Journal of Health and Safety at Work 2021; 11(4): 674-699

ORIGINAL RESEARCH PAPER

The parallel effect of correlated color temperature and illumination level on alertness and cognitive performance: a multi-measure study

Taleb Askaripoor[1], Majid Motamedzade[2,*], Rostam Golmohammadi[3], Mohammad Babamiri[4], Maryam Farhadian[5], Hamed Aghaei[6], Mohammad Ebrahim Ghaffari[7], Elahe Kazemi[8], Mehdi Samavati [9]

[1] PhD., Dep. of Occupational Health and Safety Engineering, Faculty of Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran
[2] Professor, Department of Ergonomics, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[3] Professor, Center of Excellence for Occupational Health, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran
[4] PhD., Department of Ergonomics, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
[5] PhD., Department of Biostatistics, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
[6] PhD., Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran.
[7] PhD., Dental Sciences Research Center, Faculty of Dentistry, Guilan University of Medical Sciences, Rasht, Iran.
[8] M.Sc., Dep. of Occupational Health and Safety Engineering, Faculty of Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran.
[9] PhD., Department of Medical Physics & Biomedical Engineering & Research Center for Biomedical Technologies and Robotics (RCBTR), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2019-03-11 Accepted: 2020-10-27

ABSTRACT

Introduction: Recent evidence indicates that lighting can affect physiological and neurobehavioral human functions, referred to as non-image forming (NIF) effects of lighteffects. This study aimed to determine the effects of illumination levels and correlated color temperature (CCT) on alertness and performance under NIF conditions.

Material and Methods: In this study, 22 participants were exposed to light at various levels of illumination, including very low illuminance (<5 lux, control) and light conditions with correlated color temperatures (CCT) of 4000 K, 8000 K, and 12000 K at 300 and 500 lux. The data collection process included recording the power of brainwaves (alpha, alpha-theta, beta, and theta), sleepiness and mood scales, and cognitive performance tests for sustained attention, psychomotor vigilance task (PVT), working memory, and inhibitory capacity.

Results: The results indicated that 500 lux light conditions at correlated color temperatures of 8000 and 12000K significantly reduced normalized alpha, alpha-theta power, subjective sleepiness, and performance compared to the dim light condition. Under illumination levels of 300 and 500 lux, there were no significant differences in the measured values of the variables.

Conclusion: Lighting interventions can be used as a supplement to other strategies for increasing alertness and performance in the workplace.

Keywords: *Sleepiness, Alertness, Light, Correlated color temperatures, Cognitive performance, Electroencephalography*

* Corresponding Author Email: *motamedzade@yahoo.com*

Copyright © 2021 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

1. INTRODUCTION

Preliminary evidence has shown that in addition to stimulating the visual system, light can influence physiological and neurobehavioral functions such as alertness, mood, and cognitive performance, referred to as non-image forming effects (NIF) or non-visual effects of light.

The current trend in daytime studies evaluating the effect of color temperature and light intensity on neuroendocrine and neurobehavioral functions in individuals without sleep deprivation with a regular sleep pattern has been to use a constant light intensity, such as 500 Lux (at work level), and a maximum of two color temperatures. In comparison, the standard range of light intensity in workplaces, such as offices, is 300–500 lux. Additionally, some studies examined the effect of exposure to high color temperature, white light, and average light intensity in work environments (500 lux) using only subjective criteria. Notably, the Hawthorne effect cannot be ignored in such studies. Furthermore, the effect of light may vary depending on the variable used in the studies. As a result, additional research must be conducted using a combination of objective and subjective evaluation criteria to ascertain the non-visual effects of light. Thus, this study used a multi-criteria approach to examine the effect of color temperature (4000, 8000, and 12000 K) and light intensity (500 and 300 lux) on alertness, mood, and cognitive performance during the day.

2. MATERIALS AND METHODS

The current study enrolled 22 healthy volunteers (male; mean ± SD age: 27.32 ± 3.63 years). Each participant was a non-smoker who had no significant health problems, including physical and mental disorders. Additionally, none of the participants had a family history of eye disease or color blindness. Volunteers with a history of traveling to a different time zone or working shifts in the three months preceding the experiment and those classified as extreme early or extreme late chronotypes using the Munich Chronotype Questionnaire were excluded from the study. Only participants with adequate sleep and a normal sleep-wake cycle were included in the study (bedtimes between 22:00 and 24:00 p.m. and waking up between 07:00 and 08:00 a.m.). The university's ethics committee approved all study procedures, and participants signed informed consent forms prior to the investigation's commencement.

The current study used a repeated-measures design, in which each participant was exposed to counterbalanced lighting conditions with a one-week interval. The study was conducted in an air-conditioned room designed to simulate an office environment. No daylight penetrated the test environment (due to variations of daylight and control of the effect of natural light as a confounding factor).

The present research investigated dim light (<5 lux at eye level from a 3520 K fluorescent lamp used as a control), light conditions with a color temperature of 4000 K, 8000 K, and 12000 K in terms of light intensity, and 300 and 500 lux at the work area level. It is critical to note that the light settings (300 and 500 lux) were chosen in accordance with daytime office norms.

Participants were asked to report the experimental environment at 7:45 a.m. on each study day. To ensure that prior exposure to light was controlled and that all participants experienced the same states, they completed the preparation period (<5 lux at eye level from a 3520 K fluorescent lamp) for approximately 45 minutes upon arrival. The volunteers received instructions and were fitted with electroencephalogram (EEG) electrodes during this period. EEG data were collected from the Z-line on the participants' scalps at Oz, Pz, Cz, and Fz using an EEG analyzer (Encephalon131-03, Medicom MTD, Russia). The data collection process began at 8:30 a.m. and lasted approximately 130 minutes. Each session consisted of seven repeated trials that included a continuous performance test (CPT) and a three-minute EEG. At intervals between EEG measurements, participants rated their mood using the visual analog mood scale (VAMS) and their sleepiness using the Karolinska sleepiness scale (KSS). Following the removal of the EEG electrodes, data were collected on a psychomotor vigilance task (PVT), working memory (2-back), and inhibitory capacity (Go/No-Go).

Data were analyzed using repeated-measures analyses of variance (ANOVA). The Greenhouse–Geisser adjustment was used when necessary. Additional comparisons were made using two-tailed paired Student t-tests with Bonferroni correction (as appropriate). The data were analyzed using IBM's SPSS software, version 20.0 (Armonk, NY, USA), with a p-value of < 0.05 considered statistically significant.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of two-tailed paired student's t-tests with Bonferroni correction indicated that alpha and alpha-theta had significantly less power in the 500 lux-8000 K and 500 lux-12000 K light conditions than in the dim light condition. The remaining comparisons revealed no statistically significant differences (Figs. 1 and 2). These findings corroborate previous research indicating that monochromatic blue light or blue-enriched white light can improve alertness. Notably, the strength of alpha and alpha-theta brain waves correlates negatively with the degree of objective

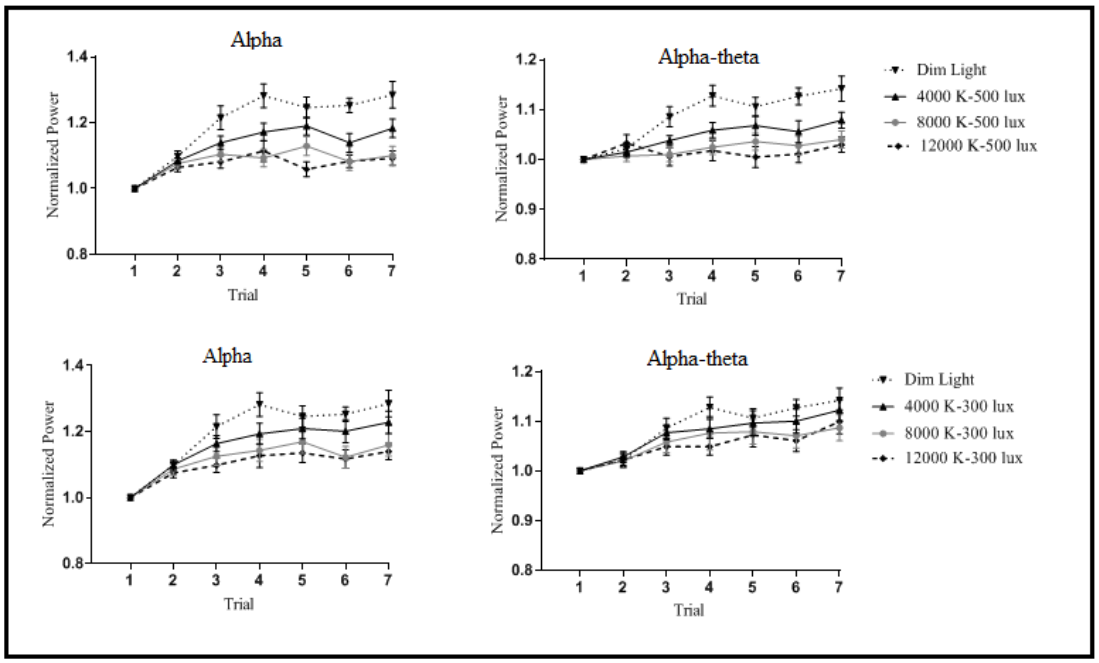


Fig. 1. Mean ± SE of the normalized Alpha and Alpha-theta power during each trial (time interval)

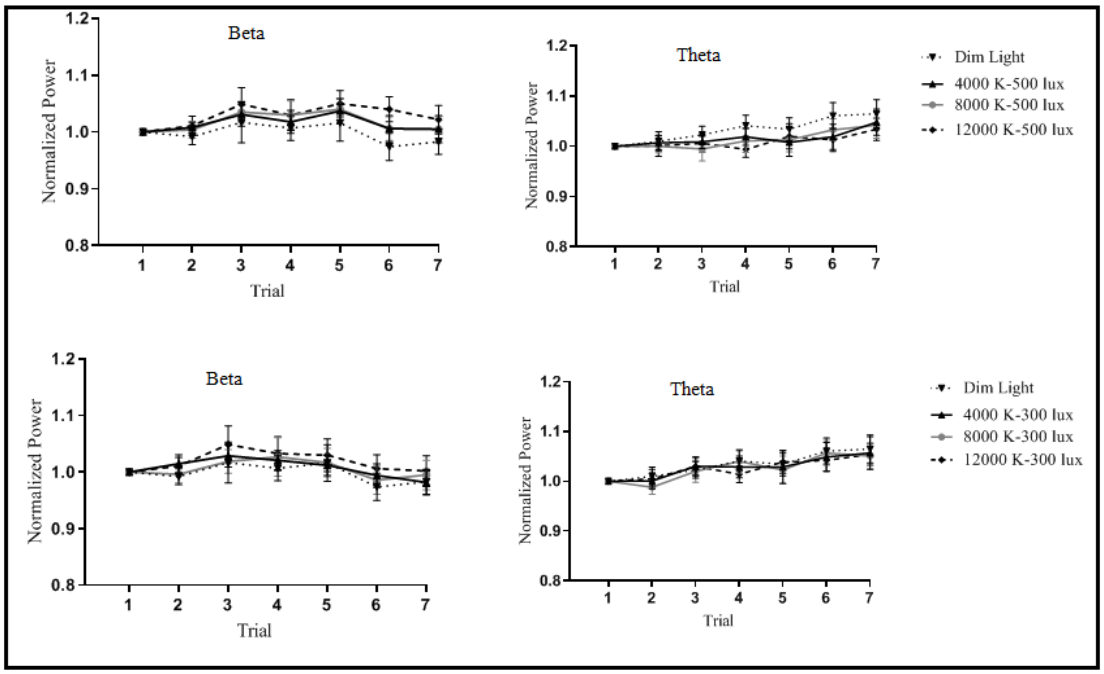


Fig. 2. Mean ± SE of the normalized Beta and Theta power during each trial (time interval)

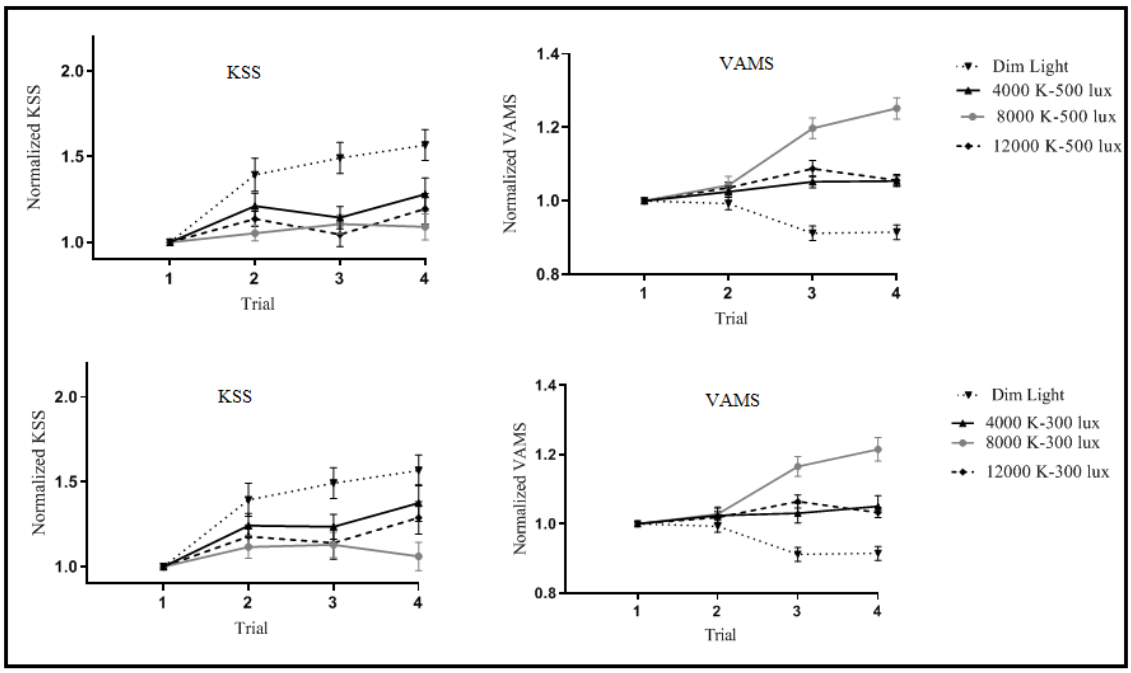


Fig. 3. Mean ± SE of normalized subjective sleepiness and mood during each trial (time interval)

Table 1. Mean ± SE of the normalized mean reaction time of cognitive performance tests, including PVT, GO/NO-GO, and 2-Back

Light condition	300 lux	500 lux
	PVT	
4000 K	420.115±13.787	419.373±13.749
8000 K	415.135±12.483	414.322±13.09
12000 K	416.851±13.055	415.93±13.446
Dim light *	425.867±13.036	
	GO/NO-GO	
4000 K	308.437±12.833	306.796±12.22
8000 K	302.19±13.754	300.177±12.623
12000 K	304.866±12.713	302.917±12.294
Dim light	325.163±15.555	
	n-back	
4000 K	387.096±30.623	383.889±29.264
8000 K	384.73±30.525	374.61±28.419
12000 K	381.585±29.664	377.521±29.193
Dim light	390.852±30.244	

* Dim light (< 5 lux at eye level from a 3520 K fluorescent lamp - control)

alertness induced by light. In other words, a decrease in the strength of these brain waves indicates an increase in alertness. Moreover, neurophysiological signs corroborate the present study's findings. Apart from cones and rods, intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs) are a novel type of photoreceptor in the retina that converts light to neural signals for transmission to the brain. These cells are sensitive to blue light, revealing the non-visual effects of light on melatonin suppression, circadian system adjustment, and neuroendocrine and neurobehavioral functions such as alertness and performance enhancement.

