conditions compared to DL condition. The means±SE of the normalized mean reaction time for selective attention task were 4.16.25±10.262 ms for SWL, 415.95±10.292 ms for HWL, 408.05±10.75 ms for LWL, and 437.75±9.618 ms for DL condition. Post-hoc tests showed a significantly lower reaction time under LWL (P=0.001), HWL (P=0.027), and SWL (P=0.02) conditions compared to DL condition. The Bonferroni-adjusted post-hoc tests did not show any significant differences between HWL, LWL, and SWL light conditions in the CPT, GO/NO-GO, selective attention, and 2–Back tasks.

The participants believed that there was no significant difference between the light conditions (SWL, LWL, and HWL) according to the subjective appraisals of light, including brightness, distribution, activating, adequacy amount, and color. In addition, the participants reported that the light conditions did not significantly improve their performance. In contrast, the volunteers stated that the LWL (P=0.006) condition was more effective in improving their mood status compared to the SWL condition. Also, about the pleasantness of light, the participants preferred the LWL (P=0.037) over the HWL condition.

Conclusion: Under natural conditions (healthy participants and with regular sleep-wake cycle), both the low and high CCT lights (500 lx at the desk) improved alertness and performance compared to the DL condition during the morning hours. In contrast, compared to the SWL, no significant improvement in alertness and cognitive performance during inhibitory capacity, working memory, selective attention, and sustained attention tasks was observed. Briefly, it can be concluded that in addition to the relative preferences of the LWL (2700 K) light condition by the participants, it has had a significant impact on improving the mood of the participants. Hence, the design and application of lighting interventions by using low correlated color temperature lighting sources can be beneficial for reducing fatigue and sleepiness and improving performance and mood during the morning hours although more studies are required to determine the optimal parameters for lighting interventions.

Conflicts of interest: None

Funding: None

How to cite this article:

Taleb Askaripoor, Majid Motamedzade, Rostam Golmohammadi, Mohammad Babamiri, Maryam Farhadian, Mohammad Ebrahim Ghaffari, Mehdi Samavati, Elahe Kazemi, Hamed Aghaei. Non-visual effects of the light source "correlated color temperature" on electroencephalographic spectral power, sleepiness and neurobehavioral performance. Iran Occupational Health. 2020 (28 Nov);17:40.

***This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence**

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

سلامت کار ایران
دوره ۱۷ - ۴۰/۱۳۹۹
مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

اثرات غیربینایی دمای رنگ منابع روشنایی بر قدرت سیگنال‌های مغزی، خواب‌آلودگی و عملکرد عصبی رفتاری

طالب عسکری‌پور: استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.
مجید معتمدزاده: (* نویسنده مسئول) استاد، گروه ارگونومی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
motamedzade@yahoo.com
رستم گلمحمدی: استاد، قطب علمی و آموزشی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
محمد بابامیری: استادیار، گروه ارگونومی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
مریم فرهادیان: استادیار، گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
محمدابراهیم غفاری: استادیار، مرکز تحقیقات علوم دندان پزشکی، دانشکدهٔ دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران.
مهدی سماواتی: دکترای مهندسی پزشکی، گروه فیزیک پزشکی و مهندسی پزشکی، مرکز تحقیقات فناوری‌های بیومدیکال و رباتیک، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
الهه کاظمی: کارشناس ارشد بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.
حامد آقائی: استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: خستگی و خواب‌آلودگی (کاهش سطح هشیاری) علاوه‌بر تأثیر منفی بر عملکرد و کیفیت کار، یکی از علل اصلی خطاهای انسانی و حوادث در محیط‌های کاری شناخته می‌شود. شواهد تجربی اخیر نشان داده است که روشنایی افزون‌بر تسهیل فرایند دید، می‌تواند بر عملکردهای فیزیولوژیکی، روانی و عصبی رفتاری انسان تأثیر بگذارد که اثرات غیربینایی روشنایی شناخته می‌شود. برخی از مطالعات نشان داده است که نور آبی تک‌رنگ یا روشنایی سفید غنی‌شده از نور آبی (روشنایی با دمای رنگ بالا) می‌تواند باعث افزایش سطح هشیاری، بهبود خلق‌وخوی و عملکرد شود؛ گرچه شواهد اخیر اثبات کرده که نور تک‌رنگ قرمز یا روشنایی سفید اشباع‌شده از نور قرمز (روشنایی با دمای رنگ پایین) نیز توانایی القای چنین اثرات مثبتی را داشته است. سؤالی که مطرح می‌شود، این است که کدام‌یک از این وضعیت‌های روشنایی (روشنایی با دمای رنگ بالا یا روشنایی با دمای رنگ پایین) تأثیر قوی‌تری در سطح هشیاری و عملکرد عصبی رفتاری دارد. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر مواجهه با روشنایی سفید با دمای رنگ پایین (LWL، ۲۷۰۰ کلوین)، روشنایی سفید با دمای رنگ بالا (HWL، ۱۲۰۰۰ کلوین)، روشنایی سفید با دمای رنگ استاندارد (SWL، ۴۰۰۰ کلوین) و روشنایی خیلی کم (کنترل ـ DL) بر قدرت سیگنال‌های مغزی (شاخص عینی سطح هشیاری) خواب‌آلودگی، خلق‌وخوی و عملکرد عصبی رفتاری (عملکرد شناختی) در زمان صبح انجام شده است.

روش بررسی: در این پژوهش، ۲۰ داوطلب سالم در مواجهه با وضعیت‌های روشنایی به مدت ۱۴۰ دقیقه قرار گرفتند. داده‌هایی شامل الکتروانسفالوگرافی (سیگنال‌های مغزی آلفا، آلفا ـ تتا، بتا و تتا)، شاخص هشیاری ذهنی (خواب‌آلودگی)، شاخص خلق‌وخو، آزمون‌های عملکرد شناختی (برای سنجش توجه پیوسته، حافظهٔ کاری، ظرفیت مهاری و توجه انتخابی) و ارزیابی ذهنی افراد شرکت‌کننده نسبت به وضعیت‌های روشنایی جمع شد.

یافته ها: نتایج مطالعه نشان داد در مقایسه با وضعیت DL، وضعیت‌های روشنایی LWL و HWL، قدرت سیگنال‌های آلفا، آلفا ـ تتا، خواب‌آلودگی و میانگین زمان عکس‌العمل در آزمون‌های عملکرد شناختی توجه پیوسته، حافظهٔ کاری، توجه انتخابی و ظرفیت مهاری را به‌صورت معناداری کاهش داده‌اند. باوجود تأثیر مثبت هر دو وضعیت روشنایی HWL (۱۲۰۰۰ کلوین) و LWL (۲۷۰۰ کلوین) در سطح هشیاری و عملکرد شناختی در مقایسه با وضعیت SWL (۴۰۰۰ کلوین)، این تأثیر به حد معناداری از نظر آماری نرسید. همچنین نتایج مطالعه نشان داد تفاوت معناداری میان وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه درمورد قدرت سیگنال‌های مغزی بتا و تتا وجود نداشته است. همچنین شرکت‌کنندگان در وضعیت روشنایی LWL، در مقایسه با سایر وضعیت‌های روشنایی به‌صورت معناداری ($p<0/009$) وضعیت خلق‌وخوی بهتری را گزارش کرده‌اند.

نتیجه گیری: با جمع‌بندی یافته‌های مطالعه می‌توان نتیجه گرفت علاوه‌بر ترجیح نسبی وضعیت LWL توسط شرکت‌کنندگان، این وضعیت روشنایی اثر بسیاری بر بهبود وضعیت خلق‌وخوی افراد شرکت‌کننده داشته است. لذا طراحی و استفاده از مداخلات روشنایی با استفاده از منابع روشنایی دمای رنگ پایین می‌تواند به‌منزلهٔ رویکردی کمکی در کنار سایر راهکارها برای کاهش خستگی و خواب‌آلودگی و بهبود عملکرد و وضعیت خلق‌وخوی کارکنان در ساعت‌های کاری صبح سودمند باشد. گفتنی است که مطالعات بیشتری برای تعیین پارامترهای بهینهٔ مداخلات روشنایی مورد نیاز است.

تعارض منافع: گزارش نشده است.
منبع حمایت کننده: ندارد.

کلیدواژه‌ها
دمای رنگ
الکتروانسفالوگرام
روشنایی
هشیاری
عملکرد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۲

شیوه استناد به این مقاله:
Taleb Askaripoor, Majid Motamedzade, Rostam Golmohammadi, Mohammad Babamiri, Maryam Farhadian, Mohammad Ebrahim Ghaffari, Mehdi Samavati, Elahe Kazemi, Hamed Aghaei. Non-visual effects of the light source “correlated color temperature” on electroencephalographic spectral power, sleepiness and neurobehavioral performance. Iran Occupational Health. 2020 (28 Nov);17:40.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

مقدمه

توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی نیازمند افزایش بهره‌وری و عملکرد، به‌ویژه در محیط‌های کاری، است. خستگی و خواب‌آلودگی (کاهش سطح هشیاری) علاوه‌بر تأثیر منفی بر عملکرد و کیفیت کار، یکی از علل اصلی خطاهای انسانی و حوادث شناخته می‌شود. (۱ـ۲) شواهد متعددی نشان داده است عوامل فیزیکی محیط کار می‌تواند بر خستگی، وضعیت روحی و روانی، انگیزه و بهره‌وری افراد تأثیر بگذارد. (۳ـ۶) هر محیط فیزیکی مناسب برای فعالیت از فاکتورهای مختلفی تشکیل می‌شود که در این میان روشنایی از عناصر اصلی و ضروری شناخته شده است. (۷)

مطالعات و پیشرفت‌های فوتوبیولوژیک تأیید کرده است که روشنایی علاوه‌بر تسهیل فرایند دید، بر پاسخ‌های فیزیولوژیک، فعالیت مغزی و سیستم نوروآندوکرین بدن انسان چون بهبود سطح هشیاری و عملکرد عصبی رفتاری[1] (عملکرد شناختی) اثر می‌گذارد که اثرات غیربینایی (غیربصری) روشنایی[2] شناخته می‌شوند. این‌دست پژوهش‌ها امروزه به‌عنوان حوزه‌ای جدید و جذاب در مطالعات روشنایی و نوروارگونومی مورد توجه قرار گرفته است. (۸ـ۱۱) لذا می‌توان چنین استنباط کرد که طراحی و انتخاب سیستم روشنایی مطلوب با درنظر گرفتن اثرات بینایی و غیربینایی در محیط کار و زندگی روزمره، می‌تواند اثرات مثبتی بر کاهش خستگی و خواب‌آلودگی، بهبود عملکرد و خلق‌وخو و به‌تبع آن کاهش خطاهای کاری کاهش حوادث داشته باشد. (۱۲ـ۱۴)

تعدادی از پژوهش‌ها نشان داده است نور با طول موج کوتاه (نور آبی تک‌رنگ) یا روشنایی سفید غنی‌شده از نور آبی (روشنایی با دمای رنگ بالا)[3] می‌تواند باعث افزایش سطح هشیاری، بهبود خلق‌وخو و عملکرد شود (۱۵ـ۲۰)؛ گرچه برخی مطالعات اثبات کرده نور تک‌رنگ قرمز یا روشنایی سفید اشباع‌شده از نور قرمز (روشنایی با دمای رنگ پایین)[4] نیز توانایی القای چنین اثرات مثبتی را دارد. (۲۱ـ۲۵) ذکر این نکته ضروری است که نظر به عدم امکان استفاده از نور تک‌رنگ در محیط‌های کاری، به‌علت رنگ‌پذیری[5]، استفاده ار منابع روشنایی تک‌رنگ در محیط‌های داخلی چندان عملی نیست. (۲۰) همچنین افزایش نسبت طول موج‌های آبی در روشنایی سفید سبب افزایش دمای رنگ و از سوی دیگر افزایش طول موج قرمز باعث کاهش دمای رنگ می‌شود که به‌ترتیب روشنایی سفید با دمای رنگ بالا (غنی از نور آبی) و دمای رنگ پایین (اشباع‌شده از نور قرمز) شناخته می‌شود. (۱۸، ۲۴). پس می‌توان گفت راهکار عملی جهت دسترسی به اثرات رنگ آبی یا قرمز بر عملکرد فیزیولوژیک و عصبی رفتاری انسان، استفاده از منابع روشنایی سفید با دمای رنگ بالا یا پایین است.

