



Effect of occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on level of thyroid hormones effective on fatigue

Roohalah Hajizadeh, Department of Occupational Health, Work Health Research Center, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

Ahmad Mehri, Department of Occupational Health, School of Public Health, Iranshahr University of Medical Sciences, Iranshahr, Iran

Seyed Mohammad Hassan Razavi, BSc in Occupational Health, Health Center, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

✉ **Somayeh Farhang Dehghan**, (*Corresponding author) Assistant Professor, Department of Occupational Health and Safety at Work, Workplace Health Promotion Research Center, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. somayeh.farhang@gmail.com

Yoosef Faghini Torshizi, PhD of Computer Sciences, Occupational Health Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Abstract

Background and aims: ELF-EMFs (Extremely Low Frequency Magnetic Fields) are a type of non-ionizing radiation. ELF-EMFs are produced by the electromagnetic radiation of electrical equipment such as air power transmission lines or anything that electrical current passes through it. Several studies have shown that ELF fields can have direct adverse health consequences. It has been indicated that exposure to ELF-EMF could lead to genotoxic effects and DNA damage, an increased risk of some cancers, depression, headaches, sleep disturbances, an increased risk of infertility and adverse pregnancy outcomes. Occupational exposure to ELF-EMF was mainly occurred in industrial processes such as welding which contains electronic elements. Welding is a common indispensable procedure in engineering works and over five million workers around the world are engaged in. Thyroid hormones have a role in fetal growth and development and regulation of the metabolism in adults and any thyroid hormone deficiency can lead to adverse mental health effects such as mood disorders like depression, drowsiness and fatigue. Work forces' fatigue as an occupational hazard can be considered a significant problem in modern industry, since it can lead to loss in productivity, occurrence of human errors and occupational accident. The aim of this study was to assess exposure to extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMFs) and its effects on secretion of thyroid hormones associated with symptoms of fatigue on electric arc welding workers.

Methods: This case-control study was conducted to investigate the effects of extremely low frequency magnetic fields on level of Triiodothyronine hormone (T3), thyroxine hormone (T4) and thyroid stimulating hormone (TSH) secretion in welders (who are occupationally exposed to ELF-EMFs) and non-welders (as an unexposed group) in a mold making company. Through referring employee's medical records and consultation with occupational medicine specialist, people with known mental and physical illness were excluded from the study. Then 35 arc welders having more than one year of experience were simple randomly selected as exposed group and 35 non-welders were simple randomly selected as unexposed one. The age difference between the two groups should not be more than a year old. A signed informed consent had been obtained from all participants. Ethical approval was granted by the Research Ethics Committee of Qom University of Medical Sciences. In order to determine the level of thyroid hormones, blood samples were taken for both groups at the same time before starting working. Then, the samples were transported to the laboratory and stored at temperature less than -20°C. The enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) test was used to measure the level of T3 and T4 in plasma, and electrochemiluminescence immunoassay (ECLIA) method was used to measure plasma TSH. Extremely low frequency magnetic fields were measured using an electromagnetic field meter. Measurements were carried out in the area of the hand, neck, trunk and head and also at the intervals of 0.5, 1 and 2 meters of welding equipment, according to NIOSH (National Institute of Occupational

Keywords

Extremely low frequency electromagnetic fields,
Thyroid hormones,
Arc welding,
Fatigue

Received: 31/07/2018

Accepted: 18/04/2019

Safety and Health) guideline. Fatigue assessment was done using Samn-Perelli seven-point fatigue scale. This questionnaire is a subjective measure tool for assessing the own level of fatigue, where 1 = fully alert, wide awake and 7 = completely exhausted, unable to function effectively. This is sensitive to fatigue outside laboratory conditions and it can be easily administered in the field. Analysis was performed using SPSS v.20 software. Analytical statistics including t-test, chi-squared test, Analysis of variance (ANOVA) were used to compare the results between the groups. Also, the Pearson correlation coefficient is used to measure the strength of a linear association between variables. Normality of the study data was tested with a 1-sample Kolmogorov-Smirnov test. The significance level was set to 0.05.