The results indicated that participants reported feeling significantly less sleepy in the 500 lux -8000 K ($p = 0.004$) and 500 lux-12000 K ($p = 0.003$) light conditions when compared to the dim light condition. Furthermore, the findings indicated that

volunteers reported a better mood in the 8000 K-500 lux light condition than the 12000 K-300 lux and 4000 K-300 lux light conditions (p = 0.001) (Fig. 3).

The results indicated no significant difference in alpha, alpha-theta, beta, and theta brainwaves, the Karolinska sleepiness scale (KSS), or cognitive performance tests such as PVT, GO/NO-GO, n-Back, and CPT between 300 and 500 lux light intensity. Nonetheless, the overall trend indicates that 500 lux light intensity has a more positive effect on the measured variables, but this difference is not statistically significant (Table 1). These findings corroborate previous research and indicate that color temperature and light intensity interact with the non-visual effects of light in humans. In other words, both light intensity and color temperature can influence alertness, cognitive performance, and neurobehavioral function simultaneously.

4. CONCLUSIONS

There was no significant difference in the effect of 300 and 500 lux light intensity at 4000, 8000, and 12000 K color temperatures on alpha, theta, alpha-theta, and beta brainwaves, sleepiness, and cognitive performance under normal conditions (healthy individuals with a regular 8-hour sleep-wake pattern), except for mood. Nevertheless, the overall trend indicates that 500 lux light intensity has a more beneficial effect on the variables studied. According to the study's findings, there was no significant difference in alertness or cognitive performance between 8000 and 12000 K light conditions. However, given the positive effect of 8000 K light on the mood, it can be concluded that using this light condition is a more effective way to achieve the non-visual benefits of light in the workplace or home environment. However, additional research is required in this area.

5. ACKNOWLEDGMENT

The study was funded by Hamadan University of Medical Sciences.

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۱/ شماره ۴/ زمستان ۱۴۰۰ صفحات ۶۷۴-۶۹۹

اثر موازی دمای رنگ و شدت روشنایی بر سطح هوشیاری و عملکرد شناختی: یک مطالعه با رویکرد چند معیاره

طالب عسکری پور[۱]، مجید معتمد زاده[۲*]، رستم گلمحمدی[۳]، محمد بابامیری[۴]، مریم فرهادیان[۵]، حامد آقائی[۶]، محمدابراهیم غفاری[۷]، الهه کاظمی[۱]، مهدی سماواتی[۸]

[۱] گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

[۲] گروه ارگونومی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

[۳] قطب علمی و آموزشی مهندسی بهداشت حرفه‌ی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۴] گروه ارگونومی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۵] گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۶] گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

[۷] مرکز تحقیقات علوم دندانپزشکی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران

[۸] گروه فیزیک و مهندسی پزشکی، مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های بیومدیکال و رباتیک، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۶

چکیده

مقدمه: شواهد تجربی اخیر تائید کرده است که روشنایی علاوه بر تسهیل دید، می‌تواند بر عملکردهای فیزیولوژیکی و عصبی-رفتاری انسان تأثیر بگذارد که به‌عنوان اثرات غیر تصویری روشنایی شناخته می‌شوند. این مطالعه، باهدف بررسی اثرات غیر تصویری شدت روشنایی و دمای رنگ‌بر سطح هوشیاری و عملکرد شناختی انجام گردید.

روش کار: در این مطالعه ۲۲ شرکت‌کننده در مواجهه با روشنایی شامل روشنایی خیلی کم (<۵ لوکس-کنترل) و وضعیت‌های روشنایی با دمای رنگ ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ کلوین درشدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس قرار گرفتند. ضمن استفاده از یک رویکرد چند معیاره، داده‌هایی شامل قدرت سیگنال‌های مغزی (آلفا، الفا-تتا، بتا و تتا)، شاخص‌های خواب‌آلودگی و خلق‌وخوی و آزمون‌های شناختی برای سنجش توجه پایدار، هوشیاری روانی – حرکتی، حافظه کاری و ظرفیت مهاری، جمع‌آوری گردید.

یافته ها: نتایج مطالعه نشان داد که وضعیت‌های روشنایی ۵۰۰ لوکس در دمای رنگ ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ کلوین، قدرت سیگنال‌های مغزی نرمالایز شده آلفا، آلفا-تتا، شاخص خواب‌آلودگی و میانگین زمان پاسخ در آزمون‌های شناختی سنجش هوشیاری روانی- حرکتی (PVT)، توجه پایدار (CPT) و ظرفیت مهاری (GO/NO-GO) را به‌صورت معنی داری، در مقایسه با وضعیت روشنایی خیلی کم (کنترل) کاهش داده‌اند. شرکت‌کنندگان وضعیت خلق‌وخوی بهتری در وضعیت روشنایی ۸۰۰۰ کلوین در مقایسه با سایر وضعیت‌های روشنایی گزارش کرده‌اند. همچنین در مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهای موردبررسی، درشدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس، تفاوت معنی داری مشاهده نگردید.

نتیجه گیری: استفاده از مداخلات روشنایی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار کمکی، برای بهبود سطح هوشیاری و عملکرد باهدف ارتقاء سطح سلامت عمومی و ایمنی، افزایش کارایی و بهره‌وری استفاده شود.

کلمات کلیدی: *خواب‌آلودگی، هوشیاری، روشنایی، دمای رنگ، عملکرد شناختی، الکتروانسفالوگرافی*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *motamedzade@yahoo.com*

مقدمه

امروزه، روند صنعتی شدن باعث شده که بخش قابل‌توجهی از جمعیت جهان، بیشترین زمان فعالیت خود را در محیط‌های سرپوشیده چون دفاتر اداری‌پچی و در مواجهه با تابش سطح مشخصی از روشنایی مصنوعی سپری کنند (۱). شواهد تجربی تأیید کرده است که روشنایی علاوه بر تأثیر بر سیستم دیداری انسان، می‌تواند بر عملکرد فیزیولوژیکی، عصبی-رفتاری، سطح هوشیاری و وضعیت خلق‌وخوی انسان تأثیر بگذارد که به‌عنوان اثرات غیر تصویری (NIF) یا غیر بینایی نور[1]شناخته می‌شود (۲-۸). لذا انتخاب بهینه یک سیستم روشنایی در محیط‌های کاری با در نظر گرفتن اثرات بینایی و غیر بینایی، می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش سطح خواب‌آلودگی، افزایش سطح هوشیاری، بهبود کارایی و عملکرد شناختی، بهبود وضعیت خلق‌وخوی، کاهش خطاهای کاری و به‌تبع آن کاهش حوادث و بهبود ایمنی شود (۹-۱۳).

برخی شواهد نشان داده است که مواجهه با نور تک‌رنگ آبی یا روشنایی سفید با دمای رنگ بالا (غنی از نور آبی)[2] می‌تواند باعث بهبود سطح هوشیاری، عملکرد شناختی و شاخص‌های روانی و فیزیولوژیک در انسان شود (۱۲, ۱۴-۲۱). گرچه به علت رنگ‌پذیری نور تک‌رنگ آبی و عدم امکان استفاده از آن در محیط‌های کاری، راه‌کار واقع‌بینانه برای دستیابی به اثرات مثبت روشنایی بر عملکرد فیزیولوژیکی و روانی، استفاده از روشنایی سفید با دمای رنگ بالا است. افزایش نسبت تابش‌های موج‌کوتاه (نور آبی) در نورتابشی منابع روشنایی منجر به افزایش دمای رنگ‌شده که به روشنایی سفید با دمای رنگ بالا، سرد یا روشنایی غنی از نور آبی شناخته می‌شود (۱۲, ۱۸, ۲۲). گرچه باید اشاره شود که در کنار دمای رنگ، اثرات روشنایی، وابسته به فاکتورهایی چون شدت روشنایی، مدت مواجهه و زمان مواجهه می‌باشد (۱۱, ۲۳-۲۵). البته در رابطه با ادراک انسان، شدت روشنایی و دمای رنگ، به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورها، شناخته می‌شوند (۹, ۱۰, ۲۶, ۲۷).

روند فعلی مورداستفاده در پژوهش‌های انجام‌شده در طول روز برای ارزیابی اثر دمای رنگ و شدت روشنایی بر عملکردهای فیزیولوژیکی و عصبی-رفتاری در افراد بدون محرومیت از خواب و دارای الگوی خواب منظم که بخش زیادی از جمعیت کاری را شامل می‌شود، به‌صورت بررسی تأثیر دمای رنگ در یک شدت روشنایی ثابت چون ۵۰۰ لوکس در سطح کار و حداکثر دو دمای رنگ می‌باشد (۲۸, ۲۹). درحالی‌که محدوده استاندارد شدت روشنایی در محیط‌های کاری چون محیط‌های اداری در بازه ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس قرار دارد (۲۷, ۳۰, ۳۱). همچنین در برخی مطالعات انجام‌شده در جهت بررسی اثر مواجهه با روشنایی سفید با دمای رنگ بالا و شدت روشنایی معمول در محیط‌های کاری (۵۰۰ لوکس)، فقط از معیارهای ذهنی استفاده‌شده که در این‌گونه مطالعات، نقش احتمالی اثر هاثورن بر نتایج را نمی‌توان نادیده گرفت (۱۲, ۱۸, ۲۸, ۳۲). همچنین، در برخی مطالعات، تأثیر دمای رنگ درشدت روشنایی خیلی کم (کمتر از ۴۰ لوکس) بر سطح هوشیاری و عملکرد شناختی موردبررسی قرارگرفته است. درحالی‌که در زندگی و محیط کار واقعی از شدت روشنایی بالاتر (۵۰۰ تا ۳۰۰ لوکس) استفاده می‌شود (۵, ۱۴). علاوه براین، با توجه اینکه تأثیر روشنایی ممکن است وابسته به نوع متغیر مورداستفاده در مطالعات باشد (۲۹)، لذا انجام مطالعات دیگر در زمینه بررسی اثرات فاکتورهای مرتبط با روشنایی چون شدت روشنایی و دمای رنگ با استفاده از تعداد حداکثری فاکتورهای سنجش اثرات و استفاده تلفیقی از معیارهای عینی (مانند ثبت فعالیت‌های عصبی مغز و آزمون‌های عملکرد شناختی) و معیارهای ذهنی (شاخص های خود گزارشی و پرسشنامه) در طول روز، جهت دستیابی به یک رویکرد دقیق و قابل‌قبول، جهت تعیین اثرات غیر تصویری روشنایی چون افزایش سطح هوشیاری عینی و بهبود عملکرد شناختی ضروری می‌باشد. لذا این مطالعه باهدف بررسی اثر دمای رنگ (۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ کلوین) و شدت روشنایی (۵۰۰ و ۳۰۰ لوکس) بر

1 - Non-image forming (NIF) effects of light or non- visual effects of light
2 - High correlated color temperature (high CCT), blue enriched white light

سطح هوشیاری و عملکرد شناختی در طول روز و با استفاده از یک رویکرد چند معیاره انجام گردید.