بک و مین گزارش کردند که مواجهه با روشنایی سفید غنی از نور آبی (دمای رنگ بالا) به‌طور معناداری موجب کاهش قدرت سیگنال‌های حد بالا و پایین آلفا در مقایسه با روشنایی سفید (درحدود ۴۰۰۰ کلوین) در زمان بعدازظهر شده است. البته در این مطالعه، تأثیر دمای رنگ پایین دربرابر دمای رنگ بالا بررسی نشده است. (۲۰) همچنین مطالعات سهین و همکاران و فیگویرو و همکاران نشان داد روشنایی با دمای رنگ پایین موجب کاهش قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا ـ تتا و افزایش سطح هشیاری در مقایسه با شرایط روشنایی خیلی کم[6] شده است. گرچه در این پژوهش‌ها، فقط از منابع روشنایی با دمای رنگ پایین و نور قرمز استفاده شده، روشنایی با دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین و دمای رنگ بالا ارزیابی نشده است. (۲۲، ۲۴) علاوه‌بر این، نتایج برخی از تحقیقات دیگر تصدیق کرده است مواجهه با روشنایی با دمای رنگ بالا (۱۷۰۰۰ کلوین) نسبت به روشنایی ۴۰۰۰ کلوین منجر به بهبود سطح عملکرد و کارایی شده است. (۱۸ـ۱۹، ۲۶) گرچه در این مطالعات نیز، روشنایی دمای رنگ پایین (۲۷۰۰ کلوین) در مقایسه با دمای رنگ ۴۰۰۰ و ۱۷۰۰۰ کلوین تحلیل نشده است.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده، سؤالی که تاکنون بی‌پاسخ مانده، این است که در افراد روزکار شاغل بدون محرومیت از خواب و دارای الگوی خواب منظم که بخش زیادی از جمعیت کاری را تشکیل می‌دهند، کدام‌یک از وضعیت‌های روشنایی (منابع روشنایی با دمای رنگ بالا یا پایین) اثرات قوی‌تری بر سطح هشیاری ذهنی و عینی و عملکرد عصبی رفتاری دارند. به‌منظور پاسخ به این پرسش، مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی تأثیر روشنایی با شدت ۵۰۰ لوکس (شدت روشنایی استاندارد معمول

1 .Neurobehavioral Performance (cognitive performance)
2 . Non-visual effects of light (non-image forming effects of light)
3 . Blue-enriched white light (high correlated color temperature white light-high CCT)
4 . Red light or red saturated white light (low correlated color temperature white light-low CCT)
5 . Color-salience
6 . Dim light

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

در محیط‌های اداری) و با دماهای رنگ پایین (۲۷۰۰ کلوین)، دمای رنگ بالا (۱۲۰۰۰ کلوین) و دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین و روشنایی با شدت خیلی کم (کمتر از ۵ لوکس در سطح چشم ـ کنترل) بر سطح هشیاری ذهنی و عینی، خلق‌وخو و عملکرد شناختی در ساعات کاری صبح انجام گردید.

روش بررسی

شرکت‌کنندگان

در این پژوهش، ۲۰ داوطلب (مرد) سالم با میانگین و انحراف معیار سن ۳/۶ ± ۲۷/۶ سال از طریق تبلیغ در اینترنت و نصب اعلامیه انتخاب شدند. قبل از ورود به مطالعه، با همهٔ داوطلبان بالقوه، درمورد کیفیت خواب، عادت‌ها، شیوهٔ زندگی و سلامت عمومی مصاحبه شد. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بود از: داشتن سلامت کامل جسمی و روانی، داشتن کیفیت خواب مناسب براساس نسخهٔ فارسی شاخص کیفیت خواب پیتزبورگ[1] (۲۷ـ۲۸)، داشتن الگوی خواب ـ بیداری منظم (خوابیدن درحدود ساعت ۲۲:۰۰ تا ۲۴:۰۰ و بیدار شدن درحدود ساعت ۷:۰۰ تا ۸:۰۰ صبح)، مصرف نکردن سیگار و مشروبات الکلی، سفر نکردن به منطقهٔ زمانی دیگر، عدم فعالیت به نوبت کاری در طی سه ماه قبل از مطالعه و نداشتن سابقهٔ بیماری‌های چشم، کوررنگی و داشتن حدت بینایی نرمال. همچنین با هدف همگنی حداکثری بین افراد شرکت‌کننده از نظر ریتم سیرکادین (۲۲ـ۲۹) و کنترل فاکتور مخدوشگر کرونوتایپ، افراد با کرونوتایپ کاملاً صبحگاهی و کاملاً شامگاهی براساس نسخهٔ فارسی پرسش‌نامهٔ MEQ [2] از ورود به مطالعه حذف شدند (۳۰ـ۳۱). همچنین برای کنترل اثر بالقوهٔ اختلاف در سطح هشیاری به‌دلیل ریتم سیرکادین و فشار خواب بین شرکت‌کنندگان، از تمام افراد خواسته شد ضمن رعایت الگوی خواب ـ بیداری منظم ذکرشدهٔ فوق، زمان خواب ـ بیداری خود را از یک هفته قبل از شروع مطالعه تا پایان آن در یک لاگ بوک[3] ثبت کنند. همچنین از شرکت‌کنندگان خواسته شد از حدود ۱۲ ساعت قبل از روز آزمایش، از مصرف کافئین و مشروبات الکلی بپرهیزند. ضمن توضیح اهداف پژوهش برای همهٔ شرکت‌کنندگان قبل از آغاز کار، همهٔ افراد فرم رضایت آگاهانه را امضا کردند و پروتکل مطالعه به تأیید کمیتهٔ اخلاق دانشگاه رسید. درضمن به افراد شرکت‌کننده در مطالعه هزینهٔ مشارکت پرداخت گردید.

طراحی و روش مطالعه

این پژوهش در یک اتاق شبیه‌سازی‌شدهٔ محیط اداری با مساحت ۱۹ مترمربع، دارای سیستم تهویه، تبرید و گرمایش و دیوارهای با رنگ روشن (ضریب بازتابش ۰/۵) و سیستم روشنایی قابل تنظیم در شدت روشنایی درحدود ۵۰۰ لوکس انجام شد. همچنین به‌علت نوسان نور روز و کنترل اثر آن، به‌عنوان عامل مخدوشگر، پنجرهٔ اتاق با پوشش‌های مقاوم به نفوذ نور پوشش داده شد.

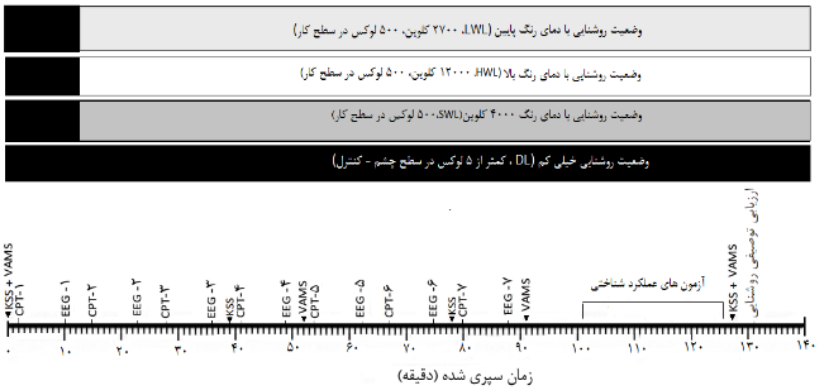
وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه شامل روشنایی خیلی کم (کمتر از ۵ لوکس، کنترل ـ DL) و وضعیت‌های روشنایی دمای رنگ پایین (LWL، ۲۷۰۰ کلوین)، دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین (SWL) و دمای رنگ بالا (HWL، ۱۲۰۰۰ کلوین) در شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس در سطح میز کار بوده است. قابل ذکر است که شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس براساس شدت روشنایی استاندارد معمول در محیط‌های کار اداری انتخاب شده است. (۳۲)

این پژوهش دارای یک طرح با اندازه‌های تکراری[4] است که تمامی شرکت‌کنندگان در یک الگوی متوازن[5] و با فاصلهٔ یک‌هفته‌ای، در معرض وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه قرار گرفتند. استفاده از الگوی متوازن برای ترتیب مواجههٔ افراد با وضعیت‌های روشنایی، با هدف کنترل حداکثری عوامل مخدوشگر، ازجمله اثر یادگیری، بوده است. (۲۲، ۲۴)

در این تحقیق، از شرکت‌کنندگان خواسته شد در ساعت ۷:۴۵ در محل انجام آزمایش حاضر شوند. بعد از نصب الکترودهای الکترونسفالوگرافی (EEG) و آشنایی افراد با پروتکل مطالعه، ثبت داده‌ها از ساعت ۸:۳۰ شروع شد و به مدت حدود ۱۴۰ دقیقه ادامه یافت. هفت مرحلهٔ متوالی ثبت داده، شامل آزمون عملکرد پیوسته (CPT[6] – به مدت حدود ۸ دقیقه) و به‌دنبال آن تست EEG (به مدت حدود ۳ دقیقه) انجام شد. بین هریک از مراحل، شاخص هشیاری ذهنی (خواب‌آلودگی) کارولنیسکا (KSS)[7] و شاخص آنالوگ بصری برای سنجش خلق‌وخو

1 . Persian version of Pittsburgh Sleep Quality Index
2 . Morningness -Eveningness Questionair
3 . Log book
4 . a repeated-measures design
5 . a counterbalanced order
6 . Continuous performance test
7 . Karolinska Sleepiness Scale (KSS)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]



شکل ۱ـ پروتکل مطالعه، شامل آزمون عملکرد پیوسته (CPT)، الکتروانسفالوگرافی (EEG)، شاخص هشیاری ذهنی (خواب‌آلودگی ـ KSS)، شاخص وضعیت خلق‌وخو (VAMS)، آزمون‌های عملکرد عصبی رفتاری (Go/No-Go، 2-Back و توجه انتخابی) و ارزیابی ذهنی (توصیفی) افراد شرکت‌کننده در مطالعه نسبت به وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه

(VAMS)[1] توسط شرکت‌کنندگان تکمیل گردید. پس اتمام ۷ مرحله و جداسازی الکترودهای EEG از افراد و استراحت کوتاه، آزمون‌های شناختی شامل Go/No-Go، ۲-back و توجه انتخابی توسط شرکت‌کنندگان انجام شد. در پایان آزمایش، ارزیابی توصیفی افراد شرکت‌کننده نسبت به وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه تکمیل شد. قابل ذکر است که هر فرد ۴ بار و در ۴ هفتهٔ متوالی در مطالعه شرکت کرده است. همچنین در تمام زمان مطالعه، همهٔ مراحل جمع‌آوری داده‌ها (داده‌های EEG، آزمون‌های عملکرد عصبی رفتاری و...) برای همهٔ شرکت‌کنندگان و وضعیت‌های روشنایی یکسان بوده است. پروتکل مطالعه[2] و تصویر محیط مطالعه در شکل ۱ و ۲ نمایش داده شده است. همچنین با توجه اینکه نتایج تأثیر روشنایی ممکن است وابسته به نوع متغیر مورد استفاده در مطالعات باشد (۳۳)، در این مطالعه، ضمن استفاده از تعداد حداکثری فاکتور سنجش اثرات، از تلفیقی از معیارهای عینی (مانند ثبت فعالیت‌های عصبی مغز و آزمون‌های عملکرد شناختی) و معیارهای ذهنی (شاخص‌های خودگزارشی و پرسش‌نامه) جهت دستیابی به رویکردی دقیق و قابل قبول برای تعیین اثرات روشنایی بر قدرت سیگنال‌های مغزی و عملکرد شناختی استفاده شد. نظر به اینکه، اکثر فعالیت‌های کار اداری نیازمند دقت و توجه پایدار و با حداقل تلاش ذهنی است، در این مطالعه، برای شبیه‌سازی حداکثری محیط مطالعه به محیط کار واقعی، در میان مراحل ثبت EEG، آزمون عملکرد پیوسته (CPT)

شکل ۲ـ تصویر محیط مطالعهٔ استفاده‌شده در پژوهش

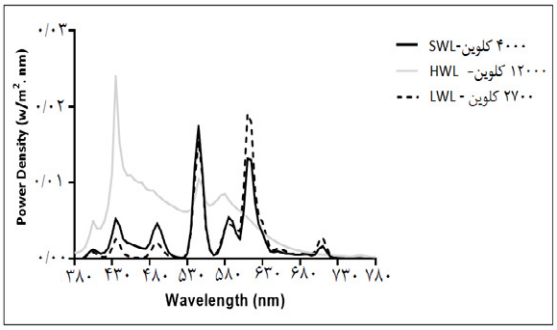
توسط شرکت‌کنندگان انجام شد. (۲۰) لذا می‌توان گفت شرایط افراد بسیار نزدیک به محیط کار واقعی بوده است. توجه پایدار (پیوسته) به‌معنای قابلیت افراد در حفظ توجه برای انجام یک وظیفه به مدت طولانی است. (۳۴)

آزمون عملکرد پیوسته (CPT)

آزمون عملکرد پیوسته آزمون استاندارد برای ارزیابی توجه پایدار (پیوسته) است. (۳۵) این تست شامل ارائهٔ یک‌سری از اعداد (محرک) تک (اعداد ۰ تا ۹) است که به‌صورت تصادفی به مدت ۵۰۰ میلی‌ثانیه و فاصلهٔ زمانی ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه بین دو محرک متوالی بر روی صفحه‌نمایش لپ‌تاپ نمایش داده می‌شود. از شرکت‌کنندگان خواسته شد به‌محض مشاهدهٔ محرک هدف (عدد ۴) بر روی صفحه‌نمایش، با دست غالب خود دکمهٔ فاصله (space) روی صفحه‌کلید را فشار دهند. با هدف به حداقل رساندن تفاوت در یادگیری بین شرکت‌کنندگان در آزمون عملکرد پیوسته و سایر