Results: Demographic analysis showed that the mean age in exposed and unexposed groups were 38 (± 6.03) and 39 (± 6.02) years, respectively. The mean body mass index (BMI) and duration of employment of the exposed and unexposed participants were 25.76 (± 6.31) and 26.04 (± 5.98) Kg/m² and 13.02 (± 5.20) and 13.04 (± 4.11) years, respectively. There was no statistically significant difference between two groups in case of all studied demographic variables ($p > 0.05$). The result of Kolmogorov-Smirnov (KS) test showed that all of the studied variables follow a normal distribution ($p > 0.05$). The highest exposure level was found in the hand area (2683.8 mG) and the lowest one was obtained at a distance of 2 meters from the Welding equipment (122.2 mG). The mean exposure to ELF in exposed group, in all measurement areas, had a significant difference with the unexposed one ($p < 0.0001$). According to the threshold limit values (TLV) of American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), occupational exposure limit is between 0.2 to 60 mT (2,000 to 600,000 mG) which can be changed at different frequencies. Based on the obtained results, overall exposure to extremely low frequency magnetic field is less than the recommended values by ACGIH in all participants. The mean levels of T4 and TSH were significantly lower in the exposed group than non-welders ($p < 0.05$). However, the mean level of T3 in the arc welders was lower than the unexposed group, but this difference was not statistically significant ($p < 0.05$). Thyroid hormone levels in 23 subjects (65%) of welders fell outside of the normal range at least in case of one the hormones; while thyroid hormone levels only for 15 subjects (42%) of non-welders wasn't in the normal range at least in case of one the hormones. There is no significant correlation between demographic parameters such as age, BMI, and duration of employment with the T3, T4, TSH hormones in exposed and unexposed groups ($p > 0.05$). The percentage of individual fatigue in welders had a significant difference with non-welders ($p < 0.01$). There is a weak positive relationship between ELF-MF exposure value and level of thyroid hormones ($p > 0.05$) and also, the score of fatigue significantly increases by reducing T3 and T4 hormones ($p < 0.05$).

Conclusion: As a result of this study, the blood level of thyroid hormone in the exposed group was less than the unexposed one, so that the mean difference for T4 and TSH hormones were statistically significant. Moreover, the prevalence of the hormone disruption among welders was higher than the unexposed group. According our findings, the fatigue is more common in welders than non-welders. The results showed that welding can be considered one of ELF field sources. Consistent long-term exposure to ELF-EMFs from the welding process may result in abnormalities in thyroid hormones T4 and TSH, and may increase fatigue in welders. Regarding welding processes being widely used; preventive measures to ELF exposure should be adopted. Since there is no practical and cost-effective method for protection against extremely low frequency magnetic fields, it should be better to limit exposure time to these fields. In conclusion, Exposure to ELF-EMFs may disrupt the thyroid hormone secretion such as T4 and TSH levels and may increase the fatigue level. This study is only a starting point and many issues need to be addressed for drawing definite conclusions.

Conflicts of interest: None

Funding: Qom University of Medical Sciences

How to cite this article:

Hajizadeh R, Mehri A, Razavi SMH, Dehghan SF, Faghihnia Torshiz Y. Effect of occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on level of thyroid hormones effective on fatigue. *Iran Occupational Health*. 2019 (Apr-May);16(1):1-12.