روش کار

شرکت‌کنندگان

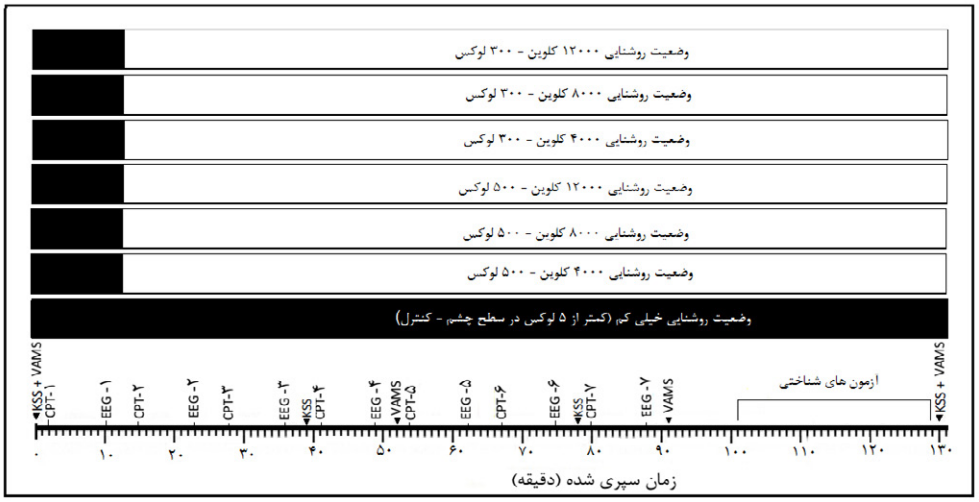
در این مطالعه،۲۲ نفر (مرد) با میانگین و انحراف معیار سن ۳/۶۳ ±۲۷/۳۲سال از طریق درج آگهی در فضای مجازی و نصب اعلامیه انتخاب شدند. همه داوطلبان بالقوه، قبل از انتخاب برای ورود به مطالعه، در مورد کیفیت خواب، شیوه زندگی و سلامت عمومی موردبررسی و مصاحبه قرارگرفته و افراد با شرایط زیر انتخاب و وارد مطالعه شدند: داشتن سلامت کامل جسمی و روانی، نداشتن درمان دارویی و عدم استفاده از داروهای خواب‌آور، عدم مصرف سیگار و مشروبات الکلی، داشتن کیفیت و مقدار خواب مناسب با توجه به نسخه فارسی شاخص کیفیت خواب پیتزبورگ (۳۳)، داشتن الگوی خواب‌وبیداری منظم (خوابیدن در ساعت ۲۲:۰۰ تا ۲۴:۰۰ و بیدار شدن در ساعت ۰۷:۰۰ تا ۰۸:۰۰)، عدم داشتن تیپ کرونوتایپ صبح گرایی و شب گرایی قطعی بر اساس نسخه فارسی پرسشنامه MEQ (۳۴, ۳۵)، عدم مسافرت به منطقه زمانی متفاوت در سه ماه گذشته، شاخص توده بدنی زیر ۳۰، عدم نوبت‌کاری در سه ماه گذشته، عدم داشتن بیماری چشمی و اختلال کوررنگی طبق آزمونه ایشیهارا و داشتن حدت بینایی نرمال. علاوه بر این، برای کنترل اثر احتمالی اختلاف در سطح هوشیاری و خستگی به علت فشار خواب و ریتم سیرکادین بین افراد شرکت‌کننده، از کلیه افراد خواسته شد علاوه بر رعایت الگوی بیداری–خواب منظم مطرح‌شده به‌عنوان معیار ورود، زمان خواب- بیداری خویش را از یک هفته قبل از شروع مطالعه تا اتمام انجام مطالعه در یک لاگ بوک (log book) یادداشت نمایند. همچنین از کلیه شرکت‌کنندگان خواسته شد از ۱۲ ساعت قبل از روز شرکت در آزمایش، از مصرف مشروبات الکلی و کافئین اجتناب نمایند. ضمن شرح پروتکل مطالعه برای همه افراد شرکت کننده قبل از شروع مطالعه، تمامی افراد فرم رضایت آگاهانه را امضاء نموده، پروتکل مطالعه طی کد اخلاق IR.UMSHA.REC.1395.370 به تائید کمیته اخلاق دانشگاه رسید.

طراحی و روش مطالعه

مطالعه حاضر دارای یک طرح با اندازه‌گیری تکراری[3] است و هر شرکت‌کننده در یک الگوی متوازن[4] در مواجهه با وضعیت‌های روشنایی در فاصله زمانی یک‌هفته‌ای قرار گرفت. هدف از فاصله یک‌هفته‌ای بین دو آزمایش، اطمینان از حذف اثر روشنایی در مواجهه قبلی می‌باشد (۱۴, ۳۶). این مطالعه در یک محیط آزمایشگاهی (شبیه‌سازی یک محیط اداری) بدون پنجره (به علت نوسان نور روز و کنترل اثر نور طبیعی به‌عنوان عامل مخدوش گر) با دیوارهای روشن (ضریب بازتابش ۰/۵) انجام گردید. وضعیت‌های روشنایی موردبررسی در مطالعه حاضر شامل، روشنایی خیلی کم (کمتر از ۵ لوکس در سطح چشم از یک لامپ فلورسنت فشرده با دمای رنگ ۳۵۲۰ کلوین- وضعیت کنترل)[5] و وضعیت‌های روشنایی با دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین، ۸۰۰۰ کلوین و ۱۲۰۰۰ کلوین در دو شدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس در سطح میز کار می‌باشد. شدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس مطابق با محدوده معمول در محیط‌های کاری اداری انتخاب گردید (۲۷, ۳۰, ۳۷, ۳۸). تأکید می‌گردد انتخاب دمای رنگ ۳۵۲۰ کلوین، به‌عنوان کنترل، باهدف انتخاب دمای رنگ خارج از دماهای رنگ موردبررسی بوده است. همچنین این دمای رنگ، نیز در تعدادی از مطالعات مشابه، به‌عنوان کنترل استفاده‌شده است (۳۹, ۴۰).

در هرروز مطالعه، از شرکت‌کنندگان خواسته شد که در ساعت ۷:۴۵ به محیط آزمایش مراجعه کنند. افراد به‌محض ورود، جهت کنترل مواجهه قبلی با روشنایی و ایجاد شرایط یکسان برای تمام شرکت‌کنندگان (۳۹-۴۲) در طول زمان انجام مطالعه، یک دوره آماده‌سازی (حدود ۴۵ دقیقه) در اتاق کم‌نور (کمتر از ۵ لوکس در سطح چشم از یک لامپ فلورسنت فشرده با دمای رنگ ۳۵۲۰ کلوین) را سپری کردند. در طول این دوره شرکت‌کنندگان

3 - A repeated-measures design
4 - A counterbalanced order
5 - Dim light con - control



شکل ۱. پروتکل مطالعه، شامل آزمون عملکرد پیوسته (CPT)، الکتروانسفالوگرافی (EEG)، شاخص خواب‌آلودگی (KSS)، آزمون‌های عملکرد شناختی (Go/ No-Go، n-Back و PVT)

ضمن دریافت دستورالعمل انجام مطالعه، الکترودهای الکتروانسفالوگرافی (EEG) به آن‌ها وصل گردید. در این مطالعه، سیگنال‌های مغزی با استفاده از الکترودهای نقره-کلرید نقره و از طریق خط Z و کانال‌های Oz، Pz، Cz و Fz، مطابق با سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ ثبت گردید. نحوه اتصال الکترودها در تمام وضعیت‌های روشنایی یکسان بوده که جزئیات آن در بخش الکتروانسفالوگرافی (EEG) آمده است. جمع‌آوری داده‌ها از ساعت ۸:۳۰ شروع و به مدت تقریبی ۱۳۰ دقیقه، طول کشید. در هر جلسه، هفت سری اندازه‌گیری مکرر، شامل انجام آزمون عملکرد پیوسته (~ ۸ دقیقه) و EEG (۳ دقیقه) ثبت شد. در ادامه، بعد از اتمام ۷ سری اندازه‌گیری، الکترودهای مربوطه از افراد جداشده، آزمون‌های شناختی شامل آزمون PVT، Go/ No-Go و n-Back به ترتیب ذکرشده، توسط شرکت‌کنندگان انجام گردید. قابل‌ذکر است که شاخص خواب‌آلودگی(KSS) و خلق‌وخوی (VAMS) در فواصل زمانی بین اندازه‌گیریEEG (در فواصل زمانی ذکرشده در شکل۱) توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شد. پروتکل مطالعه در شکل۱ نمایش داده‌شده است. باهدف شبیه‌سازی حداکثری مطالعه حاضر، به محیط کار واقعی و ازآنجایی‌که که عمده فعالیت‌های روزمره ازجمله فعالیت‌های اداری معمولاً مستلزم هوشیاری مستمر با حداقل تلاش ذهنی برای هوشیار ماندن است، لذا برای ایجاد یک وضعیت واقع‌بینانه و نزدیک به محیط کار واقعی، یک وظیفه شناختی توجه پایدار با حداقل تلاش ذهنی لازم (آزمون عملکرد پیوسته) توسط شرکت‌کنندگان انجام گردید. لذا می‌توان گفت که وضعیت ذهنی شرکت‌کنندگان در مطالعه، تا حد زیادی مشابه زمانی شد که این افراد در محیط کار واقعی، چون محیط اداری فعالیت می‌کردند (۱۴).

آزمون عملکرد پیوسته (CPT)

آزمون دیداری عملکرد پیوسته، یک آزمون رایج کامپیوتری استاندارد است که برای ارزیابی توجه پایدار در طول زمان، استفاده می‌شود (۴۳). در این آزمون، محرک‌های دیداری (اعداد تک بین صفرتا نه) بر روی یک صفحه‌نمایش لپ‌تاپ، بافاصله زمانی۱۰۰۰ میلی‌ثانیه بین محرک‌های متوالی نمایش داده می‌شود. افراد موردمطالعه، آموزش داده شدند که در زمان نمایش محرک هدف (عدد ۴)، دکمه "space" صفحه‌کلید را با سرعت حداکثری فشار دهند. قابل‌ذکر است باهدف برای به حداقل رساندن تفاوت در فاکتور یادگیری بین شرکت‌کنندگان در این آزمون و

سایر آزمون‌های شناختی، شرکت‌کنندگان، یک روز قبل از آزمایش، یک سری آزمون‌های تمرینی تا اطمینان از فراگیری کامل آزمون‌ها انجام دادند. روایی و پایایی قابل قبولی برای این آزمون در مطالعات قبلی گزارش‌شده است (۴۴). برای امکان مقایسه نتایج این آزمون در وضعیت‌های روشنایی مختلف، مقادیر به‌دست‌آمده در هر فاصله زمانی اندازه‌گیری (تریال[6])، نسبت به مقدار ثبت‌شده در مدت روشنایی خیلی کم ابتدای آزمایش (CPT-۱) نرمالایز[7] گردید (۱۴, ۴۰, ۴۲). در طی تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، میانگین زمان پاسخ (RT) پاسخ‌های درست و تعداد خطای نرمالایز شده به‌عنوان متغیر وابسته مورداستفاده قرار گرفت.

آزمون PVT

در این مطالعه برای اندازه‌گیری زمان پاسخ از آزمون PVT (۷ دقیقه) استفاده شد. این آزمون متشکل از دایره‌های قرمزرنگی است که بر روی صفحه نمایشگر به‌صورت تصادفی با فواصل زمانی توزیع‌شده، نمایش داده می‌شد. به شرکت‌کنندگان آموزش داده شد تا به‌محض مشاهده محرک هدف، به‌وسیله دست غالب خود، کلید "space" را روی صفحه‌کلید در سریع‌ترین زمان ممکن فشار دهند. در این نرم‌افزار، چنانچه پاسخی طی ۱۷۵۰ میلی‌ثانیه توسط افراد داده نشود، فاصله زمانی جدید آغاز می‌گردد و اگر شرکت‌کننده کلید را قبل و یا بعد از ۱۲۰ میلی‌ثانیه از ارائه محرک فشار می‌داد، پاسخ مربوطه، حذف و سیگنال هشدار به صدا درمی‌آمد. این آزمون برای اندازه‌گیری عملکرد، خواب‌آلودگی و خستگی در مطالعات قبلی، اعتباربخشی شده است (۴۵).

آزمون GO/NO-GO (برو - نرو)

برای ارزیابی تأثیر روشنایی بر ظرفیت مهاری[8]، از آزمون ۳ دقیقه‌ای GO/NO-GO (برو - نرو) استفاده شد (۴۶). در طی این آزمون، درمجموع ۱۲۰ جفت مربع (زرد و سفید و یا سفید و آبی)، به‌صورت تصادفی بر روی صفحه‌نمایش لپ‌تاپ برای مدت ۲۰۰ میلی‌ثانیه (ms) و بافاصله ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه نمایش داده می‌شود. از افراد شرکت‌کننده خواسته شد که جفت مربع‌های نمایش شده را مقایسه کنند: اگر جفت مربع‌های سفید و آبی نمایش داده شود و مربع آبی در سمت راست قرارگرفته باشد، افراد باید دکمه "؟" روی صفحه‌کلید را فشار دهند و در صورت قرار گرفتن مربع آبی در سمت چپ، دکمه Z را ، با سرعت حداکثری فشار دهند. علاوه بر این، اگر جفت مربع زرد و سفید نمایش شد، شرکت‌کنندگان نباید هیچ‌گونه واکنشی داشته باشند. مطالعات قبلی نشان داد که این آزمون نتیجه قابل قبولی در ارزیابی ظرفیت مهاری سیستم عصبی داشته است (۴۷).

آزمون n-back (حافظه کاری)

در این مطالعه برای ارزیابی حافظه کاری، از وظیفه شناختی ۲-back دیداری ۴ دقیقه‌ای استفاده شد (۴۸). بر اساس مطالعات انجام‌شده، روایی و پایایی قابل قبولی برای این آزمون در سنجش عملکرد حافظه کاری گزارش‌شده است (۴۹, ۵۰). در این آزمون، درمجموع ۱۲۰ محرک (اعداد یک تا ۹) یکی پس از دیگری بافاصله زمانی ۱۵۰۰ میلی‌ثانیه در مرکز صفحه‌نمایش لپ‌تاپ ظاهر می‌شود. شرکت‌کنندگان می‌بایست آخرین عدد ظاهرشده را با ۲ عدد قبل از خودش مقایسه نموده، درصورتی‌که اعداد مورد مقایسه یکسان بودند، می‌بایست هر چه سریع‌تر دکمه «؟» را بر روی صفحه‌کلید فشار دهند. همچنین در صورت متفاوت بودن، دکمه "z" را فشار دهند. برای به حداقل رساندن تأثیرات ناخواسته تفاوت‌های فردی در نتایج آزمون‌های شناختی (PVT، Go/No-Go و n-Back)، نسبت میانگین داده‌های خام هر یک از شرکت‌کنندگان به میانگین همه شرکت‌کنندگان به‌عنوان ضریب برای به تبدیل داده‌های خام (نرمالایز کردن) هر شرکت‌کننده در هریک از آزمون‌ها استفاده گردید (۳۹, ۴۰). لذا میانگین زمان پاسخ و تعداد خطای نرمالایز شده به‌عنوان متغیر وابسته در آزمون‌های PVT، Go/No-Go و n-Back استفاده گردید. کلیه آزمون‌های عملکرد

6 - Trial
7 - Normalized
8 - Inhibitory capacity

شناختی مورداستفاده در مطالعه حاضر، ساخت موسسه تحقیقات علوم رفتاری شناختی سینا بوده، روایی و پایایی آن به تائید رسیده است.