1 . Visual Analogue Scale (VAS)
2 . the experimental setup

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]



نمودار ۱ـ توزیع قدرت طیفی وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه

آزمون‌های عملکرد شناختی مورد استفاده در مطالعه، تمام افراد جلسات تمرینی را تا اطمینان از فراگیری کامل در یک روز قبل از آزمایش انجام دادند. با هدف مقایسهٔ داده‌های CPT در وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه، داده‌ها نسبت به اولین دادهٔ ثبت‌شده در طول آزمایش (۱-CPT) نرمالایز گردید (۲۰، ۲۳). بنابراین میانگین زمان عکس‌العمل پاسخ‌های درست و تعداد خطای نرمالایزشده به‌عنوان متغیر وابسته در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

تنظیمات روشنایی[1]

در این مطالعه، از لامپ‌های فلورسنت با قابلیت روشنایی قابل تنظیم[2] شامل ۷ لامپ با دمای رنگ اسمی ۲۷۰۰ کلوین (Philips, MASTER TL-D Super 80 36W/827)، ۷ لامپ با دمای رنگ اسمی ۴۰۰۰ کلوین (Philips, MASTER TL-D Super 80 36W/840) و ۲۲ لامپ با دمای رنگ اسمی ۱۲۰۰۰ کلوین (Philips, TL-D Snow White 18W, CCT = 12000 K) استفاده شد. همچنین برای وضعیت روشنایی خیلی کم (DL) از یک لامپ فلورسنت فشرده (۳۵۲۰ کلوین) به‌کار گرفته شد. هریک از گروه‌های منابع روشنایی دارای یک مدار و یک سوئیچ کنترل جداگانه بوده است. همچنین برای ایجاد محیط نورپردازی واقع‌بینانه، از منابع روشنایی تجاری در دسترس استفاده شد. روشنایی عمودی (۱/۲ متر از کف در سطح چشم) و روشنایی افقی (۰/۷۵ متر بالاتر از کف در سطح کار) با استفاده از روشنایی‌سنج (Hagner, model E2, Solna) ساخت کشور سوئد اندازه‌گیری شد. همگنی روشنایی در اتاق آزمایش با ضریب یک‌نواختی روشنایی (E_{min}/E_{ave}) معادل حداقل ۰/۸ برای هریک از وضعیت‌های روشنایی محاسبه گردید. میانگین درخشندگی در سطح چشم شرکت‌کنندگان (ارتفاع ۱/۲ متر از کف) با استفاده از درخشندگی‌سنج (Hagner ScreenMaster, Solna) ساخت کشور سوئد انجام شد. همچنین هیچ‌کدام از منابع روشنایی در دید مستقیم افراد شرکت‌کننده قرار نداشتند. در پایان نیز شاخص تجلی رنگ (CRI)، مختصات رنگی، دمای رنگ واقعی و مقادیر روشنایی فوتومتریک با استفاده از طیف‌سنج C7000SpectroMaster, Sekonic Corp., (Tokyo) ساخت کشور ژاپن در سطح چشم اندازه‌گیری شد. جزئیات فنی و مقادیر روشنایی (فوتومتری) محیط مطالعه در جدول ۱ و توزیع قدرت طیفی در نمودار ۱ ارائه شده است.

الکتروانسفالوگرافی (EEG)

ثبت سیگنال

ثبت سیگنال‌های مغزی با استفاده از آنالیزکنندهٔ EEG مدل (Medicom Encephalon131-03, 21-channel) ساخت کشور روسیه و الکترودهای نقره ـ کلرید نقره (Ag/AgCl) انجام گرفت. داده‌های EEG، براساس سیستم بین‌المللی استاندارد ۱۰ـ۲۰ و از طریق خط Z و کانال‌های Oz، Pz، Cz و Fz ثبت گردید. (۳۶) الکترودهای مرجع بر گوش‌های چپ و راست (A ۲ و A ۱) و الکترود اتصال زمین بر روی پیشانی شرکت‌کنندگان نصب شد. علاوه‌بر این، برای پایش پلک زدن، یک الکترود به‌طور مستقیم در زیر چشم راست (EOG) تعبیه گردید. با هدف به حداقل رساندن نویز و ارتفیکت در حین ثبت EEG، از افراد خواسته شد ضمن پرهیز از صحبت کردن و پلک زدن، چشم‌های خود را بر روی نماد X چاپ شده بر روی دیوار روبه‌رو ثابت نمایند.

پیش‌پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های EEG

داده‌های EEG در فرکانس ۲۵۰ هرتز و امپدانس کمتر از ۵ کیلو اهم و با استفاده از فیلتر باند عبور (۰/۳ تا ۴۰ هرتز) ثبت گردید. همچنین از یک فیلتر ناچ[3] در فرکانس ۵۰ هرتز برای کنترل تأثیر فرکانس شبکهٔ برق بر داده‌های EEG استفاده شد. در ادامه جهت پردازش سیگنال، مقدار متوسط کانال‌های مرجع (A1 و A2) از تمامی کانال‌های مورد اندازه‌گیری کسر گردید. سپس داده‌ها به دوره‌های

1 . Lighting settings
2 . Dimmable fluorescent light
3 . Notch

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

جدول ۱ـ جزئیات فنی و مقادیر فوتومتری اندازه‌گیری‌شده در سطح چشم در محیط مطالعه

متغیر	HWL	SWL	LWL
شدت روشنایی در سطح کار (لوکس)	۵۰۳	۵۱۷	۵۲۹
شدت روشنایی در سطح چشم (لوکس)	۳۱۷	۳۳۲	۳۳۳
دمای رنگ اسمی[1] (کلوین)	۱۲۰۰۰	۴۰۰۰	۲۷۰۰
دمای رنگ واقعی[2] (کلوین)	۹۷۳۳	۳۷۳۰	۲۵۶۴
شاخص تجلی رنگ[3]	۸۳	۸۲/۹	۸۱/۹
طول موج غالب[4] (نانومتر)	۴۸۱	۵۷۹	۵۸۳
طول موج پیک[5] (نانومتر)	۴۳۶	۵۴۵	۶۱۲
مختصات رنگی[6]	X:۰/۲۸۱ Y: ۰/۲۹۲۶	X:۰/۳۹۵۱ Y: ۰/۳۸۹۹	X:۰ /۴۸۳۱ Y: ۰/۴۳۲۷
درخشندگی در سطح چشم (Cd/m^2)	۴۳/۸	۴۰/۵	۳۸/۹
روشنایی فوتوپیک (لوکس)[7]	۳۱۷	۳۳۲	۳۳۳
روشنایی سیانوپیک (لوکس)[8]	۴۶۹	۱۸۰	۷۳
روشنایی ملانوپیک (لوکس)[9]	۳۸۸	۱۹۵	۱۱۵
روشنایی ردوپیک (لوکس)[10]	۳۷۱	۲۳۶	۱۶۹
روشنایی کلروپیک (لوکس)[11]	۳۴۵	۲۹۱	۲۵۹
روشنایی اریتروپیک (لوکس)[12]	۳۱۴	۳۱۹	۳۲۶
تراکم فوتون[13] ($Photons.cm^{-2}.s^{-1}$)	۳/۱۸×۱۰[14]	۲/۷×۱۰[14]	۲/۷×۱۰[14]
ارادیانس[14] ($\mu W.cm^{-2}$)	۱۲۱	۹۶	۹۲

[1]. Nominal correlated color temperature (K); [2]. Actual correlated color temperature (K); [3]. Color Rendering Index (CRI Ra); [4]. Dominant wavelength (nm); [5]. Peak Wavelength (nm); [6]. Chromaticity coordinates (x,y) 1931 CIE chromaticity coordinates; [7]. Photopic illuminance (lx); [8]. Cyanopic lx (α-opic lx); [9]. Melanopic lx (α-opic lx); [10]. Rhodopic lx (α-opic lx); [11]. Chloropic lx (α-opic lx); [12]. Erythropic lux (α-opic lux); [13]. Photon density (photons.$cm^{-2}.s^{-1}$); [14]. Irradiance ($\mu W.cm^{-2}$)

دوثانیه‌ای (اپک) با همپوشانی یک ثانیه تقسیم شد. هر دوره با نوسان قدرت بیش از ۱۰۰ ± میکرو ولت بر روی کانال‌های Fz، Cz، Oz یا Pz یا ۴۰ میکرو ولت بر روی کانال EOG از پردازش حذف گردید. سپس یک پنجره کوسین ۱۰٪ و یک تبدیل سریع فوریه برای هر دوره استفاده شد. این فرایند برای توزیع قدرت طیفی از ۰/۳ تا ۴۰ هرتز در فواصل ۰/۵ هرتز انجام شد. در ادامه میانگین قدرت تمام اپک‌ها برای به‌دست آوردن قدرت متوسط در هر فاصلهٔ زمانی اندازه‌گیری[1] (تریال) محاسبه گردید. در پایان سیگنال‌های ثبت‌شده به محدوده‌های فرکانسی ۵ تا ۷ هرتز (تتا)، ۵ تا ۹ هرتز (آلفا ـ تتا) ۸ تا ۱۲ هرتز (آلفا) و ۱۳ تا ۳۰ هرتز (بتا) تقسیم شد. متوسط قدرت به‌دست‌آمده از کانال‌های Pz و Oz برای محاسبهٔ آلفا، کانال‌های Fz و Cz برای بتا، کانال‌های Fz و Cz برای تتا و کانال‌های Fz، Cz، Pz و Oz برای محاسبهٔ آلفا ـ تتا استفاده گردید. (۲۲ـ۲۴) برای امکان مقایسهٔ نتایج EEG ثبت‌شده در وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه، قدرت سیگنال‌ها در هر رنج فرکانسی و هر فاصلهٔ زمانی (تریال) با استفاده از قدرت به‌دست‌آمده در طول دوره روشنایی خیلی کم (کمتر از ۵ لوکس) ابتدای آزمایش (۱- EEG) نرمالایز شد. بدین ترتیب، حاصل تقسیم (نسبت) مقادیر اندازه‌گیری‌شده به مقدار اندازه گیری‌شدهٔ ابتدای آزمایش[2] به‌عنوان متغیر وابسته در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید (۲۰، ۲۲ـ۲۴). برای آنالیز داده‌های EEG، نرم‌افزار متلب[3] (نسخهٔ R2012a، Math-Works، USA) مورد استفاده قرار گرفت.

شاخص هشیاری ذهنی (خواب‌آلودگی) کارولنیسکا

سطح هشیاری ذهنی (خواب‌آلودگی) با استفاده از شاخص KSS[4] مورد سنجش قرار گرفت. (۳۷) نمرات KSS از ۱ تا ۹ متغیر بوده؛ جایی که ۱ به مفهوم «بسیار هشیار» و ۹ «بسیار خواب‌آلوده» است. مطالعات قبلی نشان داده شاخص KSS دارای روایی و پایایی قابل قبولی است. (۳۸)

شاخص آنالوگ بصری برای سنجش خلق‌وخو

تأثیر روشنایی بر وضعیت خلق‌وخو با استفاده از شاخص یازده‌نقطه‌ای VAMS[5] مورد ارزیابی قرار گرفت. در این شاخص، نمرهٔ صفر برای خلق‌وخوی بسیار بد و نمرهٔ ۱۰۰

1 . Time interval

2 . Baseline
3 . MATLAB
4 . Karolinska Sleepiness Scale
5 .Visual Analogue Scale for mood

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

برای خلق‌وخوی بسیار خوب استفاده شده است. (۳۹) با هدف مقایسهٔ نتایج VAMS و KSS در وضعیت‌های روشنایی مختلف، مقادیر به‌دست‌آمده در هر فاصلهٔ زمانی (ترپال)، نسبت به مقدار ثبت‌شده در مدت روشنایی خیلی کم ابتدای آزمایش نرمالایز گردید.

ارزیابی ذهنی (توصیفی) افراد شرکت‌کننده در مطالعه نسبت به وضعیت‌های روشنایی

نظر به اینکه مشخصات سیستم روشنایی از نظر کمّی و کیفی در کنار اثرات غیربینایی روشنایی بر وضعیت روحی، سطح هشیاری، خستگی و عملکرد عصبی رفتاری افراد اثرگذار است (۳۳)، در این مطالعه برای بررسی اثرات احتمالی این موضوع و اطمینان از توزیع کمّی و کیفی سیستم روشنایی طراحی‌شده، ارزیابی ذهنی افراد شرکت‌کننده نسبت به وضعیت‌های روشنایی[1] (به جزء وضعیت روشنایی خیلی کم) مورد استفاده در مطالعه، از چک‌لیست ده‌سؤالی با مقیاس پنج‌نمره‌ای، پیشنهادی توسط فلین و همکاران استفاده گردید. (۴۰) از ۴ سؤال اول برای ارزیابی شاخص دلپذیری[2] استفاده شد. این ۴ سؤال شامل گزینه‌های خوشایند ـ ناخوشایند، آسایش‌بخش ـ ناراحت‌کننده، آزارنده ـ عدم ایجاد آزردگی و ایجاد خیرگی ـ عدم ایجاد خیرگی است. پایایی این شاخص با آلفای کرونباخ (α =۰/۷۹) مورد تأیید قرار گرفت. هریک از ۴ سؤال بعدی به‌ترتیب برای ارزیابی کیفیت روشنایی (کم‌نور ـ درخشان)، رنگ (گرم ـ سرد)، توزیع روشنایی (یک‌نواخت ـ غیریک‌نواخت) و تحریک‌پذیری (نوع فعالیت)[3] ایجادشده وضعیت روشنایی (آرامش‌بخش ـ تحریک‌کننده) استفاده گردید. همچنین دو سؤال بعدی برای ارزیابی کفایت مقدار روشنایی محیط (ناکافی ـ کافی) و کفایت مقدار رنگ روشنایی محیط (ناکافی ـ کافی) به‌کار رفت.