This work is published under [CC BY-NC-SA 1.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



تأثیر میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین بر سطح هورمون‌های تیروئیدی مؤثر در خستگی

روح اله حاجی زاده: گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات سلامت کار، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران
 احمد مهری: کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی ابرانشهر، ایران
 سید محمد حسن رضوی: کارشناس بهداشت حرفه‌ای، مرکز بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران
 سمیه فرهنگ دهقان: (* نویسنده مسئول) استادیار، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت محیط کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران somayah.farhang@gmail.com
 یوسف فقیه نیا ترشیزی: دکتری علوم کامپیوتر، مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین،
 هورمون‌های تیروئیدی،
 جوشکاری قوس الکتریکی،
 خستگی

زمینه و هدف: افراد زیادی در سراسر جهان با میدان‌های میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین (ELF) مواجهه دارند و تعداد کثیری نیز در حرفه جوشکاری در کارگاه‌های کوچک، صنایع بزرگ و کارگاه‌های ساختمان سازی مشغول به کار هستند، با این حال مطالعات محدودی در مورد ارزیابی میدان‌های مغناطیسی ELF ناشی از حرفه جوشکاری و عوارض آن بر روی بدن انسان انجام گرفته است. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین ناشی از جوشکاری بر روی سطح هورمون‌های تیروئیدی T3 (تری-یدوتیرونین)، T4 (تیروکسین) و TSH (هورمون محرک تیروئید) انجام گرفت که مؤثر بر عملکرد زیستی بدن و مرتبط با بروز علائم خستگی هستند.

روش بررسی: این مطالعه مقطعی در یک شرکت قالب سازی بر روی ۳۵ نفر جوشکار قوس الکتریکی به عنوان گروه مواجهه و ۳۵ نفر افراد غیر جوشکار به عنوان شاهد انجام گرفت. میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم در ناحیه دست، گردن، تنه و سر جوشکاران و همچنین در فواصل ۱/۵، ۲ و ۳ متری از دستگاه جوشکاری طبق راهنمای مرکز تحقیقات ملی بهداشت و ایمنی کار آمریکا (NIOSH) با استفاده از ELF سنج کالیبره شده اندازه گیری گردید. خون‌گیری به منظور تعیین سطح هورمون‌های تیروئیدی برای هر دو گروه هم زمان قبل از شروع به کار در بازه زمانی ۸ تا ۱۰ صبح صورت گرفت. سطح هورمون‌های T3، T4 و TSH در هر دو گروه توسط تست ایمونوسورسنت مرتبط با آنزیم (ELISA) مورد بررسی قرار گرفت. جهت ارزیابی تاثیر میدان مغناطیسی ELF بر میزان خستگی جوشکاران، از مقیاس خستگی هفت نقطه‌ای Perelli Samn استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS V20 و آزمون‌های آماری t-test، chi-squared و ANOVA، ضریب همبستگی انجام گردید.

یافته‌ها: تجزیه و تحلیل اطلاعات نشان داد که در مورد همه متغیرهای دموگرافیک مورد مطالعه اختلاف آماری معنی داری بین دو گروه وجود ندارد ($p > 0.05$). بیشترین شدت میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین در جوشکاری در ناحیه دست ($2683/66 \pm 80/83$ میلی‌گوس) و کمترین مقدار آن در فاصله ۲ متری دستگاه جوشکاری ($112/98 \pm 20/95$ میلی‌گوس) بدست آمد. میانگین مواجهه با ELF در گروه مواجهه یافته در تمام نواحی اندازه گیری شده اختلاف معناداری با میانگین مواجهه با گروه شاهد داشت ($p < 0.001$). سطح هورمون‌های تیروئیدی جوشکاران کمتر از گروه شاهد و اختلاف میانگین هورمون‌های T4 و TSH بین دو گروه از لحاظ آماری معنادار بود ($p < 0.05$). شیوع اختلالات هورمون‌های مورد بررسی در مقایسه با دامنه طبیعی آن‌ها و همچنین میزان خستگی در گروه مواجهه بیشتر از گروه شاهد بود. بین میزان مواجهه با میدان مغناطیسی ELF و سطح هورمون‌های تیروئید رابطه مثبت ضعیفی وجود داشت ($p > 0.05$, $r = 0.12$). همچنین نمره خستگی با کاهش سطح هورمون‌های T3 و T4 افزایش یافت ($p < 0.05$). بین سطح مواجهه با میدان مغناطیسی ELF و نمره خستگی نیز ارتباطی مستقیم و از نظر آماری معنی‌دار حاصل شد ($p < 0.05$, $r = 0.54$).