شاخص خواب‌آلودگی (هوشیاری ذهنی) کارولنیسکا

در این مطالعه برای سنجش سطح خواب‌آلودگی (سطح هوشیاری ذهنی) از شاخص خواب‌آلودگی کارولنیسکا (KSS) استفاده گردید. شاخص KSS حاوی ۹ معیار نقطه‌ای است شامل: ۱= فوق‌العاده هوشیار ۲= خیلی هوشیار ۳= هوشیار ۴= نسبتاً هوشیار ۵= نه هوشیار و نه خواب‌آلوده ۶ = یک مقدار علائم از خواب‌آلودگی ۷= احساس خواب‌آلودگی بدون نیاز به تلاش جهت بیدار ماندن ۸= احساس خواب‌آلودگی با مقداری تلاش جهت بیدار ماندن و ۹= احساس خواب‌آلودگی با تلاش زیاد جهت بیدار ماندن می‌باشد. روایی و پایایی این شاخص در مطالعات پیشین مورد تائید قرارگرفته است (۵۱, ۵۲).

شاخص آنالوگ بصری برای سنجش خلق‌وخوی

برای بررسی تأثیر روشنایی بر وضعیت خلق‌وخوی، از شاخص ۱۱ نقطه‌ای آنالوگ بصری برای سنجش خلق‌وخوی (VAMS[9]) استفاده شد. در این شاخص نمره "صفر" برای خلق‌وخوی بسیار بد و نمره "۱۰۰" برای خلق‌وخوی بسیار خوب استفاده‌شده است (۵۳). برای امکان مقایسه نتایج KSS و VAMS در وضعیت‌های روشنایی مختلف، مقادیر به‌دست‌آمده در هر فاصله زمانی اندازه‌گیری (تریال)، نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده در مدت روشنایی خیلی کم ابتدای آزمایش نرمالایز گردید (۴۰, ۴۲).

الکتروانسفالوگرافی (EEG)

در مطالعه حاضر، داده‌های EEG، از طریق خط Z و کانال‌های Oz، Pz، Cz و Fz، مطابق با سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ ثبت گردید (۵۴). شواهد متعددی نشان می‌دهد که سیگنال‌های مغزی ثبت‌شده از کانال‌های خط Z پوست فرق سر[10]، شاخص مناسبی جهت سنجش سطح هوشیاری القاء شده توسط روشنایی است که در مطالعات متعددی مورداستفاده قرارگرفته است (۱۴, ۳۹, ۴۰, ۴۲, ۵۵-۵۷). تأکید می‌گردد که در مطالعه حاضر، از داده‌های EEG فقط جهت سنجش سطح هوشیاری القاء شده توسط روشنایی استفاده‌شده، جهت ارزیابی اثر روشنایی بر عملکرد شناختی، از آزمون‌های n-back (حافظه کاری)، آزمون GO/NO-GO (برو – نرو)، PVT و آزمون عملکرد پیوسته (CPT) استفاده گردید که در بخش‌های ۲-۳ تا ۲-۶ شرح داده‌شده است. برای ثبت سیگنال‌های مغزی از یک دستگاه الکتروانسفالوگرام با الکترودهای نقره-کلرید نقره مدل (Encephalon 131-03، Medicom MTD) ساخت کشور روسیه استفاده گردید. الکترودهای مرجع بر گوش‌های چپ و راست (A1 و A2) و یک الکترود اتصال زمین بر روی پیشانی شرکت‌کنندگان نصب گردید. همچنین برای پایش حرکت چشم (کنترل آرتیفکت ناشی از پلک زدن)، یک الکترود در زیر چشم راست افراد، نصب گردید. باهدف کاهش نویز و آرتیفکت در ثبت داده‌ها، در طول مدت ثبت EEG از شرکت‌کنندگان خواسته شد که ضمن پرهیز از حرکت کردن، پلک زدن و یا صحبت کردن، به‌آرامی نشسته، چشمانشان را کامل باز نگه‌داشته، به نماد "X" چاپ‌شده بر دیوار روبرو، خیره شوند (۴۱, ۵۸). داده‌های EEG در فرکانس ۲۵۰ هرتز و امپدانس کمتر از ۵ کیلو اهم و با استفاده از پالایه باند عبور (۰/۳ تا ۴۰ هرتز) و پالایه ناچ (فرکانس ۵۰ هرتز) ثبت گردید. در ادامه برای پردازش سیگنال‌ها، میانگین مقادیر دو کانال مرجع از همه کانال‌های دیگر ثبت سیگنال، کسر گردید. سپس، داده‌های ثبت‌شده به دوره‌های دوثانیه‌ای (اپک) با یک ثانیه همپوشانی تقسیم گردید. هر اپکی که دارای نویز، آرتیفکت و یا پلک زدن بود، از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها حذف شد. پس‌ازآن، پنجره ۱۰ درصد کوسین[11] و یک تبدیل سریع فوریر[12] برای هر اپک اعمال شد. این فرآیند برای توزیع توان طیفی ۰/۳ تا ۴۰ هرتز در فواصل ۰/۵ هرتز انجام گردید. در ادامه، میانگین قدرت تمام اپک‌ها برای به

9 - Visual Analog Mood Scales
10 - Scalp
11 - A 10% cosine window
12 -A fast Fourier transform

دست آوردن قدرت متوسط در هر فاصله زمانی اندازه‌گیری (تریال)، محاسبه گردید. در پایان، سیگنال‌های ثبت‌شده به محدوده‌های فرکانسی ۵ تا ۷ هرتز (تتا)، ۵ تا ۹ هرتز (آلفا-تتا) ۸ تا ۱۲ هرتز (آلفا) و ۱۳ تا ۳۰ هرتز (بتا) تقسیم گردید. متوسط قدرت به‌دست‌آمده از کانال‌های Pz و Oz برای محاسبه آلفا، کانال‌های Fz وCz برای بتا، کانال‌های Fz و Cz برای تتا و کانال‌های Fz، Cz، Pz و Oz برای محاسبه آلفا- تتا استفاده گردید. برای امکان مقایسه نتایج EEG ثبت‌شده در وضعیت‌های روشنایی موردمطالعه، قدرت سیگنال‌ها در هر رنج فرکانسی و فاصله زمانی اندازه‌گیری (تریال) با استفاده از قدرت به دست آمده در طول دوره روشنایی خیلی کم (کمتر از ۵ لوکس) ابتدای آزمایش۱(-EEG) نرمالایز گردید (۳۹, ۴۰, ۴۲). برای آنالیز داده‌های EEG، نرم افزار متلب (MATLAB)، نسخه (R2012a، Math-Works، USA) مورد استفاده قرار گرفت.

تنظیمات روشنایی

این مطالعه در یک اتاق دارای سیستم تهویه با مساحت ۱۹ مترمربع انجام شد. در این اتاق از منابع روشنایی فلورسنت باقابلیت روشنایی قابل تنظیم، شامل لامپ‌های با دمای رنگ اسمی ۴۰۰۰ کلوین (Philips, MASTER TL-D Super 80 36W/840)، ۸۰۰۰ کلوین (Osram, sky white 36W/880) و ۱۲۰۰۰ کلوین (Philips, TL- Snow White 18W, CCT= 12000 K) استفاده شد. برای هر گروه از منابع روشنایی از یک مدار و یک سوئیچ کنترل جداگانه استفاده گردید. در این مطالعه، برای ایجاد محیط روشنایی مشابه محیط واقعی از منابع روشنایی در دسترس تجاری استفاده گردید. برای اندازه‌گیری شدت روشنایی عمودی (در ارتفاع ۱/۲ متر از کف در سطح چشم) و شدت روشنایی افقی (در ارتفاع ۰/۷۵ متر از کف در سطح میز کار) از روشنایی‌سنج (لوکس متر) مدل (Hagner، Model E2، Solna، ساخت سوئد) استفاده شد. ضریب یکنواختی روشنایی (Emin/Eave) در اتاق مطالعه، معادل ۰/۸ محاسبه گردید که گویای همگنی و توزیع یکنواخت روشنایی در اتاق آزمایش بوده است. همچنین مقدار درخشندگی در سطح چشم شرکت‌کنندگان (۱/۲ متر از سطح کف در سطح چشم) توسط دستگاه (Hagner ScreenMaster، Solna، ساخت سوئد) اندازه‌گیری شد. در ادامه دمای رنگ واقعی، شاخص تجلی رنگ، توزیع قدرت طیفی و مختصات رنگی با استفاده از یک طیف‌سنج (C7000 SpectroMaster، Sekonic Corp، ساخت ژاپن) در سطح چشم (در ارتفاع ۱/۲ متر از کف در سطح چشم)، اندازه‌گیری گردید. مهم است که ذکر شود که فاکتورهای اتاق آزمایش، شامل شدت روشنایی (۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس روی سطح کار)، شاخص تجلی رنگ و سایر فاکتورهای داخلی، مشابه استانداردهای روشنایی برای محیط‌های اداری طراحی گردید (۳۰, ۳۷). جزئیات فنی و مقادیر فوتومتری در جدول ۱ و توزیع قدرت طیفی در نمودار ۱ ارائه‌شده است.

روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در این مطالعه، برای آنالیز داده‌ها، از آزمون آماری آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (ANOVA)[13] استفاده شد. در مواردی که فرض کرویت در این آزمون آماری بر اساس آزمون ماچلی[14] نقض گردد، از تصحیح گرین هوس-گیزر[15] استفاده شد (۵۹). همچنین، در صورت وجود اختلاف معنی‌دار، از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه‌های دوتایی (جفتی) استفاده شد. در این مطالعه، از نرم‌افزارSPSS نسخه ۲۰برای انجام آنالیزهای آماری استفاده گردید. همچنین مقدار $p<۰/۰۵$ به‌عنوان سطح معنی داری در نظر گرفته شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار GraphPad Prism نسخه ۷ استفاده شد. مقادیر داده‌ها، به‌صورت میانگین ± خطای استاندارد گزارش گردید.

13 - Repeated-measures analysis of variance (ANOVA)
14 - Mauchly's Test of Sphericity
15 - Greenhouse–Geisser correction

جدول ۱. جزئیات فنی و مقادیر فوتومتری اندازه‌گیری شده در سطح چشم

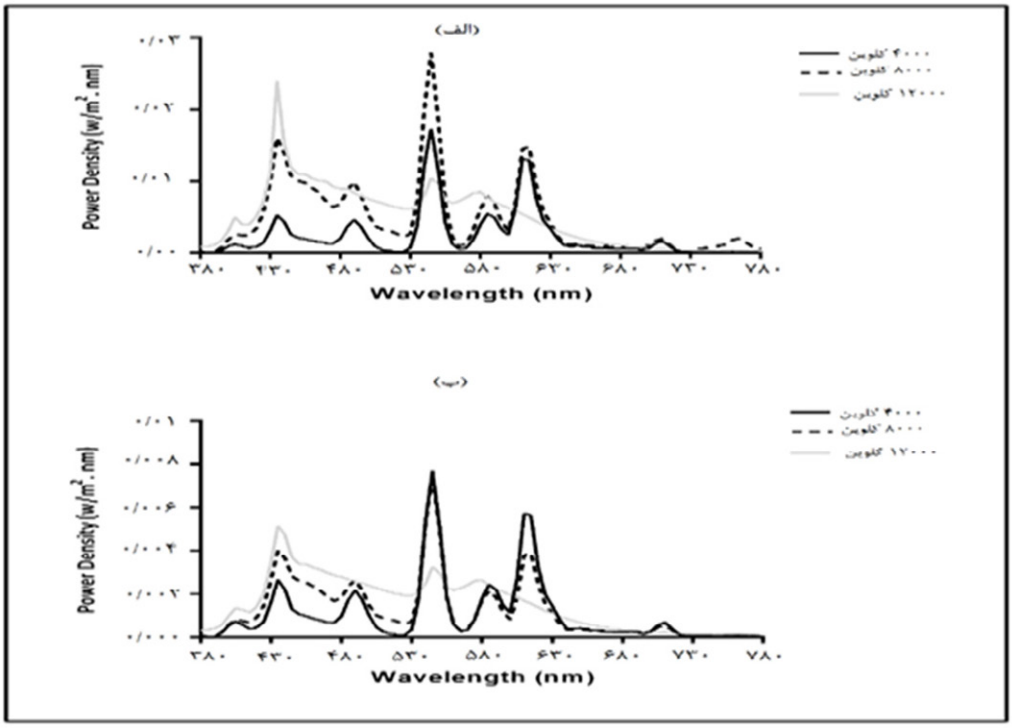
متغیر	۱۲۰۰۰ کلوین –۵۰۰ لوکس	۸۰۰۰ کلوین – ۵۰۰ لوکس	۴۰۰۰ کلوین –۵۰۰ لوکس	۱۲۰۰۰ کلوین –۳۰۰ لوکس	۸۰۰۰ کلوین –۳۰۰ لوکس	۴۰۰۰ کلوین –۳۰۰ لوکس
شدت روشنایی در سطح کار (لوکس)	۵۰۳	۵۱۱	۵۱۷	۳۲۰	۳۱۲	۳۱۶
شدت روشنایی در سطح چشم (لوکس)	۳۱۷	۳۳۳	۳۳۲	۱۴۳	۱۴۳	۱۴۷
دمای رنگ اسمی[1] (کلوین)	۱۲۰۰۰	۸۰۰۰	۴۰۰۰	۱۲۰۰۰	۸۰۰۰	۴۰۰۰
دمای رنگ واقعی[2] (کلوین)	۹۷۳۳	۷۳۴۳	۳۷۳۰	۹۷۴۱	۷۲۴۷	۳۸۲۳
شاخص تجلی رنگ[3]	۸۳	۸۶/۹	۸۲/۹	۸۳/۲	۸۵/۹	۸۳
طول‌موج غالب[4] (نانومتر)	۴۸۱	۴۸۲	۵۷۹	۴۸۱	۴۸۴	۵۷۹
طول‌موج پیک[5] (نانومتر)	۴۳۶	۵۴۵	۵۴۵	۴۳۶	۵۴۵	۵۴۵
مختصات رنگی[6]	X:۰/۲۸۱ Y: ۰/۲۹۲۶	X:۰ /۳۰۲۳ Y: ۰/۳۱۱۷	X:۰/۳۹۵۱ Y: ۰/۳۸۹۹	X:۰ /۲۸۰۹ Y: ۰/۲۹۷۷	X:۰ /۳۰۲۸ Y: ۰/۳۱۵۵	X:۰ /۳۸۵۷ Y: ۰/۳۸۱
درخشندگی در سطح چشم (Cd/m^2)	۴۳/۸	۴۲/۱	۴۰/۵	۳۵/۱	۳۶/۵	۳۶/۲
روشنایی فوتوپیک (لوکس)[7]	۳۱۷	۳۳۳	۳۳۲	۱۴۳	۱۴۳	۱۴۷
روشنایی سیانوپیک (لوکس)[8]	۴۶۹	۴۱۴	۱۸۰	۲۰۹	۱۷۴	۸۹
روشنایی ملانوپیک (لوکس)[9]	۳۸۸	۳۴۲	۱۹۵	۱۷۴	۱۴۶	۹۱
روشنایی ردوپیک (لوکس)[10]	۳۷۱	۳۴۹	۲۳۶	۱۶۷	۱۴۹	۱۰۸
روشنایی کلروپیک (لوکس)[11]	۳۴۵	۳۴۰	۲۹۱	۱۵۶	۱۴۶	۱۳۰
روشنایی اریتروپیک (لوکس)[12]	۳۱۴	۳۲۳	۳۱۹	۱۴۱	۱۳۸	۱۴۱
تراکم فوتون[13]	$۳/۱۸\times۱۰^{۱۴}$	$۳/۱۴\times۱۰^{۱۴}$	$۲/۷\times۱۰^{۱۴}$	$۱/۴۶\times۱۰^{۱۲}$	$۱/۳۵\times۱۰^{۱۲}$	$۱/۲۲\times۱۰^{۱۲}$
ارادیانس ($\mu W.cm^{-2}$)	۱۲۱	۱۱۷	۹۶	۵۶	۵۱	۴۴