آزمون GO/NO-GO (برو ـ نرو)

برای اندازه‌گیری ظرفیت مهاری از آزمون دیداری سه‌دقیقه‌ای Go/No-Go (برو ـ نرو) استفاده شد.

در طول این آزمون، مجموعاً ۱۲۰ جفت‌مربع (زرد و سفید و یا سفید و آبی) به‌صورت تصادفی بر روی صفحه نمایشگر لپ‌تاپ با پس‌زمینهٔ سیاه برای مدت ۲۰۰ میلی‌ثانیه (ms) و با فاصلهٔ ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه نمایش داده شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد جفت مربع‌هایی را که بر روی صفحه نمایش داده می‌شوند، مقایسه کنند: اگر جفت‌مربع‌های سفید و آبی نمایش داده شود و مربع آبی در سمت راست قرار گرفته باشد، شرکت‌کنندگان باید دکمهٔ «؟» را فشار دهند و درصورت قرار گرفتن مربع آبی در سمت چپ، دکمهٔ Z را با حداکثر سرعت فشار دهند. همچنین اگر جفت‌مربع زرد و سفید ظاهر شد، شرکت‌کنندگان نباید هیچ‌گونه واکنشی نشان دهند. مطالعات قبلی نشان داد این آزمون نتیجهٔ قابل اعتمادی در ارزیابی فعالیت عصبی ـ حرکتی و ظرفیت مهارکنندهٔ سیستم عصبی داشته است. (۴۱ـ۴۲)

آزمون n-back (حافظهٔ کاری)

برای اندازه‌گیری حافظهٔ کاری و عملکرد اجرایی از آزمون چهاردقیقه‌ای ۲-back استفاده شد. (۴۳) در طول آزمون، مجموعاً ۱۲۰ کاراکتر (اعداد ۱ تا ۹) با فاصلهٔ زمان ۱۵۰۰ میلی‌ثانیه بر روی زمینهٔ سیاه صفحه‌نمایش لپ‌تاپ به نمایش درآمد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد آخرین کاراکتر ظاهرشده را با ۲ کاراکتر قبل از خودش مقایسه نمایند و چنانچه کاراکترهای مورد مقایسه یکسان بودند، با حداکثر سرعت ممکن دکمهٔ ؟ را بر روی صفحه‌کلید فشار دهند. همچنین درصورت متفاوت بودن کاراکترها، دکمهٔ z را فشار دهند. روایی و پایایی این آزمون در پژوهش‌های پیشین به تأیید رسیده است. (۴۴)

آزمون توجه انتخابی

در این مطالعه، برای بررسی تأثیر روشنایی بر فرایند توجه انتخابی، از آزمون چهاردقیقه‌ای توجه انتخابی[4] استفاده گردید. در این آزمون، درمجموع ۱۶۸ تصویر به‌صورت تصادفی به مدت ۲۰۰ میلی‌ثانیه و فاصلهٔ توالی ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه‌ای بر روی صفحه‌نمایش با پس‌زمینهٔ سیاه نمایش داده شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد به‌محض مشاهدهٔ محرک هدف (شمع یا حلقه)، با دست غالب خود کلید space را روی صفحه‌کلید در سریع‌ترین زمان ممکن فشار دهند. مطالعات قبلی نشان داد این آزمون نتیجهٔ قابل اعتمادی در ارزیابی فرایند توجه انتخابی داشته است. (۴۵) برای به حداقل رساندن تأثیرات ناخواستهٔ تفاوت‌های فردی در نتایج آزمون‌های

1 . Subjective evaluation of the participants about light conditions
2 . Peasantness
3 . Activating
4 . Selective attention task

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

عملکرد شناختی، نسبت میانگین داده‌های خام هریک از شرکت‌کنندگان به میانگین همهٔ شرکت‌کنندگان به‌عنوان ضریب برای تبدیل (نرمالایز کردن) داده‌های خام هریک از شرکت‌کنندگان در هرکدام از آزمون‌ها استفاده شد. (۲۲، ۲۴) به عبارت دیگر، میانگین زمان عکس‌العمل و تعداد خطای نرمالایزشدهٔ آزمون‌های Go/No-Go، Back -۲ و توجه انتخابی به‌عنوان متغیرهای وابسته در این مطالعه استفاده شد. همچنین واحد اندازه‌گیری زمان عکس‌العمل در آزمون‌های عملکرد شناختی Go/No-Go، Back -۲ و توجه انتخابی میلی‌ثانیه (ms) است. تمام تست‌های عملکرد شناختی مورد استفاده در مطالعهٔ حاضر ساخت مؤسسهٔ تحقیقات علوم رفتاری شناختی سینا بوده و روایی و پایایی آن به تأیید رسیده است.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون آماری آنالیز واریانس با اندازه‌های‌های تکراری (ANOVA)[1] استفاده شد. در مواردی که فرض کرویت در این آزمون آماری براساس تست ماچلی[2] نقض گردد، تصحیح گرین هوس ـ گیزر[3] به‌کار رفت. (۴۶) همچنین درصورت وجود اختلاف معنادار، از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه‌های دوتایی (جفتی) استفاده شد. در این مطالعه، ضمن کاربست نرم‌افزار آماری SPSS (نسخهٔ ۲۰) برای آنالیزهای آماری، مقدار p-value<۰/۰۵ به‌عنوان سطح معناداری درنظر گرفته شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (نسخهٔ ۲۰۱۳) استفاده شد.

یافته‌ها

در جدول ۲، نتایج ANOVA برای قدرت سیگنال‌های آلفا، تتا، آلفا ـ تتا و بتا، سطح هشیاری ذهنی، خلق‌وخو، میانگین زمان عکس‌العمل و تعداد خطای نرمالایزشده آزمون‌های عملکرد شناختی GO/NO-GO، Back -۲، توجه انتخابی، CPT و متغیرهای ارزیابی توصیفی وضعیت‌های روشنایی نمایش داده شده است.

EEG (سیگنال‌های آلفا، تتا، آلفا ـ تتا و بتا)

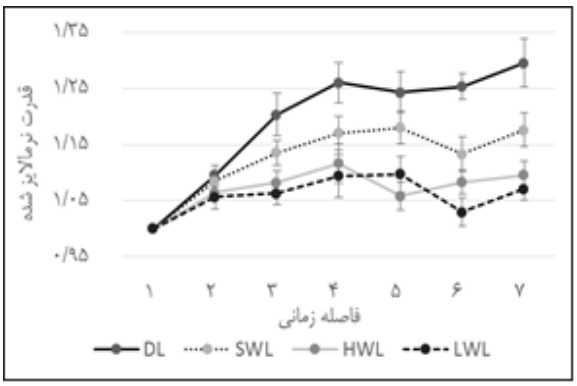
میانگین و خطای معیار (SE) قدرت آلفای نرمالایزشده به‌ترتیب برای وضعیت HWL: ۰/۰۱۸ ± ۱/۰۸۳، ۰/۰۲۱ ± SWL:۱/۱۴۷، ۰/۰۲۱ ± ۱/۰۶۹: LWL و ۰/۰۲۷ ± ۱/۲۲۵ برای وضعیت DL است. نتایج مقایسه‌های دوتایی نشان داد قدرت سیگنال‌های آلفا در وضعیت HWL (۰/۰۱۲ = p) و LWL (۰/۰۰۶ = p) نسبت به وضعیت DL به‌صورت معناداری کمتر بوده است. در سایر مقایسه‌ها تفاوت‌های معناداری مشاهده نگردید. همچنین نتایج تأیید کرد که در مقایسه با وضعیت DL، قدرت سیگنال‌های آلفا ـ تتای نرمالایزشده در وضعیت HWL (۰/۰۳۳ =۰ p) و LWL (p<۰/۰۰۱) کمتر بوده است. سایر مقایسه‌ها تفاوت‌های معناداری را نشان نداده است. همچنین نتایج مقایسه‌های جفتی برای بررسی ارتباط بین وضعیت‌های روشنایی و فواصل زمانی (تریال) بیانگر آن بود که در هر دو وضعیت LWL و HWL، قدرت سیگنال‌های آلفا و آلفا ـ تتا در تمام فواصل زمانی به‌جز اولین فاصلهٔ زمانی در مقایسه با وضعیت DL کاهش معناداری داشته است. نیز وضعیت‌های LWL و HWL قدرت سیگنال‌های آلفا و آلفا ـ تتای نرمالایز شده را در مقایسه با وضعیت SWL کاهش قابل توجهی داده‌اند. گرچه این کاهش به سطح معناداری از نظر آماری نرسید. میانگین و خطای معیار قدرت سیگنال‌های آلفا، آلفا ـ تتا، بتا و تتای نرمالایزشده در هر فاصلهٔ زمانی در نمودار ۲ تا ۵ نمایش داده شده است.

سطح هشیاری ذهنی (KSS)

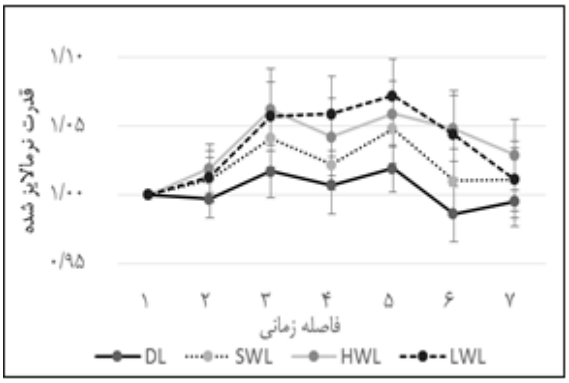
میانگین و خطای معیار (SE) نمرهٔ سطح هشیاری ذهنی (KSS) به‌ترتیب برای وضعیت LWL: ۰/۰۴۵ ± ۱/۱۲۹، SWL: ۰/۰۵۷ ± ۱/۲۵، HWL: ۰/۰۵۲ ± ۱/۱۲۷ و وضعیت DL: ۰/۰۷۴ ± ۱/۴۹۹ بوده است. نتایج آزمون مقایسه‌های جفتی نشان داد شرکت‌کنندگان به‌صورت معناداری خواب‌آلودگی کمتری (سطح هشیاری ذهنی بالاتر) در وضعیت HWL (۰/۰۰۲ =p) و LWL (۰/۰۰۱ =p) در مقایسه با وضعیت DL گزارش کرده‌اند. همچنین باوجود اختلاف میان وضعیت‌های وضعیت‌های LWL و HWL در مقایسه با وضعیت SWL، این اختلاف به حد معناداری از نظر آماری نرسید. علاوه‌بر این، براساس نتایج مقایسه‌های جفتی، در تمام فواصل زمانی میان وضعیت DL و هر دو وضعیت‌های LWL و HWL در سطح هشیاری ذهنی اختلاف معناداری وجود داشته است. میانگین و خطای معیار نمرهٔ سطح هشیاری ذهنی (KSS) نرمالایزشده در هر فاصلهٔ زمانی در نمودار ۶ نمایش داده شده است.

1 . Repeated-measures analysis of variance (ANOVA)
2 . Mauchly's Test of Sphericity
3 . Greenhouse-Geisser correction

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]



نمودار ۲ـ میانگین و خطای معیار قدرت سیگنال‌های مغزی آلفای نرمالایز شده در هر فاصلهٔ زمانی



نمودار ۳ـ میانگین و خطای معیار قدرت سیگنال‌های مغزی بتا نرمالایزشده در هر فاصلهٔ زمانی

نمرهٔ خلق‌وخو

برپایهٔ نتایج پژوهش، میانگین و خطای معیار نمرهٔ خلق‌وخو به‌ترتیب برای وضعیت LWL: ۰/۰۲ ± ۱/۱۵۸، SWL: ۰/۰۱۳ ± ۱/۰۴۸، HWL: ۰/۰۱۱ ± ۱/۰۶۶، و وضعیت DL: ۰/۰۱۴ ± ۰/۹۴۲ بوده است. نتایج مقایسه‌های جفتی نشان داد شرکت‌کنندگان وضعیت خلق‌وخوی بهتری در وضعیت‌های HWL (p<۰/۰۰۱)، LWL (p<۰/۰۰۱) و SWL (p = ۰/۰۰۱) نسبت به وضعیت DL داشته‌اند. همچنین این افراد وضعیت خلق‌وخوی بهتری در وضعیت LWL در مقایسه با وضعیت‌های HWL (p = ۰/۰۰۹) و SWL (p<۰/۰۰۱) گزارش کرده‌اند. علاوه‌بر این، براساس نتایج مقایسه‌های جفتی، در تمام فواصل زمانی، وضعیت خلق‌وخو در وضعیت LWL در مقایسه با سایر وضعیت‌های روشنایی، اختلاف معناداری داشته است. میانگین و خطای معیار نمرهٔ خلق‌وخو (VAMS) نرمالایزشده در هر فاصلهٔ زمانی در نمودار ۷ نمایش داده شده است.