نتیجه‌گیری: مواجهه با میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین ممکن است تغییرات سطح هورمون‌های تیروئیدی مانند T4 و TSH و افزایش خستگی افراد در معرض را بدنبال داشته باشد. با این حال برای نتیجه‌گیری قطعی‌تر لازم است مطالعه‌ای جامع‌تر با در نظر گرفتن فاکتورهای تاثیر گذار بیشتر انجام پذیرد.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی قم

شیوه استناد به این مقاله:

Hajizadeh R, Mehri A, Razavi SMH, Farhang Dehghan S, Faghihnia Torshiz Y. Effect of occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on level of thyroid hormones effective on fatigue az, Iran. Iran Occupational Health.2019 (Apr-May);16(1):1-12.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 1.0 صورت گرفته است

مقدمه

منابع تابشی فراوانی در محیط‌های زندگی و کار وجود دارند که در صورت استفاده صحیح می‌توانند نقش مفید و مثبت در زندگی بشر داشته باشند؛ در حالیکه اگر بدون توجه به خطرات بالقوه آنها، مورد استفاده قرار گیرند می‌تواند سلامتی افراد را به خطر اندازد. میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین (ELF) نوعی از امواج غیر یونساز بوده و از تابش امواج الکترومغناطیس ساطع شده از تجهیزات الکتریکی (از قبیل خطوط برق هوایی یا هر چیزی که جریان الکتریسیته از آن عبور می‌کند) ناشی می‌شوند (۱). امروزه میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس‌های مختلف و شدت‌های بالا به عنوان فاکتوری مهم در محیط پیرامون انسان مطرح است و به دلیل ایجاد عوارض محتمل بر سلامتی انسان، توجه مراکز تحقیقاتی را به خود جلب کرده است (۲). در دهه‌های اخیر مواجهه انسان با میدان مغناطیسی ELF در کشورهای توسعه یافته به صورت گسترده‌ای افزایش یافته است. با استفاده روز افزون از وسایل الکتریکی، بشر در معرض مواجهه با این تابش قرار می‌گیرد. به دنبال پیشرفت‌های فن‌آوری و حضور پر رنگ‌تر این امواج در محیط پیرامون، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تاثیر آن‌ها بر روی سیستم‌های زیستی انجام گرفته است. برخی مطالعات اپیدمیولوژیکی اخیر نشان داده‌اند که میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین بر روی سلامتی انسان تاثیر نامطلوب می‌گذارند (۳،۴). مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که میدان‌های مغناطیسی ELF با شدت بالا ممکن است منجر به نقص ژنتیکی، آسیب به DNA (۵)، افزایش انواع خاصی از سرطان‌ها (۶)، افسردگی، خستگی، سردرد، اختلال خواب (۷،۸) و اثر سوء بر بارداری (۹) گردد. استفاده از تجهیزات الکتریکی در صنایع مختلف و همچنین در محیط‌های زندگی باعث افزایش مواجهه انسان با این تابش‌ها شده است (۱۰). عمده‌تأ مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی در فرایندهای صنعتی مانند جوشکاری که دارای تجهیزاتی با جریان‌های الکتریکی هستند، ایجاد می‌شود. میدان‌های مغناطیسی توسط

هرگونه کابل کشی یا تجهیزات حامل جریان الکتریکی از قبیل خطوط برق هوایی یا زمینی، سیم‌کشی منازل، تجهیزات پزشکی، وسایل الکتریکی، جوشکاری و غیره تولید می‌شوند (۱۱،۱۲).