[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)

یافته ها

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

نتایج آزمون مقایسه‌های دوتایی نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده قدرت سیگنال‌های مغزی نرمالایز شده آلفا، آلفا-تتا، بتا و تتا برای وضعیت‌های روشنایی موردمطالعه درشدت روشنایی ۵۰۰ لوکس و ۳۰۰ لوکس، تفاوت معنی داری وجود نداشته است. نتایج این آزمون نشان داد که قدرت سیگنال‌های آلفا و آلفا – تتا در وضعیت‌های ۵۰۰ لوکس –۸۰۰۰ کلوین و ۵۰۰ لوکس –۱۲۰۰۰ کلوین نسبت به وضعیت روشنایی خیلی کم (کنترل) به‌صورت معنی داری کمتر بوده است. قابل‌ذکر است که باوجود کاهش قابل‌توجه قدرت سیگنال‌های آلفا و آلفا-تتای نرمالایز شده در وضعیت‌های ۵۰۰ لوکس –۸۰۰۰ کلوین و ۵۰۰ لوکس –۱۲۰۰۰ کلوین، در مقایسه با وضعیت ۵۰۰ لوکس –۴۰۰۰ کلوین، اما این کاهش به سطح معنی داری ازنظر آماری نرسید. سایر مقایسه‌ها



نمودار ۱. توزیع قدرت طیفی وضعیت‌های روشنایی موردمطالعه درشدت روشنایی ۵۰۰ لوکس (الف) و شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس (ب)

تفاوت‌های معنی داری را نشان داد. درشدت روشنایی ۳۰۰ لوکس، تفاوت معنی داری میان وضعیت‌های روشنایی موردبررسی نسبت به وضعیت روشنایی خیلی کم (کنترل) در مورد قدرت سیگنال‌های آلفا و آلفا-تتای نرمالایز شده مشاهده نگردید. نتایج آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (ANOVA) برای قدرت سیگنال‌های آلفا، آلفا-تتا، تتا و بتا نرمالایز شده در جدول ۲ و میانگین و خطای استاندارد قدرت نرمالایز شده سیگنال‌های آلفا، تتا، آلفا-تتا و بتا در نمودارهای ۲ و ۳ نمایش داده‌شده است.

شاخص خواب‌آلودگی (هوشیاری ذهنی) کارولنیسکا (KSS)

بر اساس نتایج مطالعه، میان وضعیت‌های روشنایی موردمطالعه درشدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس برای متغیر نرمالایز شده شاخص خواب‌آلودگی (KSS) تفاوت معنی داری مشاهده نشد. نتایج آزمون مقایسه‌های دوتایی نشان داد که فقط وضعیت‌های ۵۰۰ لوکس -۸۰۰۰ کلوین (p=۰/۰۰۴) و ۵۰۰ لوکس -۱۲۰۰۰ کلوین (p=۰/۰۰۳) نسبت به وضعیت روشنایی خیلی کم (کنترل) تفاوت معنی داری وجود داشته است.

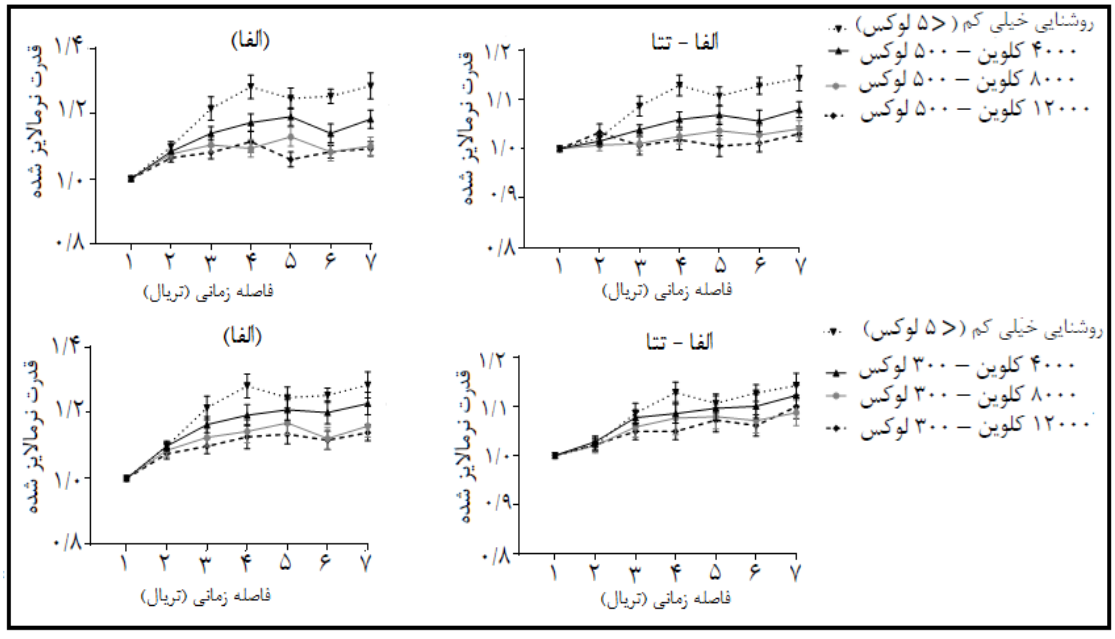
آنالوگ بصری برای سنجش خلق‌وخوی (VAMS)

نتایج آزمون مقایسه‌های دوتایی نشان داد که افراد موردمطالعه در وضعیت روشنایی ۸۰۰۰ کلوین-۵۰۰ لوکس در مقایسه با وضعیت روشنایی ۱۲۰۰۰ کلوین-۳۰۰ لوکس (p=۰/۰۰۱) و ۴۰۰۰ کلوین-۳۰۰ لوکس (p=۰/۰۰۱) وضعیت خلق‌وخوی بهتری گزارش کرده‌اند. همچنین نتایج مقایسه‌های دوتایی به تفکیک شدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس نشان داد که در هر دو شدت روشنایی، میان وضعیت روشنایی ۸۰۰۰ کلوین و وضعیت‌های ۴۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ اختلاف معنی داری وجود داشته است. همچنین تمام وضعیت‌های روشنایی،

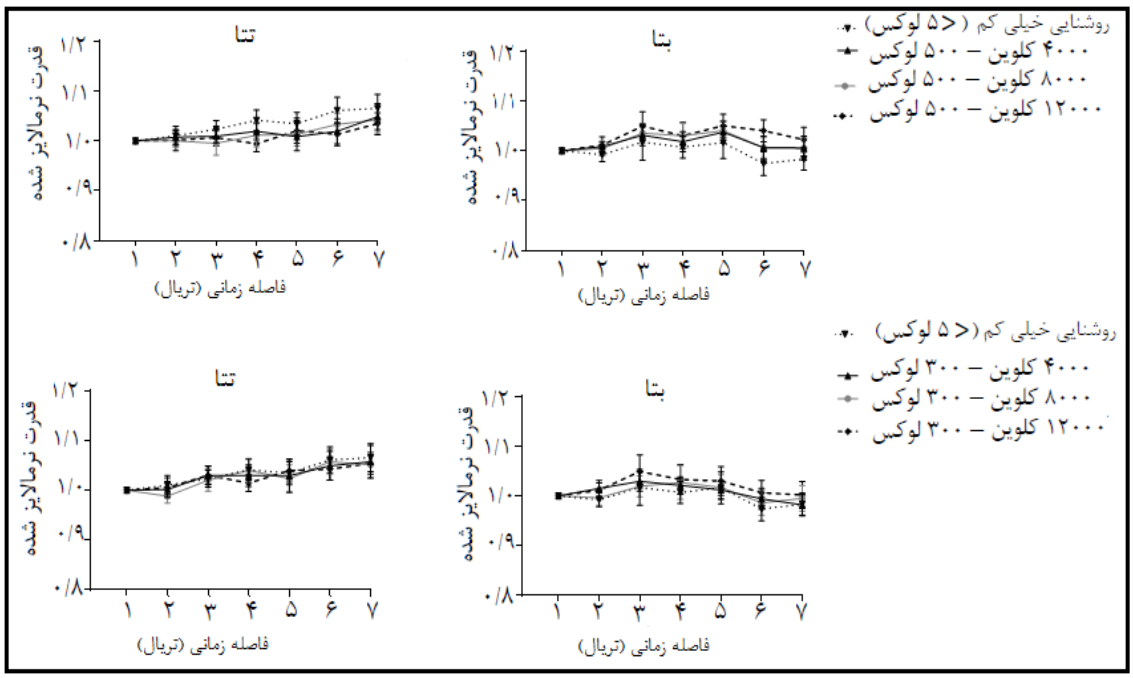
جدول ۲. نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (ANOVA) برای قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا، تتا، آلفا-تتا و بتا

متغیر	df[17]	Error[16]	F[15]	P[14]
آلفا				
روشنایی	۳/۸۰۳	۷۹/۸۷۲	۵/۱۹۳	۰/۰۰۱
فاصله زمانی[18]	۳/۴۹۲	۷۳/۳۳۹	۱۵/۹۰۷	<۰/۰۰۱
روشنایی × فاصله زمانی	۸/۸۷۲	۱۸۶/۳۱	۲/۵۴۱	۰/۰۰۹
بتا				
روشنایی	۳/۴۳۹	۷۲/۲۲۶	۰/۷۹۸	۰/۵۱۴
فاصله زمانی	۵	۱۰۵	۵/۵۸۷	۰/۰۰۱
روشنایی × فاصله زمانی	۳۰	۶۳۰	۰/۶۶۱	۰/۹۱۸
تتا				
روشنایی	۳/۲۷۵	۶۸/۷۸۱	۰/۴۶۶	۰/۷۲۳
فاصله زمانی	۲/۸۴۲	۵۹/۶۸۶	۵/۷۶۲	۰/۰۰۲
روشنایی × فاصله زمانی	۳۰	۶۳۰	۰/۶۴۶	۰/۷۴۴
آلفا – تتا				
روشنایی	۳/۹۳۷	۸۲/۶۷۶	۴/۲۲۳	۰/۰۰۴
فاصله زمانی	۳/۱۳۷	۶۵/۸۷۹	۱۶/۴۲۳	<۰/۰۰۱
روشنایی × فاصله زمانی	۳۰	۶۳۰	۲/۷۰۵	<۰/۰۰۱

[14] - P-Value (سطح معنی داری)
[15] - Fitness level
[16] - درجه آزادی خطا
[17] - درجه آزادی فرض شده
[18] - Time interval



نمودار ۲. میانگین و خطای استاندارد قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا تتا و آلفا-تتا نرمالایز شده در هر فاصله زمانی (تریال)



نمودار ۳. میانگین و خطای استاندارد قدرت سیگنال‌های مغزی تتا و بتا نرمالایز شده در هر فاصله زمانی (تریال)