آزمون عملکرد پیوسته (CPT)

میانگین و خطای معیار زمان عکس‌العمل نرمالایزشده آزمون عملکرد پیوسته به‌ترتیب برای وضعیت LWL: ۰/۰۱۱ ± ۰/۹۸۵، SWL: ۰/۰۱۱±۰/۹۹۸، HWL: ۰/۰۱۱ ± ۰/۹۷۷ و وضعیت DL: ۰/۰۱۷ ± ۱/۰۶۶ بوده است. نتایج آزمون مقایسه‌های جفتی نشان داد شرکت‌کنندگان زمان عکس‌العمل کمتری (بهتری) در وضعیت‌های HWL(p<۰/۰۰۱)، LWL (p = ۰/۰۰۹) و SWL (p = ۰/۰۲۶) در مقایسه با وضعیت DL داشته‌اند. سایر مقایسه‌ها تفاوت معناداری میان وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه نشان نداد. علاوه‌بر این، نتایج آزمون مقایسه‌های جفتی برای بررسی ارتباط بین وضعیت‌های روشنایی و فواصل زمانی (تریال) گویای آن بود که در تمام فواصل زمانی، میان وضعیت DL و وضعیت‌های LWL و HWL درمورد زمان عکس‌العمل نرمالایزشده اختلاف معناداری بوده است. میانگین و خطای معیار زمان عکس‌العمل نرمالایزشده آزمون عملکرد پیوسته در هر فاصلهٔ زمانی در نمودار ۸ نمایش داده شده است.

آزمون GO/NO-GO

نتایج مطالعه نشان داد براساس نتایج آزمون مقایسه‌های دوتایی، اختلاف معناداری میان وضعیت‌های HWL (p = ۰/۰۳۴) و LWL (p = ۰/۰۳۳) در مقایسه با وضعیت DL درمورد زمان عکس‌العمل آزمون GO/NO-GO وجود داشته است. سایر مقایسه‌ها تفاوت‌های معناداری را آشکار نکرد. میانگین و خطای استاندارد زمان عکس‌العمل نرمالایزشده، آزمون عملکرد پیوسته به‌ترتیب برای وضعیت LWL: ۱۴/۱۱ ± ۳۰۴/۶۴، SWL: ۱۳/۷۸ ± ۳۰۸/۹۱، HWL: ۱۳/۹۵۹±۳۰۵/۱۳ و وضعیت DL: ۱۷/۷ ± ۳۲۷/۴۹ میلی‌ثانیه (ms) بوده است.

آزمون Back -۲

میانگین و خطای معیار زمان عکس‌العمل نرمالایزشده آزمون Back -۲ به‌ترتیب برای وضعیت LWL: ۳۰/۶۶ ± ۳۸۴/۱۶، SWL: ۳۲/۲۲ ± ۳۹۴/۲۴، HWL: ۳۱/۶۴ ± ۳۸۷/۹۲ و وضعیت DL: ۳۱/۸۱ ± ۳۹۸/۶۲ میلی‌ثانیه (ms) بوده است. نتایج آزمون مقایسه‌های جفتی نشان داد شرکت‌کنندگان زمان عکس‌العمل کمتری در

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

جدول ۲ـ نتایج آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری برای قدرت سیگنال‌های آلفا، تتا، آلفا ـ تتا و بتا، سطح هشیاری ذهنی (KSS)، خلق‌وخو، میانگین زمان عکس‌العمل و تعداد خطای نرمالایزشده آزمون‌های عملکرد شناختی GO/ NO-GO، Back –۲، توجه انتخابی و ارزیابی ذهنی (توصیفی) افراد شرکت‌کننده در مطالعه نسبت به وضعیت‌های روشنایی

متغیر	df[1]	Error[2]	F[3]	P [4]	متغیر	df	Error	F	P
آلفا					KSS				
روشنایی (دمای رنگ)	۲/۰۴۹	۳۸/۹۳۶	۸/۹۶۸	۰/۰۰۱	روشنایی (دمای رنگ)	۲/۱۳۲	۴۰/۵۱۲	۹/۷۹۷	۰/۰۰۱
فاصلهٔ زمانی	۵	۹۵	۱۱/۹۷۶	<۰/۰۰۱	فاصلهٔ زمانی	۲	۳۸	۱/۳۸۳	۰/۲۶۳
روشنایی × فاصله زمانی	۶/۹۴۴	۱۳۱/۹۳۳	۲/۹۹۸	۰/۰۰۹	روشنایی × فاصلهٔ زمانی	۶	۱۱۴	۰/۳۱۱	۰/۹۳
بتا					خلق‌وخو				
روشنایی (دمای رنگ)	۲/۰۲	۳۸/۳۸۹	۱/۳۸۵	۰/۲۶۳	روشنایی (دمای رنگ)	۳	۵۷	۳۴/۲۱۱	<۰/۰۰۱
فاصلهٔ زمانی	۵	۹۵	۵/۲۳۳	<۰/۰۰۱	فاصلهٔ زمانی	۲	۳۸	۱/۶۴	۰/۲۰۷
روشنایی × فاصلهٔ زمانی	۶/۴۸۴	۱۲۳/۱۹۸	۰/۳۹۳	۰/۸۹۴	روشنایی × فاصلهٔ زمانی	۶	۱۱۴	۴/۹۱۴	<۰/۰۰۱
تتا					آزمون عملکرد پیوسته (زمان عکس‌العمل)				
روشنایی (دمای رنگ)	۲/۲۰۹	۴۱/۹۷۹	۱/۱۵۹	۰/۳۲۷	روشنایی (دمای رنگ)	۳	۵۷	۱۰/۴۸	<۰/۰۰۱
فاصلهٔ زمانی	۳/۱۴۹	۵۹/۸۲۳	۱۰/۱۳	<۰/۰۰۱	فاصلهٔ زمانی	۱/۹۲۷	۳۶/۶۰۸	۱/۰۶۶	۰/۳۵۳
روشنایی × فاصلهٔ زمانی	۶/۹۵۵	۱۳۲/۱۴۱	۰/۹۷۲	۰/۴۵۴	روشنایی × فاصلهٔ زمانی	۳/۸۰۱	۷۲/۲۱۲	۳/۰۸۶	۰/۰۲۳
آلفا ـ تتا					آزمون عملکرد پیوسته (میزان خطا)				
روشنایی (دمای رنگ)	۳	۵۷	۸/۴۹۸	<۰/۰۰۱	روشنایی (دمای رنگ)	۳	۵۷	۰/۴۳۲	۰/۷۳۱
فاصلهٔ زمانی	۵	۹۵	۱۲/۸۶۳	<۰/۰۰۱	فاصلهٔ زمانی	۳/۳۳۵	۶۳/۳۷۱	۲۰/۶۲۴	<۰/۰۰۱
روشنایی × فاصلهٔ زمانی	۱۵	۲۸۵	۴/۲۴۳	<۰/۰۰۱	روشنایی × فاصلهٔ زمانی	۱۵	۲۸۵	۰/۹۴۲	۰/۵۱۷
آزمون GO/NO-GO (زمان عکس العمل)					ارزیابی توصیفی روشنایی (رنگ)				
روشنایی (دمای رنگ)	۱/۱۱۵	۲۱/۱۹	۸/۸۲۱	۰/۰۰۶	روشنایی (دمای رنگ)	۲	۳۸	۶۴/۶۱۷	<۰/۰۰۱
آزمون GO/NO-GO (مقدار خطا)					ارزیابی توصیفی روشنایی (تحریک‌پذیری)				
روشنایی (دمای رنگ)	۲/۱۶۷	۴۱/۱۶۵	۰/۶۳۶	۰/۵۴۷	روشنایی (دمای رنگ)	۲	۳۸	۰/۷۵۵	۰/۴۷۷
آزمون Back–۲ (زمان عکس‌العمل)					ارزیابی توصیفی روشنایی (دلپذیری)				
روشنایی (دمای رنگ)	۱/۷۲۵	۳۲/۷۷۴	۵/۹۰۶	۰/۰۰۹	روشنایی (دمای رنگ)	۲	۳۸	۳/۲	۰/۰۴۸
آزمون Back–۲ (مقدار خطا)					ارزیابی توصیفی روشنایی (کیفیت روشنایی ـ درخشندگی)				
روشنایی (دمای رنگ)	۳	۵۷	۱/۲۷۱	۰/۲۹۳	روشنایی (دمای رنگ)	۲	۳۸	۰/۴۸۷	۰/۶۱۸
آزمون توجه انتخابی (زمان عکس‌العمل)					ارزیابی توصیفی روشنایی (توزیع روشنایی)				
روشنایی (دمای رنگ)	۲/۰۱۷	۳۸/۳۱۹	۶/۷۸۱	۰/۰۰۳	روشنایی (دمای رنگ)	۱/۲۵۷	۲۳/۸۸۳	۰/۵۷۱	۰/۴۹۵
آزمون توجه انتخابی (مقدار خطا)					ارزیابی توصیفی روشنایی (کفایت مقدار روشنایی)				
روشنایی (دمای رنگ)	۳	۵۷	۱/۶۰۵	۰/۱۹۸	روشنایی (دمای رنگ)	۱/۴۱۴	۲۶/۸۷	۰/۱۷۴	۰/۷۶۵
ارزیابی توصیفی روشنایی (کفایت مقدار رنگ روشنایی)									
روشنایی (دمای رنگ)	۲	۳۸	۱/۵۴۱	۰/۲۲۷					

**نکته: در نتایج آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری، پارامترهایی که به حد معناداری (p< ۰/۰۵) رسیده، پررنگ (Bold) نمایش داده شده است.

[1]. درجه آزادی فرض‌شده؛ [2]. درجه آزادی خطا، [3]. Fitness level; [4]. Value (سطح معناداری)

وضعیت‌های HWL (p = ۰/۰۲۷) و LWL (p = ۰/۰۰۱) در مقایسه با وضعیت DL داشته‌اند. سایر مقایسه‌ها تفاوت‌های معناداری میان وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه نشان نداد.

آزمون توجه انتخابی

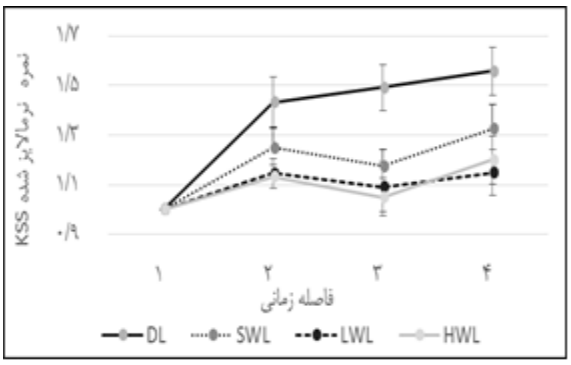
میانگین و خطای معیار زمان عکس‌العمل نرمالایزشده آزمون توجه انتخابی به‌ترتیب برای وضعیت LWL: ۴۰۸/۰۵ ± ۱۰/۷۵، SWL: ۴۱۶/۲۵ ± ۱۰/۲۶۲، HWL: ۴۱۵/۹۵ ± ۱۰/۲۹۲ و وضعیت DL: ۴۳۷/۷۵ ± ۹/۶۱۸ میلی‌ثانیه (ms) بوده است. نتایج آزمون مقایسه‌های دوتایی نشان داد شرکت‌کنندگان زمان عکس‌العمل کمتری در وضعیت‌های HWL (p = ۰/۰۰۱)، LWL (p = ۰/۰۰۳) و SWL (p = ۰/۰۲) نسبت به وضعیت DL داشته‌اند. در سایر مقایسه‌ها، تفاوت‌های معناداری میان وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه مشاهده نگردید.