چگالی شار مغناطیسی در محل استقرار اپراتور در اطراف انواع مختلف ماشین‌های جوشکاری، کوره‌ها و گرم‌کننده‌های القایی فرکانس پایین از حدود $1 \mu\text{T}$ تا بیشتر از 10mT متغیر است (۱۳). جوشکاری قوس الکتریکی به عنوان یک منبع قابل توجه مواجهه با میدان‌های مغناطیسی ELF شناخته شده است. طبق مطالعات، شدت مواجهه با میدان‌های مغناطیسی در جوشکاری قوس الکتریکی ممکن است از مقادیر توصیه شده کمیسیون بین‌المللی حفاظت از تشعشعات غیر یونیزه (ICNIRP) فراتر روند (۱۴). با وجود مطالعات انجام شده در خصوص ارزیابی مواجهه جوشکاران با میدان‌های مغناطیسی ELF، در کمتر مطالعه‌ای به بررسی تاثیرات زیستی ناشی از میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین در جوشکاران پرداخته شده است. اثرات سوء احتمالی این میدان‌ها در فرآیندهای جوشکاری می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد، زیرا که در آن‌ها از جریان‌های الکتریکی نسبتاً بالا، تا حدود چند صد آمپر، استفاده می‌شود (۱۴).

سلول‌های غده تیروئید، هورمون‌های مختلفی مانند تیروکسین (T4)، تری‌یدوتیرونین (T3) ترشح می‌کنند که معمولاً هورمون‌های تیروئیدی نامیده می‌شوند. این دو هورمون در رشد و نمو سلول‌های جنینی و همچنین تنظیم متابولیسم بدن در بالغین نقش دارند. برای ترشح این دو هورمون ابتدا هورمون آزادکننده تیروتروپین (TRH) در هیپوتالاموس تولید شده که باعث ترشح هورمون محرک تیروئید (TSH) و این هورمون محرک تولید این دو هورمون می‌شود. این زنجیره هورمونی دارای تنظیم برگشتی منفی است (۱۵). کمبود این هورمون‌ها در اثر کم‌کاری غده تیروئید و ترشح بیش از حد آن‌ها در خون در اثر پرکاری غده تیروئید هر کدام منجر به بروز عوارض سوء سلامتی از قبیل اختلالات خلقی مانند افسردگی، خواب‌آلودگی و کسالت، خستگی زودرس ناشی از کم‌کاری و حالاتی چون بی

² International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

¹ Extremely low frequency

به ضریب همبستگی مطالعه پایلوت، مقدار ضریب همبستگی بین دو متغیر TSH و ELF به صورت زیر محاسبه شد:

$$\omega = 1/2\ln(1+r)/(1-r)=0.57 \quad \text{رابطه (۱)}$$

r: ضریب همبستگی مطالعه پایلوت
با توجه به ضریب همبستگی (ω) و توان آزمون و سطح خطا مقدار حجم نمونه بر اساس فرمول ۲ بدست آمد:

$$N = (Z1-\alpha/2 + Z1-\beta)^2 / (0.57)^2 + 3 = 27$$
$$(1.96 + 0.84)^2 / (0.57)^2 + 3 = 27$$

α : سطح خطا، $1-\beta$: توان آزمون، z: ضریب اطمینان.
بر اساس فرمول مربوطه تعداد نمونه مورد نیاز برای مطالعه ۲۸ نفر برآورد شد که جهت رسیدن به نتایج دقیق‌تر، تعداد نمونه مورد و شاهد را تقریباً ۲۵ درصد بیشتر در نظر گرفته شد و بطور کلی در این پژوهش تعداد ۳۵ مرد به عنوان گروه مواجهه یافته و ۳۵ نمونه شاهد که در محیط کار با میدان‌های مغناطیسی ELF مواجهه نداشتند و همگی مرد بودند، به صورت تصادفی انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از پرونده‌های پزشکی و مشاوره با متخصص طب کار شرکت، افرادی که سابقه مشکلات تیروئیدی یا بیماری خاص فیزیکی و یا ذهنی داشتند از جامعه پژوهش حذف می‌شدند. سپس ۳۵ نفر جوشکار قوس الکتریکی که سابقه کار بیش از یک سال در جوشکاری داشتند به عنوان گروه مواجهه یافته انتخاب شدند و ۳۵ نفر هم افراد غیر جوشکار انتخاب گردیدند. سن افراد گروه شاهد نبایستی بیش از یک سال با سن گروه مورد اختلاف می‌داشت. فرم رضایت نامه آگاهانه به امضای همه شرکت کنندگان رسید و تایید اخلاقی طرح پژوهشی حاضر توسط کمیته اخلاق در تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی قم انجام شد.