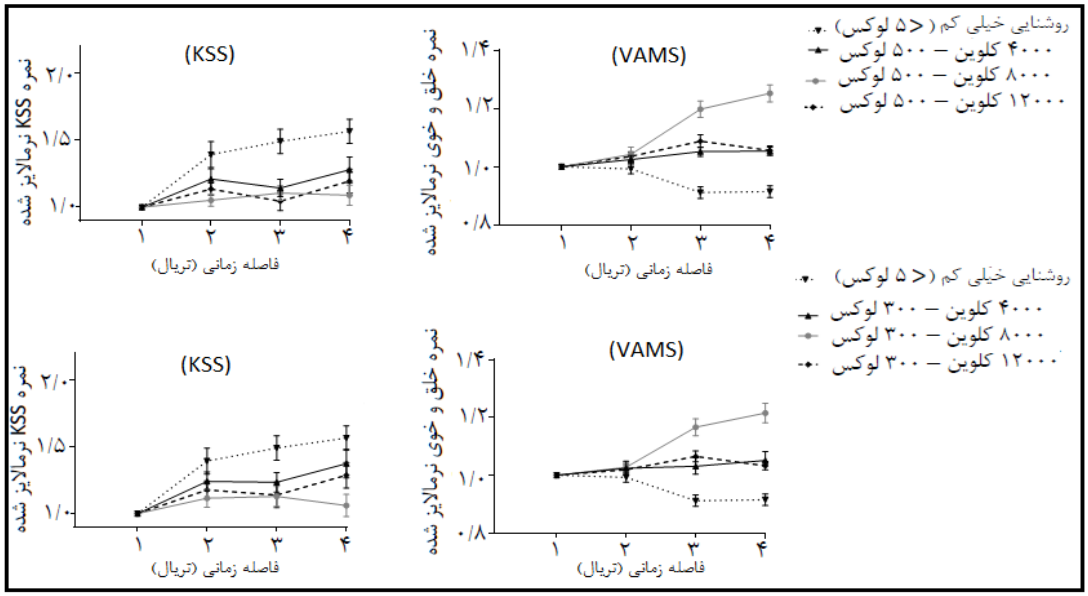
جدول ۳. نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (ANOVA) برای شاخص خواب‌آلودگی کارولنیسکا و شاخص آنالوگ بصری سنجش خلق‌وخوی

متغیر	df	Error	*F*	P
شاخص خواب‌آلودگی کارولنیسکا (KSS)				
روشنایی	۴/۱۰۴	۸۶/۱۷۹	۵/۳۳۱	**۰/۰۰۱**
فاصله زمانی	۲	۴۲	۲/۱۰۱	۰/۱۳۵
روشنایی × فاصله زمانی	۱۲	۲۵۲	۰/۸۷۵	۰/۵۷۴
شاخص آنالوگ بصری برای سنجش خلق‌وخوی (VAMS)				
روشنایی	۳/۳۰۸	۶۹/۴۶۹	۲۵/۴۳۳	**<۰/۰۰۱**
فاصله زمانی	۲	۴۲	۱۰/۶۴۸	**<۰/۰۰۱**
روشنایی × فاصله زمانی	۵/۴۹۱	۱۱۵/۳۰۴	۸/۲۶	**<۰/۰۰۱**

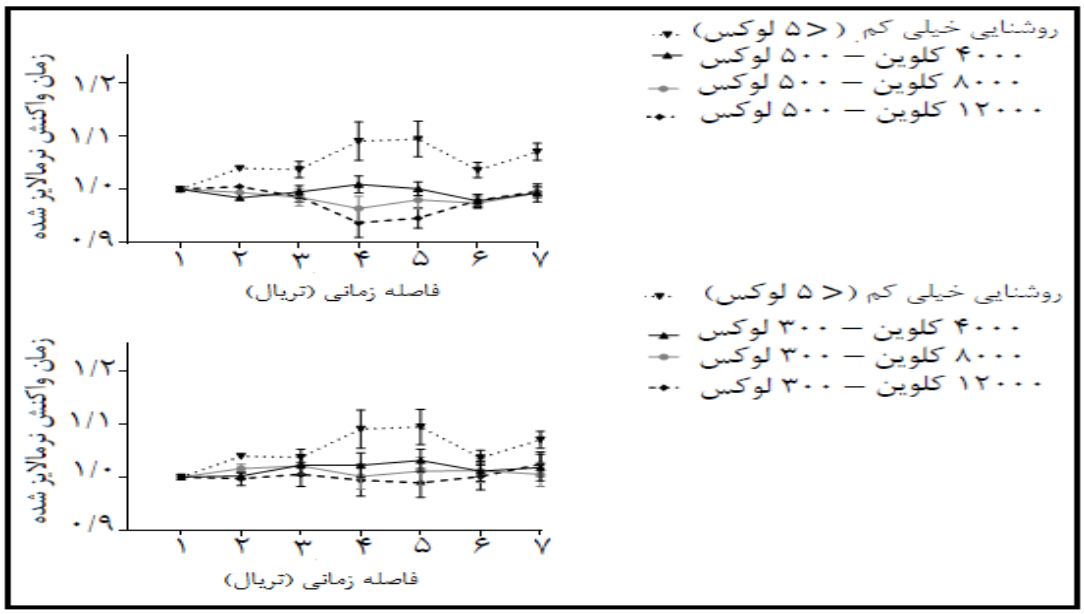
وضعیت خلق‌وخوی را در مقایسه با روشنایی خیلی کم (کنترل) بهبود داده‌اند. نتایج آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (ANOVA) برای شاخص خواب‌آلودگی و شاخص خلق‌وخوی در جدول ۳ و میانگین و خطای استاندارد نمره سطح خواب‌آلودگی (هوشیاری ذهنی) و نمره خلق‌وخوی نرمالایز شده در هر فاصله زمانی در نمودار ۴ نمایش داده‌شده است.

آزمون عملکرد پیوسته (CPT)

نتایج آزمون مقایسه‌های دوتایی نشان داد که میان وضعیت‌های روشنایی درشدت ۵۰۰ لوکس و ۳۰۰ لوکس در مورد زمان پاسخ نرمالایز شده آزمون عملکرد پیوسته تفاوت معنی داری وجود نداشته است. همچنین نتایج مقایسه‌های دوتایی به تفکیک شدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس نشان داد که فقط در وضعیت‌های



نمودار ۴. میانگین و خطای استاندارد نمره سطح خواب‌آلودگی (هوشیاری ذهنی) و نمره خلق‌وخوی نرمالایز شده در هر فاصله زمانی



نمودار ۵. میانگین و خطای معیار زمان پاسخ آزمون عملکرد پیوسته (CPT) در هر فاصله زمانی

۵۰۰ لوکس -۸۰۰۰ کلوین (p=۰/۰۱۲) و ۵۰۰ لوکس -۱۲۰۰۰ کلوین (p=۰/۰۰۱) در مقایسه با وضعیت روشنایی خیلی کم اختلاف معنی داری وجود داشته است. میانگین و خطای معیار زمان پاسخ نرمالایز شده آزمون عملکرد پیوسته در هر فاصله زمانی (تریال) در نمودار ۵ نمایش داده‌شده است.

آزمون‌های شناختی PVT، GO/NO-GO و n-back

بر اساس نتایج آزمون مقایسه‌های دوتایی، میان وضعیت‌های روشنایی درشدت روشنایی ۵۰۰ لوکس و

جدول ۴. میانگین و خطای استاندارد زمان پاسخ نرمالایز شده آزمون‌های PVT، GO/NO-GO و n-back

وضعیت روشنایی	۳۰۰ لوکس	۵۰۰ لوکس
PVT		
۴۰۰۰ کلوین	۴۲۰/۱۱۵ ±۱۳/۷۸۷	۴۱۹/۳۷۳±۱۳/۷۴۹
۸۰۰۰ کلوین	۴۱۵/۱۳۵±۱۲/۴۸۳	۴۱۴/۳۲۲ ±۱۳/۰۹
۱۲۰۰۰ کلوین	۴۱۶/۸۵۱ ± ۱۳/۰۵۵	۴۱۵/۹۳± ۱۳/۴۴۶
روشنایی خیلی کم (کنترل)	۴۲۵/۸۶۷ ± ۱۳/۰۳۶	
GO/NO-GO		
۴۰۰۰ کلوین	۳۰۸/۴۳۷ ± ۱۲/۸۳۳	۳۰۶/۷۶۹ ± ۱۲/۲۲
۸۰۰۰ کلوین	۳۰۲/۱۹ ± ۱۳/۷۵۴	۳۰۰/۱۷۷ ± ۱۲/۶۲۳
۱۲۰۰۰ کلوین	۳۰۴/۸۸۶ ± ۱۲/۷۱۳	۳۰۲/۹۱۷ ± ۱۲/۲۹۴
روشنایی خیلی کم (کنترل)	۳۲۵/۱۶۳ ± ۱۵/۵۵۵	
n-back		
۴۰۰۰ کلوین	۳۸۷/۰۹۶ ± ۳۰/۶۲۳	۳۸۳/۸۸۹ ± ۲۹/۲۶۴
۸۰۰۰ کلوین	۳۸۴/۷۳ ± ۳۰/۵۲۵	۳۷۴/۶۱ ± ۲۸/۴۱۹
۱۲۰۰۰ کلوین	۳۸۱/۴۸۵ ± ۲۹/۶۶۴	۳۷۷/۵۲۱ ± ۲۹/۱۹۳
روشنایی خیلی کم (کنترل)	۳۹۰/۸۵۲ ± ۳۰/۲۴۴	

جدول ۵. نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (ANOVA) برای میانگین زمان پاسخ و تعداد خطای نرمالایز شده آزمون‌های شناختی عملکرد پیوسته (CPT)، GO/NO-GO (برو – نرو)، n-back (حافظه کاری) و PVT

متغیر	df	Error	*F*	P
آزمون عملکرد پیوسته (زمان پاسخ)				
روشنایی	۳/۱۹۹	۶۷/۱۸۱	۴/۰۴۳	**۰/۰۰۹**
فاصله زمانی	۳/۰۴۴	۶۳/۹۲۸	۰/۸۰۷	۰/۴۹۶
روشنایی × فاصله زمانی	۳۰	۶۳۰	۲/۱۳	**<۰/۰۰۱**
آزمون عملکرد پیوسته (میزان خطا)				
روشنایی	۳/۷۸۹	۷۹/۵۶۳	۰/۵۰۷	۰/۷۲۱
فاصله زمانی	۵	۱۰۵	۲۷/۳۷۷	**<۰/۰۰۱**
روشنایی × فاصله زمانی	۳۰	۶۳۰	۱/۳۲	۰/۱۲۱
آزمون GO/NO-GO (زمان پاسخ)				
روشنایی	۲/۸۱۱	۵۹/۰۴۱	۸/۷۲۱	**<۰/۰۰۱**
آزمون GO/NO-GO (مقدار خطا)				
روشنایی	۴/۰۶۸	۸۵/۴۳۵	۰/۶۹۹	۰/۵۹۷
آزمون n-back (زمان پاسخ)				
روشنایی	۲/۵۰۳	۵۲/۵۶۸	۳/۲۱۹	**۰/۰۴۸**
آزمون n-back (مقدار خطا)				
روشنایی	۳/۵۲	۷۳/۹۱۵	۱/۰۰۴	۰/۴۰۵
آزمون PVT (زمان پاسخ)				
روشنایی	۳/۶۶۹	۷۷/۰۴۶	۴/۳۵۵	**۰/۰۰۴**

۳۰۰ لوکس در مورد زمان پاسخ نرمالایز شده آزمون‌های PVT، GO/NO-GO و n-Back تفاوت معنی داری مشاهده نگردید. همچنین نتایج آزمون مقایسه‌های دوتایی به تفکیک شدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس، نشان داد که فقط در وضعیت‌های ۵۰۰ لوکس -۸۰۰۰ کلوین و ۵۰۰ لوکس -۱۲۰۰۰ کلوین و در آزمون‌های PVT و GO/NO-GO زمان پاسخ در مقایسه با روشنایی خیلی کم اختلاف معنی داری وجود داشته است. نتایج آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (ANOVA) برای میانگین زمان پاسخ و تعداد خطای نرمالایز شده آزمون‌های شناختی PVT،CPT، GO/ NO-GO و n-back در جدول ۴ آمده است. میانگین و خطای معیار زمان پاسخ نرمالایز شده برای این آزمون‌های در جدول ۴ نمایش داده‌شده است. همچنین نتایج آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (ANOVA) برای آزمون های عملکرد شناختی در جدول ۵ آمده است.

بحث

نتایج مطالعه نشان داد که وضعیت‌های روشنایی ۵۰۰ لوکس-۸۰۰۰ کلوین و ۵۰۰ لوکس-۱۲۰۰۰ کلوین، قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا - تتا را در مقایسه با روشنایی خیلی کم (کمتر از ۵ لوکس- کنترل) به‌طور معنی داری کاهش داده‌اند. نکته قابل‌توجه این است که قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا- تتا با سطح هوشیاری عینی ایجادشده ناشی از روشنایی همبستگی منفی دارد (۳۹, ۴۰, ۵۶) . این بدین معنی است که کاهش قدرت سیگنال‌های آلفا و آلفا-تتا به مفهوم افزایش در سطح هوشیاری عینی می باشد. یافته‌های مطالعه حاضر، هم‌راستا با مطالعات قبلی است که نشان می‌دهد که نور تک‌رنگ آبی و روشنایی سفید غنی از نور آبی (روشنایی با دمای رنگ بالا) می‌تواند، اثرات مثبتی بر سطح هوشیاری داشته باشند (۱۲,۱۴, ۱۶, ۱۹, ۲۱).