ارزیابی ذهنی افراد شرکت‌کننده در مطالعه دربارهٔ وضعیت‌های روشنایی

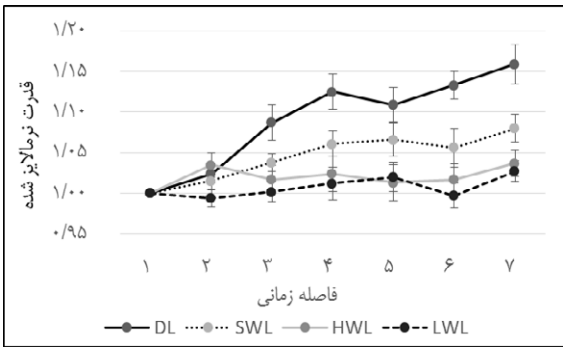
میانگین و خطای استاندارد ارزیابی ذهنی (توصیفی) افراد شرکت‌کننده در مطالعه نسبت به وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه در جدول ۳ آمده است. از نظر

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

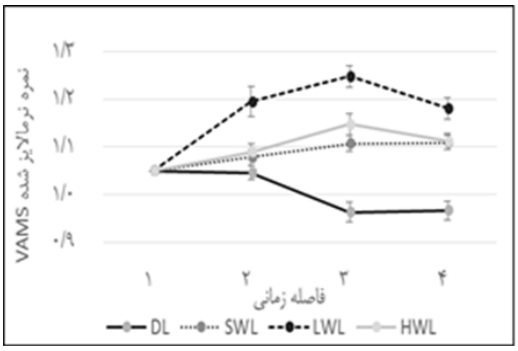
شرکت‌کنندگان، تفاوت معناداری میان وضعیت‌های روشنایی از نظر متغیرهای ارزیابی روشنایی شامل کیفیت روشنایی، توزیع روشنایی، تحریک‌پذیری، کفایت مقدار روشنایی محیط و کفایت مقدار رنگ روشنایی محیط وجود نداشت که نشان از یکسان بودن طراحی وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه در محیط آزمایش است. از نظر شاخص دلپذیری، نتایج نشان از ترجیح بیشتر وضعیت LWL (۰p = /۰۳۷) در مقایسه با وضعیت HWL بوده است.



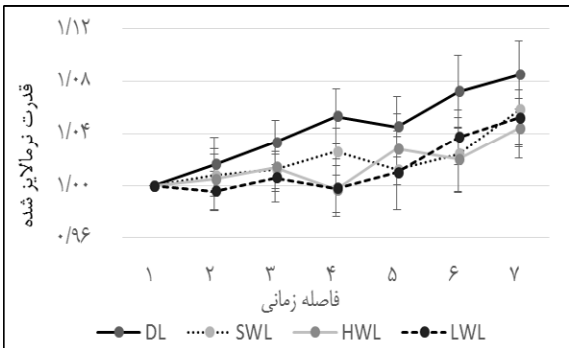
نمودار ٦ـ میانگین و خطای معیار نمرهٔ نرمالایزشده سطح هشیاری ذهنی (KSS) در هر فاصلهٔ زمانی



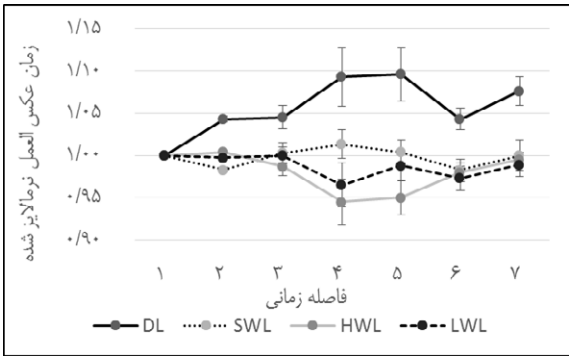
نمودار ٤ـ میانگین و خطای معیار قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا ـ تتا نرمالایزشده در هر فاصلهٔ زمانی



نمودار ۷ـ میانگین و خطای معیار نمرهٔ نرمالایزشده خلق‌وخو (VAMS) در هر فاصلهٔ زمانی



نمودار ۵ـ میانگین و خطای معیار قدرت سیگنال‌های مغزی تتا نرمالایزشده در هر فاصلهٔ زمانی



نمودار ۸ـ میانگین و خطای معیار زمان عکس‌العمل آزمون عملکرد پیوسته (CPT) در هر فاصلهٔ زمانی

جدول ۳ـ میانگین و خطای استاندارد ارزیابی ذهنی افراد شرکت‌کننده در مطالعه نسبت به وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه

متغیرهای ارزیابی روشنایی	۲۷۰۰ کلوین (LWL)	۴۰۰۰ کلوین (SWL)	۱۲۰۰۰ کلوین (HWL)
دلپذیری	۳/۹۹±۰/۱۳	۳/۸۶±۰/۱۲	۳/۶۲±۰/۱۳
رنگ	۱/۶۵±۰/۱۳	۳/۱±۰/۱۴	۳/۹±۰/۱۴
کیفیت روشنایی (درخشندگی)	۳±۰/۰۷	۳/۰±۰۵/۰۹	۳/۰±۱/۰۷
توزیع روشنایی	۱/۰±۳۵/۱۱	۱/۰±۴/۱۱	۱/۰±۲۵/۱
تحریک‌پذیری	۳/۰±۱۵/۱۵	۲/۰±۹۵/۰۹	۳/۰±۱/۱۴
کفایت مقدار روشنایی	۳/۰±۹/۱۴	۳/۰±۸/۱۲	۳/۰±۸/۱۶
کفایت مقدار رنگ روشنایی	۴/۰±۰۵/۱۷	۰±۴/۱۸	۳/۰±۶۵/۱۵

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

بحث

براساس یافته‌های پژوهش، وضعیت‌های HWL و LWL به‌صورت معناداری قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا ـ تتا را در مقایسه با وضعیت روشنایی خیلی کم (DL- کنترل) کاهش داده‌اند. قابل ذکر است که کاهش قدرت سیگنال‌های آلفا و آلفا ـ تتا با سطح هشیاری عینی القاشده توسط روشنایی هم‌بستگی منفی دارد. (۲۲ـ۲۵) به مفهوم دیگر، کاهش قدرت سیگنال‌های آلفا و آلفا ـ تتا نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت این وضعیت‌های روشنایی بر فعالیت مغزی مرتبط با سطح هشیاری است. این نتایج همسو با مطالعات قبلی است که نشان از تأثیر نور قرمز و آبی بر سطح هشیاری در مقایسه با روشنایی خیلی کم (DL) دارد. (۲۱، ۴۷ـ۴۸) شواهد زیادی وجود دارد که تأثیر شدت روشنایی بر سطح هشیاری، خلق‌وخو و سرزندگی را تأیید می‌کند. (۴۹ـ۵۱) البته براساس نتایج مطالعهٔ حاضر و نبودِ تفاوت معنادار میان وضعیت DL و SWL، علاوه‌بر شدت روشنایی، توزیع طیفی روشنایی نیز عاملی مؤثر بر فعالیت مغزی و سطح هشیاری عینی است. (۱۳، ۵۲ـ۵۳)

نتایج پژوهش بیان می‌کند که باوجود تأثیر مثبت وضعیت‌های روشنایی LWL و HWL در کاهش قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا ـ تتا در مقایسه با وضعیت روشنایی ۴۰۰۰ کلوین (SWL)، این تأثیر مثبت به حد معناداری از نظر آماری نرسید. گفتنی است که وضعیت روشنایی ۴۰۰۰ کلوین به‌صورت روتین در محیط‌های کاری چون محیط‌های کار اداری استفاده می‌شود. (۳۳، ۳۹)

همسو با نتایج مطالعهٔ حاضر، در تحقیق عسکری‌پور و همکاران، تفاوت معناداری میان روشنایی با دماهای رنگ ۷۳۴۳ و ۲۵۶۴ کلوین در مقایسه با روشنایی با دمای رنگ ۳۷۳۰ کلوین درمورد تأثیر بر سیگنال مغزی آلفا مشاهده نگردید. (۵۴) درخور ذکر است که در تحقیق پیش‌رو، روشنایی با دماهای رنگ ۱۲۰۰۰، ۲۷۰۰ و ۴۰۰۰ کلوین مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با استفاده از یک رویکرد متفاوت در پردازش EEG، تأثیر روشنایی بر سیگنال‌های مغزی آلفا ـ تتا (۵ تا ۹ هرتز)، آلفا (۸ تا ۱۲ هرتز)، بتا (۱۳ تا ۳۰ هرتز) و تتا (۵ تا ۷ هرتز) در کنار شاخص هشیاری ذهنی (خواب‌آلودگی)، شاخص خلق‌وخو، آزمون‌های عملکرد شناختی برای سنجش توجه پیوسته، حافظهٔ کاری، ظرفیت مهاری و توجه انتخابی و ارزیابی ذهنی افراد شرکت‌کننده نسبت به وضعیت‌های روشنایی بررسی شد. در مطالعهٔ عسکری‌پور و همکاران، تأثیر روشنایی بر سیگنال مغزی آلفا (۸ تا ۱۳ هرتز)، تغییرات ضربان قلب (LF، HF و LF/HF) و شاخص‌های خستگی و خواب‌آلودگی تحلیل شده است. (۵۴)

در تضاد با نتایج مطالعهٔ حاضر، در پژوهش عسکری‌پور و همکاران، مواجههٔ روشنایی با دماهای رنگ ۱۲۰۰۰ و ۲۷۰۰ کلوین به‌طور معناداری موجب کاهش قدرت سیگنال‌های مغزی حد بالا (۱۰ تا ۱۳ هرتز) و حد پایین آلفا (۸ تا ۱۰ هرتز)، نسبت به روشنایی ۴۰۰۰ کلوین در زمان بعدازظهر شده است. (۵۵) به‌طور کلی خستگی و فشار خواب با افزایش تعداد ساعت بیداری افراد در طول روز افزایش می‌یابد. (۲۳) در اکثر افراد در طول روز (در حدود ساعت‌های ۱۴:۰۰ تا ۱۶:۰۰)، فشار خواب و احساس خستگی افزایش می‌یابد که به خستگی و چرت بعد از ناهار شناخته می‌شود. (۵۶) شواهدی متعددی وجود دارد که روشنایی باعث افزایش پاسخ‌های مرتبط با هشیاری عینی در هنگام افزایش فشار خواب، همچون زمان شب و بعدازظهر می‌شود. (۱۰، ۵۷) تحقیق پیش‌رو در زمان صبح انجام شده و داوطلبان با الگوی خواب ـ بیداری منظم هشت‌ساعته و بدون محرومیت از خواب مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ لذا این فاکتورها می‌تواند تفاوت نتایج مطالعهٔ حاضر با پژوهش عسکری‌پور و همکاران را تبیین نماید.

یافته‌های مطالعهٔ میلز و همکاران نشان داد مواجهه با هر دو روشنایی با دمای ۱۷۰۰۰ و ۲۷۰۰ کلوین در مقایسه با دمای رنگ ۴۰۰۰، باعث بهبود سطح سرزندگی، کاهش خواب‌آلودگی و بهبود شاخص‌های بهداشت روانی افراد در طول روز شده است. (۵۸) همچنین نتایج برخی از مطالعات دیگر نشان داد مواجهه با روشنایی با دمای رنگ بالا (۱۷۰۰۰ کلوین) در مقایسه با روشنایی با دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین، منجر به کاهش خواب‌آلودگی و بهبود عملکرد شده است. (۱۸ـ ۱۹، ۲۶) درخور ذکر است که در تمام این تحقیقات، از روشنایی با دمای رنگ بالاتر (۱۷۰۰۰ کلوین) در مقایسه با مطالعهٔ حاضر (۱۲۰۰۰ کلوین) استفاده شده که این فاکتور می‌تواند عدم رسیدن به سطح معناداری آماری وضعیت‌های روشنایی LWL و HWL درمورد افزایش سطح هشیاری عینی (کاهش قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا ـ تتا) را در مقایسه با وضعیت روشنایی SWL تبیین کند. با توجه به مخاطرات احتمالی مواجهه با نور آبی برای شبکیهٔ چشم و تنش

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

اکسیداتیو، استفاده از منابع روشنایی با دمای رنگ بالا همچون ۱۷۰۰۰ کلوین در محیط‌های کاری چندان مناسب به‌نظر نمی‌رسد. (۵۹ـ۶۰). تأکید می‌شود که نتایج شاخص هشیاری ذهنی (نمرات KSS) در مطالعهٔ حاضر دارای روند مشابهی با شاخص ارزیابی عینی سطح هشیاری (سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا ـ تتا) داشته است. لذا این روند ضمن تأیید نتایج شاخص عینی سنجش سطح هشیاری، تأثیر مثبت نسبی وضعیت‌های روشنایی HWL و LWL در مقایسه با وضعیت‌های SWL و DL را به اثبات می‌رساند.