نتایج مطالعه نشان داد که باوجود تأثیر مثبت وضعیت‌های روشنایی ۵۰۰ لوکس-۸۰۰۰ کلوین و ۵۰۰ لوکس-۱۲۰۰۰ کلوین بر سطح هوشیاری عینی در مقایسه با وضعیت روشنایی ۵۰۰ لوکس-۴۰۰۰ کلوین، اما این تأثیر مثبت به حد معنی داری ازنظر آماری نرسید. قابل‌ذکر است که وضعیت روشنایی ۴۰۰۰ کلوین معمولاً به‌صورت روتین در محیط‌های کاری چون فضاهای کار اداری استفاده می‌شود (۲۹, ۵۳). یافته‌های مطالعه میلز و همکاران نشان داد که مواجهه با روشنایی با دمای ۱۷۰۰۰ کلوین در مقایسه با دمای رنگ ۴۰۰۰، باعث بهبود سطح سرزندگی، کاهش خواب‌آلودگی و خستگی و بهبود شاخص‌های بهداشت روانی کارکنان اداری، در طول روز شده است (۱۸). بک و مین گزارش دادند که مواجهه با روشنایی سفید غنی از نور آبی (دمای رنگ بالا) به‌طور معنی داری موجب کاهش قدرت سیگنال‌های آلفا (حد بالا و پایین آلفا)، نسبت به روشنایی سفید (در حدود ۴۰۰۰ کلوین) در زمان بعدازظهر شده است (۱۴). همچنین نتایج مطالعه کیس و همکاران، نشان داد که مواجهه چندهفته‌ای با روشنایی با دمای رنگ ۱۷۰۰۰ کلوین در مقایسه با روشنایی با دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین در طول روز، منجر به بهبود عملکرد دانش آموزان، سرعت پردازش و توانایی تمرکز آن‌ها شده است (۳۲). علاوه بر این، نتایج برخی مطالعات میدانی نشان داده که مواجهه با روشنایی با دمای رنگ بالا (۱۷۰۰۰ کلوین) نسبت به روشنایی با دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین، ضمن کاهش خواب‌آلودگی، سطح کارایی را نیز افزایش داده است (۱۲, ۲۸). مهم است که ذکر شود که در تمام مطالعات ذکرشده فوق، از روشنایی با دمای رنگ بالاتر نسبت به مطالعه حاضر (۱۲۰۰۰ و ۸۰۰۰ کلوین) استفاده‌شده، که این فاکتور می‌تواند عدم رسیدن تأثیر وضعیت‌های روشنایی ۵۰۰ لوکس-۸۰۰۰ کلوین و ۵۰۰ لوکس-۱۲۰۰۰ کلوین به سطح معنی داری آماری در مورد افزایش سطح هوشیاری عینی (کاهش قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا- تتا) را در مقایسه با وضعیت روشنایی ۵۰۰ لوکس-۴۰۰۰ کلوین تبیین نماید.

نتایج مطالعه حاضر (نمودار ۲) نشان داد که وضعیت‌های روشنایی ۳۰۰ لوکس-۸۰۰۰ کلوین و ۳۰۰ لوکس-۱۲۰۰۰ کلوین، باوجود کاهش قدرت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا- تتا در مقایسه با روشنایی خیلی کم (کنترل) و وضعیت روشنایی ۳۰۰ لوکس-۴۰۰۰ کلوین، اما این کاهش، به حد معنی داری ازنظر آماری نرسید. بر اساس این نتایج، می‌توان گفت که درشدت روشنایی

۳۰۰ لوکس (محدوده پایین استاندارد روشنایی در محیط کار اداری) (۲۷) نیز می‌توان اثرات غیر بینایی روشنایی، ازجمله تأثیر روشنایی بر سطح هوشیاری عینی را تا حدودی مشاهده کرد. اضافه می‌نماید به‌طورکلی اثرات دمای رنگ درشدت روشنایی ۳۰۰ لوکس در مقایسه با شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس، نسبتاً ضعیف‌تر بوده، نشان از تأثیر توأم شدت روشنایی و دمای رنگ در ایجاد اثرات غیر بینایی روشنایی است (۶۰, ۶۱).

بر اساس نتایج مطالعه حاضر، در وضعیت‌های روشنایی موردمطالعه، تأثیر معنی داری بر سیگنال‌های بتا و تتا مشاهده نگردید. در مطالعه سهین و همکاران گزارش گردید که روشنایی در طول روز، نمی‌توانند به‌طور قابل‌توجهی فعالیت‌های مغز را در ارتباط با سیگنال‌های بتا و تتا تحت تأثیر قرار دهد که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد (۴۰). از سویی دیگر، یک سری از مطالعات نشان داده‌اند که فعالیت سیگنال‌های مغزی آلفا و آلفا تتا به ورودی‌های حسی خارجی، مانند روشنایی حساس بوده، پایش این سیگنال‌ها می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی عینی تأثیر روشنایی بر سطح هوشیاری، خستگی و خواب‌آلودگی افراد در مشاغل مختلف به کار گرفته شوند (۱۴, ۳۹, ۴۰, ۴۲, ۵۶, ۵۷, ۶۲).

شواهد عصبی- فیزیولوژیکی نیز از یافته‌های به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر، در مورد تأثیر نسبتاً مثبت وضعیت‌های روشنایی ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ کلوین در بهبود سطح هوشیاری عینی نسبت به دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین و روشنایی خیلی کم (کمتر از ۵ لوکس - کنترل) به‌ویژه درشدت روشنایی ۵۰۰ لوکس، پشتیبانی می‌کنند. علاوه بر سلول‌های مخروطی و میله‌ای چشم، نوع جدید سومی از سلول‌های ذاتاً حساس به نور در شبکیه کشف‌شده که به سلول‌های گانگلیونی شبکیه (ipRGCs) شناخته می‌شوند. این سلول‌ها، ضمن دریافت پرتوهای نور، آن‌ها را به‌صورت سیگنال عصبی برای تنظیم ریتم سیرکادین روزانه به مغز ارسال می‌کنند (۶۳, ۶۴). قابل‌ذکر است که این سلول‌ها به‌صورت ویژه به نور آبی حساس بوده، می‌توانند اثرات غیر بینایی روشنایی، مانند سرکوب ملاتونین، تنظیم ریتم سیرکادین روزانه و همچنین عملکردهای عصبی- رفتاری مانند بهبود سطح هوشیاری و عملکرد شناختی را تحت تأثیر قرار دهند (۶۵-۶۷). مهم است که ذکر است که امروزه، مهار هورمون ملاتونین به‌عنوان مکانیسم اصلی، برای تأثیر روشنایی بر سطح هوشیاری در زمان شب، به‌خوبی به اثبات رسیده است(۲۰, ۲۱). گرچه مطالعات اخیر نشان داده‌اند که ترشح ملاتونین در طول روز بسیار ناچیز بوده، ایجاد هوشیاری ناشی از روشنایی همیشه با سرکوب ملاتونین مرتبط نبوده، احتمالاً مکانیسم‌های دیگری در کنار سرکوب ملاتونین برای ایجاد هوشیاری ناشی از روشنایی در طول روز، وجود دارد (۴۲, ۵۳, ۵۶). در این ارتباط، وندی ول و همکاران گزارش دادند که نور آبی می‌تواند باعث افزایش فعالیت مغز شده، که نتیجه آن ممکن است موجب بهبود هوشیاری و عملکرد شود (۶۸). راتکیلا و همکاران پیشنهاد می‌کنند که روشنایی می‌تواند از آمیگدال در سیستم لیمبیک برای ارسال سیگنال‌های عصبی به قشر مغزی استفاده کرده، که می‌تواند واکنش‌های هیجانی و بهبود وضعیت روحی را ایجاد کند، که نتیجه این فرایند، بهبود سطح هوشیاری خواهد بود (۶۹). قابل‌ذکر است که باوجود انجام مطالعات مختلف، مکانیسم ایجاد اثرات بیولوژیکی، روانی و هوشیاری ناشی از مواجهه با روشنایی به‌ویژه در طول روز، هنوز تا حد زیادی ناشناخته مانده است (۷۰).

مطالعه حاضر نشان داد که وضعیت‌های روشنایی ۵۰۰ لوکس-۸۰۰۰ کلوین و ۵۰۰ لوکس-۱۲۰۰۰ کلوین در کاهش زمان پاسخ آزمون‌های شناختی PVT و GO/ NO-GO و CPT در مقایسه با وضعیت روشنایی خیلی کم (کنترل) مؤثر بوده‌اند. گرچه این نتیجه، به بهبود عملکرد در این وضعیت‌های روشنایی نسبت به ۵۰۰ لوکس-۴۰۰۰ کلوین، منجر نشده است. این یافته‌ها، بامطالعه بک و مین که نشان داد که مواجهه با روشنایی سفید غنی از نور آبی (روشنایی با دمای رنگ بالا)، منجر به بهبود زمان پاسخ نسبت به روشنایی خیلی کم در آزمون عملکرد پیوسته شده است، مطابقت

دارد (۱۴). هم‌راستا با نتایج مطالعه حاضر، در مطالعه اسمولدرس و دی کورت تفاوت معنی داری در زمان پاسخ آزمون‌های شناختی موردبررسی در دمای رنگ ۲۷۰۰ و ۶۰۰۰ کلوین (شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس در سطح کار) ، مشاهده نگردید (۲۹). همچنین در مطالعه معتمد زاده و همکاران، تفاوت معنی داری میان وضعیت‌های روشنایی ۴۰۰۰ و ۱۷۰۰۰ کلوین، در کاهش زمان پاسخ، آزمون‌های شناختی عملکرد پیوسته و n-Back برای سنجش توجه پایدار و حافظه کاری اپراتورهای اتاق کنترل پتروشیمی، مشاهده نشد (۲۱). همچنین نتایج مطالعات دیگر نیز نشان می‌دهد که دمای رنگ، تأثیر کمی بر عملکرد شناختی داشته است(۷۱-۷۳)، که با نتایج مطالعه حاضر، هم‌راستا است.

بر اساس نتایج مطالعه، در هر دو شدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس، افراد موردمطالعه، در وضعیت روشنایی ۸۰۰۰ کلوین در مقایسه با وضعیت‌های ۴۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ کلوین، شرایط خلق‌وخوی بهتری گزارش کرده‌اند. در تعدادی از مطالعات پیشنهادشده که ضمن ترجیح روشنایی طبیعی به روشنایی مصنوعی توسط افراد، مواجهه با روشنایی طبیعی، می‌تواند تأثیر مثبتی بر سلامت عمومی، ساعت خواب و کارایی داشته باشد (۷۴, ۷۵). از سویی دیگر بر اساس نتایج برخی مطالعات، مکانیسم‌های روانی و عاطفی می‌تواند یکی از مکانیسم‌های افزایش سطح هوشیاری عینی در انسان باشد (۶۹, ۷۶). لذا می‌توان گفت که تأثیر مثبت دمای رنگ ۸۰۰۰ کلوین بر وضعیت روانی در این مطالعه، می‌تواند در اثر نزدیکی طیف این دمای رنگ به روشنایی طبیعی (نور رنگ آسمان)[16] باشد که می‌تواند واکنش‌های احساسی افراد و به‌تبع آن سطح هوشیاری عینی و عملکرد را بهبود دهد.

در مطالعه حاضر، باهدف بررسی اثر دمای رنگ و شدت روشنایی بر سطح هوشیاری و عملکرد شناختی درشدت روشنایی معمول در محیط‌های کاری چون محیط اداری، شدت‌های روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس، موردبررسی قرار گرفت. این محدوده از شدت روشنایی، تاکنون در مطالعات قبلی، موردبررسی قرار نگرفته است. همچنین دمای رنگ ۱۲۰۰۰ و ۸۰۰۰ تاکنون کمتر در مطالعات قبلی موردبررسی قرارگرفته است. لذا، این مسئله، امکان مقایسه نتایج مطالعه حاضر در دو شدت ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس با سایر مطالعات بسیار مشکل کرده است. بر اساس نتایج مطالعه، تفاوت معنی داری میان تأثیر وضعیت‌های روشنایی درشدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس بر سیگنال‌های مغزی آلفا، آلفا-تتا، بتا و تتا، شاخص خواب‌آلودگی (KSS) و آزمون‌های شناختی PVT، GO/NO-GO و n-Back وجود نداشت. گرچه روند کلی، نشان از تأثیر مثبت‌تر شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس بر متغیرهای موردانداره‌گیری می‌باشد، اما این تفاوت، به حد معنی داری ازنظر آماری نرسیده است. این یافته‌ها، هم‌راستا با نتایج قبلی و گویای تأثیر متقابل دمای رنگ و شدت روشنایی بر اثرات غیر بینایی روشنایی در انسان می‌باشد (۶, ۶۰, ۶۱, ۷۷). به مفهوم دیگر شدت روشنایی و دمای رنگ می‌توانند به‌صورت توأم، بر سطح هوشیاری و عملکرد شناختی، اثرگذار باشد. هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، در مطالعه زو و همکاران گزارش گردید که افراد درشدت روشنایی ۱۲۰۰ لوکس خواب‌آلودگی کمتری احساس کرده‌اند. همچنین در دمای رنگ ۳۰۰۰ کلوین و شدت روشنایی ۲۰۰ لوکس، زمان پاسخ افراد در وظایف شناختی GO/NO-GO و n-Back بیشتر (بدتر) شده است (۶۰). یافته‌های مطالعه مین و همکاران نشان داد که روشنایی با شدت ۷۰۰ لوکس در سطح چشم باعث کاهش فعالیت سیگنال‌های مغزی آلفا و افزایش هوشیاری عینی در مقایسه با شدت ۱۵۰ لوکس در طول روز شده است. گرچه، این وضعیت روشنایی، منجر به افزایش زمان واکنش (کاهش عملکرد) به دلیل شدت روشنایی بالا و تأثیر منفی درخشندگی، در طول یک وظیفه توجه پایدار شده است (۷۰). همچنین نتایج مطالعه اسلیگرس و همکاران نشان داد که روشنایی غنی از نور آبی و شدت روشنایی بالا در امر یادگیری دانش آموزان بیشتر مؤثر بوده است(۷۸). که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد. علاوه براین در مطالعه دهقان و همکاران، عملکرد

16 - Sky white light

شناختی در هنگام انجام‌وظیفه شناختی توجه پایدار (آزمون عملکرد پیوسته) در مواجهه با سه سطح روشنایی ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۵۰۰ لوکس موردبررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین درصد توجه افراد در روشنایی ۱۵۰۰ لوکس به‌دست‌آمده است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (۷۹). در پژوهش کاکویی و همکاران گزارش گردید که مواجهه با روشنایی درخشان (۲۰۰۰ لوکس) به کاهش استرس درک شده و سندرم فرسودگی شغلی در پرستاران شیفت کار شب، منجر شده است (۸۰). همچنین یافته‌های مطالعه زارع و همکاران نشان داد که شدت روشنایی ۴۰۰ لوکس در مقایسه با روشنایی ۲۰۰ لوکس تأثیر مثبت بیشتری بر بارکار ذهنی، خستگی چشمی، سطح خواب‌آلودگی و میزان رضایت افراد از روشنایی شاغل در اتاق کنترل یک نیروگاه برق داشته است، که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی می‌باشد(۸۱).

این پژوهش همانند سایر مطالعات دارای محدودیت‌های بوده است. گرچه در این مطالعه از داوطلبان با الگوی خواب- بیداری منظم ۸ ساعته استفاده شد و همچنین از این افراد خواسته شد در تمام مدت مطالعه این الگوی خواب منظم را حفظ کنند، ولی از یک روش عینی (مثلاً اکتیگرافی[17]) برای تائید این داده‌های خود گزارشی استفاده نشد. همچنین افراد شرکت‌کننده در این مطالعه نسبتاً جوان بوده، با توجه به تغییرات بالقوه در شبکیه و ساختار عصبی چشم در اثر افزایش سن، باید در تعمیم مستقیم نتایج مطالعه حاضر به گروه‌های مسن‌تر، بااحتیاط اقدام کرد. علاوه بر این، در این مطالعه باهدف کنترل حداکثری عوامل مخدوش گر ازجمله مواجهه قبلی با روشنایی و ایجاد شرایط یکسان برای کلیه شرکت‌کنندگان قبل از مواجهه با وضعیت‌های روشنایی موردمطالعه، از یک دوره آماده‌سازی (روشنایی خیلی کم) استفاده گردید (۳۹-۴۲). این رویکرد ضمن افزایش دقت نتایج مطالعه به‌عنوان یک نقطه قوت، اما ممکن است، تعمیم نتایج مطالعه حاضر را به شرایط واقعی محیط کار یا زندگی روزمره، کاهش داده باشد.

17 - Actigraphy

نتیجه گیری

در شرایط طبیعی (افراد سالم و با الگوی خواب- بیداری ۸ ساعته منظم)، گرچه تفاوت معنی داری میان تأثیر شدت روشنایی ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس در دمای رنگ ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ کلوین بر متغیرهای موردبررسی (سیگنال‌های مغزی آلفا، تتا، آلفا-تتا، بتا و شاخص خواب‌آلودگی) به جزء شاخص خلق‌وخوی وجود نداشته، اما روند کلی نشان از تأثیر مثبت‌تر شدت روشنایی ۵۰۰ لوکس بر متغیرهای موردمطالعه می‌باشد. بر اساس نتایج مطالعه و عدم وجود اختلاف معنی‌دار میان تأثیر وضعیت‌های روشنایی ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ کلوین بر سطح هوشیاری و عملکرد شناختی، اما با توجه به تأثیر مثبت وضعیت روشنایی ۸۰۰۰ کلوین بر وضعیت خلق‌وخوی افراد، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این وضعیت روشنایی می‌تواند به‌عنوان یک گزینه عملی‌تر برای استفاده از اثرات غیر تصویری روشنایی در محیط کار و محیط زندگی، مدنظر قرار گیرد، گرچه مطالعات بیشتری در این زمینه، موردنیاز می‌باشد. در ادامه مطالعات قبلی، مطالعه حاضر، ضمن ارائه شواهد دیگری مبنی بر تأثیر روشنایی بر فرایندهای فیزیولوژیک و نوروفیزیولوژیک بدن انسان، پیشنهاد می‌کند که طراحی و استفاده از مداخلات روشنایی می‌تواند به‌عنوان راهکار کمکی در کنار سایر مداخلات برای بهبود سطح هوشیاری و عملکرد استفاده شود. گرچه مطالعات بیشتری برای تصمیم‌گیری در مورد پارامترهای بهینه روشنایی مانند توزیع طیفی نور و شدت روشنایی موردنیاز می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان به خاطر حمایت مالی این مطالعه در قالب طرح شماره ۹۵۰۹۰۹۵۲۲۶ تشکر و قدردانی می‌نمایند. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دوره دکترای تخصصی (Ph.D) دانشگاه علوم پزشکی همدان در رشته مهندسی بهداشت حرفه‌ای است.

REFERENCES

1. Leech JA, Nelson WC, T Burnett R, Aaron S, Raizenne ME. It's about time: a comparison of Canadian and American time–activity patterns. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. 2002;12(6):427.
2. Spitschan M, Stefani O, Blattner P, Gronfier C, Lockley SW, Lucas RJ. How to report light exposure in human chronobiology and sleep research experiments. Clocks & sleep. 2019;1(3):280-9.
3. Figueiro M, Nagare R, Price L. Non-visual effects of light: How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. Light. Res. Technol. 2018;50(1):38-62.
4. Chellappa SL, Gordijn MC, Cajochen C. Can light make us bright? Effects of light on cognition and sleep. Progress in brain research. 190: Elsevier; 2011. p. 133-139.
5. 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.
6. 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.
7. 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. Journal of circadian rhythms. 2018;16.
8. 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. 2018; 57(4): 511–524.
9. Veitch JA, Newsham GR. Determinants of lighting quality I: State of the science. Journal of the Illuminating Engineering Society.1998; 27(1):92-106.
10. Barkmann C, Wessolowski N, Schulte-Markwort M. Applicability and efficacy of variable light in schools. PHYSIOL BEHAV. 2012;105(3):621-7.
11. Van Bommel W, Van den Beld G. Lighting for work: a review of visual and biological effects. Light. Res. Technol. 2004;36(4):255-66.
12. Viola AU, James LM, Schlangen LJ, Dijk D-J. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. Scand J Work Environ Health. 2008:297-306.
13. Rahchamani M S ZA, azam K. Comparative Survey on the Effect of Fluorescent Lamps & LED Color Temperature on Staffs Psychologically Indicators at the Office. ioh. 2018;15(5):30-7. [Persian]
14. Baek H, Min B-K. Blue light aids in coping with the post-lunch dip: an EEG study. Ergonomics. 2015;58(5):803-10.
15. 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.
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. Revell VL, Arendt J, Fogg LF, Skene DJ. Alerting effects of light are sensitive to very short wavelengths. Neurosci Lett. 2006;399(1-2):96-100.
18. Mills PR, Tomkins SC, Schlangen LJ. The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. Journal of circadian rhythms. 2007;5(1):2.
19. Lehrl S, Gerstmeyer K, Jacob J, Frieling H, Henkel A, Meyrer R, et al. Blue light improves cognitive performance. J. Neural Transm. 2007;114(4):457-60.
20. 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.
21. 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.
22. Rea MS. The IESNA lighting handbook: reference & application. 2000.
23. Halonen L, Tetri E, Bhusal P. Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings. Espoo, Finland: Department of Electrical Engineering, Aalto University. 2010.
24. 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.
25. Rüger M, Gordijn MC, Beersma DG, De Vries B, Daan S. Weak relationships between suppression of melatonin and suppression of sleepiness/fatigue in response to light exposure. J Sleep Res. 2005;14(3):221-7.
26. Sanaz A. The Influence of light on student's learning performance in learning environments: A knowledge internalization perspective. World Acad Sci Eng Technol. 2011;81.
27. Rea MS. The IESNA lighting handbook: reference & application: Illuminating Engineering Society of North America New York; 2000.
28. 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.
29. Smolders KC, de Kort YA. Investigating daytime effects of correlated colour temperature on experiences, performance, and arousal. J. Environ. Psychol. 2017;50:80-93.
30. EN U. Light and lighting. Lighting of work places, Part 1: Indoor work places. 2011.
31. DiLaura DL, Houser KW, Mistrick RG, Steffy GR. The lighting handbook: Reference and application: Illuminating Engineering Society of North America New York; 2011.
32. Keis O, Helbig H, Streb J, Hille K. Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance. Trends Neurosci Educ. 2014;3:86-92.
33. Buysse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. J Psychiatr Res. 1989;28(2):193-213.
34. Horne JA, Östberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. Chronobiol. Int. 1976.
35. Rahafar A, SadeghiA JM, Sadeghpour A, Mirzaie S. Surveying psychometric features of Persian version of Morning-Eventide Questionnaire. 2013.
36. Smolders KC, de Kort YA. Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. J Environ Psychol. 2014;39:77-91.
37. Standard C. Lighting of indoor work places. CIE S. 2001;8.
38. Koohpaye SH, Zakerian SA, Kakooei H. Lighting measurement in Shemiranat health center based on EN 12464-1 European standard. Journal of Health and Safety at Work. 2013;3(1):11-8. [Persian]
39. 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.
40. 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.
41. Phipps-Nelson J, Redman JR, Schlangen LJ, Rajaratnam SM. Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. Chronobiol Int. 2009;26(5):891-912.
42. Sahin L, Figueiro MG. Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. PHYSIOL BEHAV. 2013;116:1-7.
43. 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.
44. Nejati V ZA, Nikfarjam M.R. The relationship of mindfulness with sustained and selective attentional performance. Cogn Sci. 2012;2(3):31-42.
45. Baulk SD, Fletcher A, Kandelaars KJ, Dawson D, Roach GD. A field study of sleep and fatigue in a regular rotating 12-h shift system. Appl. Ergon. 2009;40(4):694-8.
46. 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. Neuropsych. 2007;22(2):151-60.
47. Wessel JR. Prepotent motor activity and inhibitory control demands in different variants of the go/no-go paradigm. J. Psychophysiol. 2018;55(3): 121-8.
48. 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.
49. 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.
50. Kane MJ, Conway AR, Miura TK, Colflesh GJ. Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity. J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn. 2007;33(3):615.
51. 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. J Clin Neurophysiol. 2006;117(7):1574-81.

52. Åkerstedt T, Gillberg M. Subjective and objective sleepiness in the active individual. J. Neurosci. 1990;52(1-2):29-37.

53. 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.

54. Nomenclature SEP. American Electroencephalographic Society Guidelines for. Clin Neurophysiol. 1991;8(2):200-2.

55. Park JY, Ha R-Y, Ryu V, Kim E, Jung Y-C. Effects of color temperature and brightness on electroencephalogram alpha activity in a polychromatic light-emitting diode. CLIN PSYCHOPHARM NEU. 2013;11(3):126.

56. 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.

57. 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.

58. Gillberg M, Kecklund G, Åkerstedt T. Relations between performance and subjective ratings of sleepiness during a night awake. Sleep. 1994;17(3):236-41.

59. Abdi H. The greenhouse-geisser correction. Encyclopedia of research design. 2010;1:544-8.

60. 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. Environ Behav. 2017;51(2): 199-230.

61. Oh JH, Yang SJ, Do YR. Healthy, natural, efficient and tunable lighting: four-package white LEDs for optimizing the circadian effect, color quality and vision performance. Light Sci. Appl. 2014;3(2): 141-8.

62. 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: 449-458.

63. Berson DM, Dunn FA, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Science. 2002;295(5557):1070-3.

64. 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.

65. Holzman DC. What's in a color? The unique human health effects of blue light. Environ. Health Perspect. 2010;118(1): 22-27.

66. Hatori M, Panda S. The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light. Trends Mol Med. 2010;16(10):435-46.

67. LeGates TA, Fernandez DC, Hattar S. Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect. Nat. Rev. Neurosci. 2014;15(7):443.

68. 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 homeostasis. J. Biol. Rhythms. 2011;26(3):249-59.

69. 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.

70. Min B-K, Jung Y-C, Kim E, Park JY. Bright illumination reduces parietal EEG alpha activity during a sustained attention task. Brain Res. J. 2013;1538:83-92.

71. Boray PF, Gifford R, Rosenblood L. Effects of warm white, cool white and full-spectrum fluorescent lighting on simple cognitive performance, mood and ratings of others. J. Environ. Psychol. 1989;9(4):297-307.

72. Boyce P, Rea M. A field evaluation of full-spectrum, polarized lighting. Journal of the Illuminating Engineering Society. 1994;23(2):86-107.

73. Veitch JA, Gifford R, Hine DW. Demand characteristics and full spectrum lighting effects on performance and mood. J. Environ. Psycho. 1991;11(1):87-95.

74. Leger D, Bayon V, Elbaz M, Philip P, Choudat D. Underexposure to light at work and its association to insomnia and sleepiness: A cross-sectional study of 13 296 workers of one transportation company. J. Psychosom. Res. 2011;70(1):29-36.

75. Nicol F, Wilson M, Chiancarella C. Using field measurements of desktop illuminance in European offices to investigate its dependence on outdoor conditions and its effect on occupant satisfaction, and the use of lights and blinds. Energy Build. 2006;38(7):802-13.

76. Vandewalle G, Schwartz S, Grandjean D, Wuillaume C, Balteau E, Degueldre C, et al. Spectral quality of light modulates emotional brain responses in humans.

Proceedings of the National Academy of Sciences. 2010;107(45):19549-54.

77. Borisuit A, Linhart F, Scartezzini J-L, Münch M. Effects of realistic office daylighting and electric lighting conditions on visual comfort, alertness and mood. Light. Res. Technol. 2015;47(2):192-209.

78. Sleegers P, Moolenaar N, Galetzka M, Pruyn A, Sarroukh B, Van der Zande B. Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. Light. Res. Technol. 2013;45(2):159-175.

79. Dehghan H. The relationship of sleep quality and mental fatigue in different levels of lighting on attention and reaction time in thermal comfort condition. Ioh. 2017;14(5):95-84. [Persian]

80. Kakooei H, Rahimi MH, Hosseini M. The role of bright light during night work on stress and health status of shift work nurses. International journal of occupational hygiene. 2009:46-50.

81. Zare A, Malakouti Khah M, Garosi E, Gharib S, Zakerian SA. The effect of increased light intensity on workload, sleepiness, eye fatigue, and the degree of satisfaction of individuals from the light conditions in the control room of a power plant. Journal of Health and Safety at Work. 2018;8(3):237-50. [Persian]