یافته‌های مطالعه نشان داد (نمودارهای ۲ و ۴) که به‌طور کلی وضعیت روشنایی LWL تأثیر نسبتاً بهتری بر کاهش قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا ـ تتا (شاخص هشیاری عینی) در مقایسه با وضعیت‌های روشنایی مورد مطالعه ازجمله وضعیت HWL داشته است. این یافته‌ها هم‌راستا با مطالعهٔ سهین و فیگویرو است که مطابق آن، تأثیر نور قرمز بر کاهش قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا-تتا نسبتاً قوی‌تری از نور آبی بوده است. (۲۳) طبق گزارش برخی پژوهش‌ها، رنگ‌های قرمز، نارنجی و زرد (رنگ‌های گرم) توانایی افزایش احساس هیجان و آئروسل افراد را دارند و این فرایند می‌تواند نمرهٔ بهتر خلق‌وخو (VAMS) به‌دست‌آمده در وضعیت LWL در مقایسه با سایر وضعیت‌های روشنایی و به‌تبع آن تأثیر نسبتاً قوی‌تر این وضعیت روشنایی بر سطح هشیاری عینی را تبیین کند. (۶۱ـ۶۲)

براساس نتایج مطالعهٔ حاضر، روشنایی اثر معناداری بر قدرت‌های سیگنال‌های بتا و تتای نرمالایزشده نداشته است. این یافته‌ها با مطالعهٔ سهین و همکاران مطابقت دارد که گزارش کردند وضعیت‌های روشنایی نمی‌تواند بر فعالیت‌های مغز مرتبط با سیگنال‌های بتا و تتا اثر معناداری داشته باشد. از سوی دیگر، همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، بعضی تحقیقات نشان داده‌اند فعالیت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا ـ تتا به ورودی‌های حسی خارجی، مانند روشنایی، بسیار حساس بوده و پایش این سیگنال‌ها می‌تواند به‌عنوان شاخص مناسبی برای بررسی اثرات روشنایی بر فعالیت سیستم عصبی استفاده شود. (۲۰، ۲۲ـ۲۵)

شواهد عصبی ـ فیزیولوژیکی از یافته‌های مطالعهٔ حاضر درمورد اثربخشی وضعیت‌های LWL و HWL برای بهبود نسبی سطح هشیاری عینی و عملکرد پشتیبانی می‌کند. این شواهد نشان می‌دهد علاوه‌بر سلول‌های مخروطی و میله‌ای چشم، گروه دیگری از سلول‌های گانگلیونی در شبکیه (ipRGCs) وجود دارد که حساسیت بالایی به نور آبی دارد و روشنایی را به‌صورت سیگنال‌های عصبی به مغز ارسال می‌کنند. (۶۳ـ۶۴) این سلول‌ها در ایجاد اثرات غیربینایی روشنایی چون سرکوب ملاتونین، تنظیم ریتم سیرکادین و اثرات نوروفیزیولوژیک روشنایی دخالت دارند. (۶۵ـ۶۶). امروزه به‌خوبی پذیرفته شده که سرکوب هورمون ملاتونین برای تأثیر روشنایی بر سطح هشیاری و عملکرد در زمان شب ضروری است. (۶۷) البته مطالعات اخیر نشان داده در طول روز، میزان ترشح ملاتونین بسیار کم بوده و هشیاری القاشده توسط روشنایی نمی‌تواند به‌طور کامل فقط به مهار شدن هورمون ملاتونین مرتبط باشد (۲۳، ۲۵، ۳۹). برخی مطالعات پیشنهاد می‌کنند روشنایی می‌تواند از طریق آمیگدال و هیپوکامپ موجب تحریک فرایندهای احساسی و عاطفی در بدن شود که می‌تواند منجر به بهبود خلق‌وخو و به‌تبع آن افزایش سطح هشیاری در انسان شود. (۶۸ـ۶۹) همچنین پژوهش‌هایی که اثر قرمز یا روشنایی با دمای رنگ پایین را مورد بررسی قرار داده‌اند، بیان می‌کنند که بهبود سطح هشیاری توسط نور قرمز احتمالاً توسط گیرنده‌هایی دیگری، علاوه‌بر گیرنده‌های شناخته‌شده (سلول‌های گانگلیونی، مخروطی و میله‌ای چشم) ایجاد شود. (۲۳ـ۲۴) به‌طور کلی می‌توان گفت مکانیزم‌های مختلفی برای ایجاد اثرات فیزیولوژیکی و عصبی ـ رفتاری روشنایی وجود دارد که باوجود مطالعات مختلف، تاکنون ناشناخته مانده است. آنچه اهمیت دارد این است که جدا از مکانیزم‌های ایجادکنندهٔ اثرات روشنایی، امروزه تأثیر مثبت روشنایی بر فرایندهایی مانند ریتم بیولوژیک، سطح هشیاری، عملکرد عصبی رفتاری، و خلق‌وخو به‌خوبی پذیرفته شده است.

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد شرکت‌کنندگان به‌طور معناداری وضعیت خلق‌وخوی بهتری (نمودار ۷) در وضعیت LWL در مقایسه با سایر وضعیت‌های روشنایی گزارش کرده‌اند. هم‌راستا با این نتایج، اسمولدرز و همکاران گزارش کرده‌اند که روشنایی با دمای رنگ پایین (۵۰۰ لوکس در سطح کار) در طول روز، تأثیر مثبتی بر وضعیت خلق‌وخوی افراد داشته است. (۳۳) علاوه‌بر این، برخی مطالعات پیشنهاد کرده‌اند مواجهه با روشنایی اشباع از رنگ‌های گرم همچون قرمز، نارنجی و زرد به بهبود آئروسل و وضعیت روحی افراد منجر می‌شود که این

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

فاکتور می‌تواند نتایج این مطالعه را تبیین کند. (۶۱ـ۶۲) به‌طور کلی در پژوهش‌های مختلفی اثبات شده است که روشنایی، به‌عنوان رویکرد کمکی غیردارویی، جهت بهبود وضعیت روحی و حتی درمان افسردگی استفاده می‌شود. (۳۹، ۷۰ـ۷۲)

در تحقیق پیش‌رو، در وضعیت‌های HWL و LWL، زمان عکس‌العمل آزمون‌های عملکرد شناختی برای سنجش ظرفیت مهاری، حافظهٔ کاری، توجه پایدار و توجه انتخابی در مقایسه با وضعیت DL اختلاف معناداری داشته است. همچنین همسو با نتایج داده‌های EEG، هر دو وضعیت روشنایی با دمای رنگ بالا (HWL، ۱۲۰۰۰ کلوین) و دمای رنگ پایین (LWL، ۲۷۰۰ کلوین) عملکرد شناختی را در مقایسه با وضعیت SWL (۴۰۰۰ کلوین) تاحدودی بهبود داده‌اند؛ گرچه این نتایج به حد معناداری از نظر آماری نرسیده است. این مطلب تأییدکنندهٔ تأثیر نسبی روشنایی و دمای رنگ بر فعالیت سیگنال‌های مغزی مرتبط با سطح هشیاری است که به‌صورت موازی اثر آن در تست‌های عملکرد شناختی نیز منعکس شده است. نتایج برخی از مطالعات نشان داده که مواجهه با روشنایی تأثیر مثبتی بر عملکرد شناختی داشته است (۷ـ۸، ۲۶، ۲۹، ۷۳-۷۴). اما در تضاد با نتایج این مطالعات، اسمولدرس و دی کورت گزارش کرده‌اند که میان زمان عکس‌العمل آزمون‌های شناختی مورد بررسی در دمای رنگ ۲۷۰۰ و ۶۰۰۰ کلوین (شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس در سطح کار) تفاوت معناداری وجود نداشته است. (۳۳) همچنین در پژوهش معتمدزاده و همکاران در مقدار زمان عکس‌العمل آزمون‌های عملکرد پیوسته و n-Back میان وضعیت‌های روشنایی ۱۷۰۰۰ و ۴۰۰۰ کلوین تفاوت معناداری مشاهده نگردید. (۱۵) به‌طور کلی مطالعاتی که اثرات روشنایی بر عملکرد شناختی را مورد تحقیق قرار دادند، نتایج متفاوت و در برخی موارد، یافته‌های متضادی را به‌دست آورده‌اند. متغیرهای همچون شرایط هوموستاتیک و فاز شبانه‌روزی (۶۰، ۷۵)، زمان روز، شدت روشنایی مورد استفاده، دشواری وظیفه (۱۱) یا وضعیت روحی شرکت‌کنندگان (۷۶) ممکن است این تضاد در نتایج مطالعات قبلی را تبیین کند.

نتایج پژوهش نشان داد (جدول ۲) که وضعیت‌های روشنایی تأثیر چندانی بر تعداد خطای نرمالایزشده در وظایف عملکرد شناختی مورد بررسی نداشته‌اند. این نتایج همسو با مطالعات قبلی است که براساس آن‌ها، روشنایی اثر کمی بر تعداد خطا در وظایف عملکرد شناختی داشته است. (۱۵، ۲۰، ۲۹، ۷۷)

در مطالعهٔ حاضر، با هدف بررسی اثرات بالقوهٔ احتمالی وضعیت کمّی و کیفی وضعیت‌های روشنایی (دماهای رنگ) بر عملکرد شناختی، ارزیابی ذهنی (توصیفی) افراد شرکت‌کننده در مطالعه، نسبت به وضعیت‌های روشنایی، انجام گردید. به عبارت دیگر، می‌توان گفت موازی با اثرات غیربینایی (غیربصری) روشنایی، ارزیابی ذهنی و دیدگاه افراد درمورد شرایط روشنایی محیط مطالعه نیز می‌تواند بر عملکرد آن‌ها در وظایف عملکرد شناختی دیداری تأثیرگذار باشد؛ یعنی اگر افراد در یک وضعیت روشنایی، آسایش بصری بهتر و آن وضعیت روشنایی را در مقایسه با دیگر وضعیت‌های روشنایی بیشتر ترجیح دهند، این فاکتور می‌تواند بر بهبود عملکرد آن‌ها تأثیر بگذارد. (۳۳) در این مطالعه، با هدف کنترل حداکثری این فاکتورها سعی شد از طراحی یکسانی همچون شدت روشنایی، توزیع روشنایی و درخشندگی بین وضعیت روشنایی مورد بررسی استفاده شودکه نتایج ارزیابی افراد نیز همین مطلب را تأیید می‌کند. به‌طور کلی با جمع‌بندی تمام فاکتورها، به‌ویژه فاکتور دلپذیری، نتایج نشان از ترجیح نسبی وضعیت روشنایی ۲۷۰۰ کلوین در میان شرکت‌کنندگان دارد. لذا تأثیر نسبی این مسئله بر نتایج عملکرد شناختی به‌دست‌آمده در این دمای رنگ باید درنظر گرفته شود.

این پژوهش همانند سایر مطالعات دارای محدویت‌هایی بود. در این مطالعه، ضمن انتخاب داوطلبان با الگوی خواب ـ بیداری منظم برای ورود به پژوهش، افراد در طول مدت تحقیق لاگ بوگ خواب ـ بیداری را تکمیل کردند که نتایج آن گویای رعایت الگوی خواب ـ بیداری منظم توسط افراد مورد مطالعه بوده است. اما از یک روش عینی (برای مثال اکتیگرافی) برای تأیید داده‌های خودگزارشی مذکور استفاده نشد. همچنین در این مطالعه، مدت زمان مواجههٔ افراد با روشنایی نسبتاً کوتاه (حدود ۱۴۰ دقیقه) بوده؛ لذا امکان پیش‌بینی اثرات روشنایی در سایر ساعت‌های روز، براساس نتایج مطالعهٔ حاضر امکان‌پذیر نیست. علاوه‌بر این، فقط شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس و تعداد محدودی از آزمون عملکرد شناختی مورد بررسی قرار گرفته است؛ لذا در مطالعات آتی ارزیابی سایر شدت‌های روشنایی، مجموعهٔ

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

دیگر از آزمون‌های شناختی دیداری و شنیداری و سایر زمان‌های روز پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در شرایط طبیعی (شرکت‌کنندگان سالم و با الگوی خواب ـ بیداری منظم)، در شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس در سطح کار هر دو وضعیت روشنایی با دمای رنگ بالا (HWL، ۱۲۰۰۰ کلوین) و دمای رنگ پایین (LWL، ۲۷۰۰ کلوین) تأثیر مثبتی بر سطح هشیاری ذهنی و عینی و عملکرد عصبی رفتاری در مقایسه با وضعیت SWL (۴۰۰۰ کلوین) داشته است؛ گرچه این تأثیر به حد معنادرای از نظر آماری نرسید. از جمع‌بندی یافته‌ها دریافت می‌شود که علاوه‌بر ترجیح نسبی وضعیت روشنایی LWL توسط افراد، این وضعیت روشنایی اثر قابل توجهی در بهبود وضعیت خلق‌وخوی افراد شرکت‌کننده در مطالعه داشته است. لذا طراحی و استفاده از مداخلات روشنایی با کمک منابع روشنایی دمای رنگ پایین می‌تواند به‌عنوان رویکرد کمکی در کنار سایر راهکارها برای کاهش خستگی، خواب‌آلودگی و بهبود عملکرد و وضعیت خلق‌وخوی در ساعت‌های کاری صبح سودمند باشد. گرچه مطالعات بیشتری برای تعیین پارامترهای بهینهٔ مداخلات روشنایی مورد نیاز است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان به‌سبب حمایت مالی این مطالعه در قالب طرح شمارهٔ ۹۵۰۹۰۹۵۲۲۶ تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

1. Lerman SE, Eskin E, Flower DJ, George EC, Gerson B, Hartenbaum N, et al. Fatigue risk management in the workplace. Int J Occup Environ Med. 2012;54(2):231-58.
2. Williamson A, Lombardi DA, Folkard S, Stutts J, Courtney TK, Connor JL. The link between fatigue and safety. Accid Anal Prev. 2011;43(2):498-515.
3. Rashid M, Zimring C. A review of the empirical literature on the relationships between indoor environment and stress in health care and office settings: Problems and prospects of sharing evidence. Environment and Behavior. 2008;40(2):151-90.
4. Veitch JA, Newsham GR. Determinants of lighting quality I: State of the science. Journal of the Illuminating Engineering Society. 1998;27(1):92-106.
5. Dehghan H. The relationship of sleep quality and mental fatigue in different levels of lighting on attention and reaction time in thermal comfort condition. Iran Occup Health. 2017;14(5):95-84. [In Persian]
6. Veitch JA, Charles KE, Farley KM, Newsham GR. A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings. J. Environ. Psychol. 2007;27(3):177-89.
7. Zhu Y, Yang M, Yao Y, Xiong X, Li X, Zhou G, et al. Effects of Illuminance and Correlated Color Temperature on Daytime Cognitive Performance, Subjective Mood, and Alertness in Healthy Adults. Environment and Behavior. 2017:0013916517738077.
8. Chellappa SL, Steiner R, Blattner P, Oelhafen P, Götz T, Cajochen C. Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert? PloS one. 2011;6(1):e16429.
9. Vandewalle G, Maquet P, Dijk D-J. Light as a modulator of cognitive brain function. Trend Cogn Sci. 2009;13(10):429-38.
10. Chellappa SL, Gordijn MC, Cajochen C. Can light make us bright? Effects of light on cognition and sleep. Prog Brain Res. 190: Elsevier; 2011. p. 119-33.
11. Huiberts LM, Smolders KC, de Kort YA. Non-image forming effects of illuminance level: exploring parallel effects on physiological arousal and task performance. Physiol. Behav. 2016;164:129-39.
12. Barkmann C, Wessolowski N, Schulte-Markwort M. Applicability and efficacy of variable light in schools. Physiol Behav. 2012;105(3):621-7.
13. Van Bommel W, Van den Beld G. Lighting for work: a review of visual and biological effects. Lighting Res Technol. 2004;36(4):255-66.
14. Rahchamani MS, Zakeriyan A, azam k. Comparative Survey on the Effect of Fluorescent Lamps & LED Color Temperature on Staffs Psychologically Indicators at the Office. Iran Occup Health. 2018;15(5):30-7. [In Persian]
15. Motamedzadeh M, Golmohammadi R, Kazemi R, Heidarimoghadam R. The effect of blue-enriched white light on cognitive performances and sleepiness of night-shift workers: A field study. Physiol Behav. 2017;177:208-14.
16. Lockley SW, Evans EE, Scheer FA, Brainard GC, Czeisler CA, Aeschbach D. Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. Sleep. 2006;29(2):161-8.
17. Vandewalle G, Gais S, Schabus M, Balteau E, Carrier J, Darsaud A, et al. Wavelength-dependent modulation of brain responses to a working memory task by daytime light exposure. Cereb Cortex. 2007;17(12):2788-95.
18. Viola AU, James LM, Schlangen LJ, Dijk D-J. Blue-

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. Scand J Work Env Hea. 2008:297-306.
19. Iskra-Golec I, Wazna A, Smith L. Effects of blue-enriched light on the daily course of mood, sleepiness and light perception: A field experiment. Light Res Technol. 2012;44(4):506-13.
20. Baek H, Min B-K. Blue light aids in coping with the post-lunch dip: an EEG study. Ergonomics. 2015;58(5):803-10.
21. Figueiro MG, Bierman A, Plitnick B, Rea MS. Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. BMC Neurosci. 2009;10(1):105.
22. Figueiro MG, Sahin L, Wood B, Plitnick B. Light at night and measures of alertness and performance: implications for shift workers. Biol Res Nurs. 2016;18(1):90-100.
23. Sahin L, Figueiro MG. Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. Physiol. Behav. 2013;116:1-7.
24. Sahin L, Wood BM, Plitnick B, Figueiro MG. Daytime light exposure: Effects on biomarkers, measures of alertness, and performance. Behav Brain Res. 2014;274:176-85.
25. Okamoto Y, Rea MS, Figueiro MG. Temporal dynamics of EEG activity during short-and long-wavelength light exposures in the early morning. BMC Res Notes. 2014;7(1):113.
26. Keis O, Helbig H, Streb J, Hille K. Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance. J Undergrad Neurosci Educ. 2014;3(3):86-92.
27. Buysse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. Psychiatry Res. 1989;28(2):193-213.
28. Moghaddam JF, Nakhaee N, Sheibani V, Garrusi B, Amirkafi A. Reliability and validity of the Persian version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-P). Sleep Breath. 2012;16(1):79-82.
29. Smolders KC, de Kort YA. Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. Environ Psychol. 2014;39:77-91.
30. Horne JA, Östberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. Chronobiol Int. 1976.
31. Rahafar A, Sadeghi JM, Sadeghpour A, MrzaieI S. Surveying psychometric features of Persian version of Morning-Eventide Questionnaire. Clinical Psychologhy & Personality. 2013;20(8):109-122. [In Persian]
32. EN U. Light and lighting. Lighting of work places, Part 1: Indoor work places. 2011.
33. Smolders KC, de Kort YA. Investigating daytime effects of correlated colour temperature on experiences, performance, and arousal. J Environ Psychol. 2017;50:80-93.
34. Glisky EL. Changes in cognitive function in human aging. Brain aging: models, methods, and mechanisms. 2007:3-20.
35. Riccio CA, Reynolds CR, Lowe P, Moore JJ. The continuous performance test: a window on the neural substrates for attention? Arch Clin Neuropsychol. 2002;17(3):235-72.
36. Nomenclature SEP. American Electroencephalographic Society guidelines for standard electrode position nomenclature. J Clin Neurophysiol. 1991;8(2):200-2.
37. Åkerstedt T, Gillberg M. Subjective and objective sleepiness in the active individual. J Neurosci 1990;52(1-2):29-37.
38. Kaida K, Takahashi M, Åkerstedt T, Nakata A, Otsuka Y, Haratani T, et al. Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. Clin Neurophysiol. 2006;117(7):1574-81.
39. Leichtfried V, Mair-Raggautz M, Schaeffer V, Hammerer-Lercher A, Mair G, Bartenbach C, et al. Intense illumination in the morning hours improved mood and alertness but not mental performance. Appl Ergon. 2015;46:54-9.
40. Flynn JE, Spencer TJ, Martyniuk O, Hendrick C. Interim study of procedures for investigating the effect of light on impression and behavior. Journal of the Illuminating Engineering Society. 1973;3(1):87-94.
41. Schulz KP, Fan J, Magidina O, Marks DJ, Hahn B, Halperin JM. Does the emotional go/no-go task really measure behavioral inhibition?: Convergence with measures on a non-emotional analog. Arch Clin Neuropsychol. 2007;22(2):151-60.
42. Wessel JR. Prepotent motor activity and inhibitory control demands in different variants of the go/no-go paradigm. Psychophysiology. 2018;55(3):e12871.
43. Cook MJ. Working memory, age, crew downsizing, system design and training. Univ of Abertay Dundee Scotland (United Kingdom) Centre for Usability Test and Evaluation, 2000.
44. Chen Y-N, Mitra S, Schlaghecken F. Sub-processes of working memory in the N-back task: An investigation using ERPs. Clin Neurophysiol. 2008;119(7):1546-59.
45. Robertson IH, Ward T, Ridgeway V, Nimmo-Smith I. The test of everyday attention (TEA). San Antonio, TX: Psychological Corporation. 1994.
46. Abdi H. The greenhouse-geisser correction. Encyclopedia of research design. 2010;1:544-8.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

homeostasis. J Biol Rhythms. 2011;26(3):249-59.
61. Hanford N, Figueiro M. Light therapy and Alzheimer's disease and related dementia: past, present, and future. J Alzheimers Dis. 2013;33(4):913-22.
62. Danilenko KV, Cajochen C, Wirz-Justice A. Is sleep per se a zeitgeber in humans? J Biol Rhythms. 2003;18(2):170-8.
63. Provencio I, Rodriguez IR, Jiang G, Hayes WP, Moreira EF, Rollag MD. A novel human opsin in the inner retina. J Neurosci. 2000;20(2):600-5.
64. Berson DM, Dunn FA, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Science. 2002;295(5557):1070-3.
65. Hatori M, Panda S. The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light. Trends Mol Med. 2010;16(10):435-46.
66. LeGates TA, Fernandez DC, Hattar S. Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect. Nat Rev Neurosci. 2014;15(7):443.
67. Cajochen C, Munch M, Kobialka S, Krauchi K, Steiner R, Oelhafen P, et al. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. J Clin Endocrinol Metab. 2005;90(3):1311-6.
68. Rautkylä E, Puolakka M, Halonen L. Alerting effects of daytime light exposure–a proposed link between light exposure and brain mechanisms. Light Res Technol. 2012;44(2):238-52.
69. Vandewalle G, Balteau E, Phillips C, Degueldre C, Moreau V, Sterpenich V, et al. Daytime light exposure dynamically enhances brain responses. Curr Biol. 2006;16(16):1616-21.
70. Hoffmann G, Gufler V, Griesmacher A, Bartenbach C, Canazei M, Staggl S, et al. Effects of variable lighting intensities and colour temperatures on sulphatoxymelatonin and subjective mood in an experimental office workplace. Appl Ergon. 2008;39(6):719-28.
71. Figueiro MG, Steverson B, Heerwagen J, Kampschroer K, Hunter CM, Gonzales K, et al. The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers. Sleep Health. 2017;3(3):204-15.
72. Cajochen C, Freyburger M, Basishvili T, Garbazza C, Rudzik F, Renz C, et al. Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance and sleep. Lighting Res. Technol. 2019; 0: 1–19.
73. Smolders K, De Kort Y, Cluitmans P. Higher light intensity induces modulations in brain activity even during regular daytime working hours. Lighting Res. Technol. 2016;48(4):433-48.
74. Ferlazzo F, Piccardi L, Burattini C, Barbalace M, Giannini A, Bisegna F. Effects of new light sources
47. Plitnick B, Figueiro M, Wood B, Rea M. The effects of red and blue light on alertness and mood at night. Light Res Technol. 2010;42(4):449-58.
48. Papamichael C, Skene DJ, Revell VL. Human nonvisual responses to simultaneous presentation of blue and red monochromatic light. J Biol Rhythms. 2012;27(1):70-8.
49. Smolders KC, De Kort YA, Cluitmans P. A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. Physiol Behav. 2012;107(1):7-16.
50. Hubalek S, Brink M, Schierz C. Office workers' daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood. Light Res Technol. 2010;42(1):33-50.
51. Phipps-Nelson J, Redman JR, Dijk D-J, Rajaratnam SM. Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. Sleep. 2003;26(6):695-700.
52. Van Bommel WJ. Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work. Appl Ergon. 2006;37(4):461-6.
53. Rahman SA, Flynn-Evans EE, Aeschbach D, Brainard GC, Czeisler CA, Lockley SW. Diurnal spectral sensitivity of the acute alerting effects of light. Sleep. 2014;37(2):271-81.
54. Askaripoor T, Motamedzadeh M, Golmohammadi R, Farhadian M, Babamiri M, Samavati M. Non-Image Forming Effects of Light on Brainwaves, Autonomic Nervous Activity, Fatigue, and Performance. J Circadian Rhythms. 2018;16.
55. Askaripoor T, Motamedzade M, Golmohammadi R, Farhadian M, Babamiri M, Samavati M. Effects of light intervention on alertness and mental performance during the post-lunch dip: a multi-measure study. Ind Health. 2019;57(4):511-24.
56. Monk TH. The post-lunch dip in performance. Clin Sports Med. 2005;24(2):e15-e23.
57. Dijk D-J, Edgar DM. Circadian and homeostatic control of wakefulness and sleep. Lung biology in health and disease. 1999;133:111-47.
58. Mills PR, Tomkins SC, Schlangen LJ. The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. J circadian rhythms. 2007;5(1):2.
59. Yoshino F, Yoshida A, Okada E, Okada Y, Maehata Y, Miyamoto C, et al. Dental resin curing blue light induced oxidative stress with reactive oxygen species production. J Photochem Photobiol B. 2012;114:73-8.
60. Vandewalle G, Archer SN, Wuillaume C, Balteau E, Degueldre C, Luxen A, et al. Effects of light on cognitive brain responses depend on circadian phase and sleep

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]

on task switching and mental rotation performance. J Environ Psychol. 2014;39:92-100.

75. Gaggioni G, Maquet P, Schmidt C, Dijk D-J, Vandewalle G. Neuroimaging, cognition, light and circadian rhythms. Front Syst Neurosci. 2014;8.

76. Hoyland A, Lawton CL, Dye L. Acute effects of macronutrient manipulations on cognitive test performance in healthy young adults: a systematic research review. Neurosci Biobehav Rev. 2008;32(1):72-85.

77. Huang RH, Lee L, Chiu YA, Sun Y. Effects of correlated color temperature on focused and sustained attention under white LED desk lighting. Color Res Appl. 2015;40(3):281-6

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-19]