تعیین سطح هورمون‌های تیروئیدی

خون‌گیری به منظور تعیین سطح هورمون‌های تیروئیدی برای هر دو گروه هم‌زمان قبل از شروع به کار در بازه زمانی ۸ تا ۱۰ صبح صورت گرفت. خون‌گیری در یک روز و توسط کارشناس مجرب آزمایشگاه تشخیص طبی مطابق پروتکل‌های استاندارد آن حیطة تخصصی انجام شد. سپس نمونه‌ها به

قراری و تحریک پذیری، کاهش تمرکز و تنش‌های عصبی ناشی از پرکاری غده تیروئید می‌شوند (۱۶).
خستگی نیروی کار به عنوان یک خطر شغلی می‌تواند یک مشکل مهم در صنایع مدرن باشد، زیرا باعث مشکلات سلامتی و ایمنی مانند کاهش توانایی‌های فیزیکی و ذهنی، کاهش انگیزه، کاهش هوشیاری، کاهش تمرکز، مشکلات حافظه و پردازش اطلاعات می‌گردد؛ بنابراین می‌تواند منجر به از دست رفتن بهره‌وری، وقوع خطاهای انسانی و حوادث شغلی شود (۱۷).
علی‌رغم آنکه افراد زیادی در سراسر جهان با میدان‌های ELF مواجهه دارند و افراد زیادی نیز در حرفه جوشکاری در کارگاه‌های کوچک، صنایع بزرگ و کارگاه‌های ساختمان‌سازی مشغول به کار هستند، مطالعات محدودی در مورد ارزیابی میدان‌های مغناطیسی ELF ناشی از حرفه جوشکاری و عوارض آن بر روی بدن انسان انجام گرفته است. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین ناشی از جوشکاری بر روی سطح هورمون‌های تیروئیدی T3 (تری‌یدوتیرونین)، T4 (تیروکسین) و TSH (هورمون محرک تیروئید) انجام گرفت که موثر بر عملکرد زیستی بدن و مرتبط با بروز علائم خستگی هستند.

روش بررسی

این مطالعه مقطعی با هدف بررسی اثر میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین بر سطح هورمون‌های T3، T4 و TSH در مشاغل جوشکار (به عنوان گروه مواجهه یافته) و غیر جوشکار (به عنوان گروه شاهد) یک شرکت قالب‌سازی که قالب‌های آهنی برای بتن‌ریزی در کارهای ساخت و ساز را می‌ساخت، در سال ۱۳۹۶ صورت گرفت.

جامعه پژوهش

برای تعیین حجم نمونه توان آزمون مورد مطالعه (1- β) را ۰/۸ و سطح خطا α را حدود ۰/۱ در نظر گرفته شد. با توجه به مطالعه پایلوت (مقدماتی) انجام گرفته، مقدار ضریب همبستگی بین دو متغیر TSH و میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین بیشتر از متغیرهای دیگر و برابر با ۰/۵۱۶- بدست آمد. با توجه

شده با آنزیم HRP به چاهک اضافه می‌شود. در این روش از ۸- آنیلینو- ۱- نفتالن سولفونات (ANS) برای جدا کردن T4 از پروتئین‌های پلاسما برای اندازه‌گیری غلظت توتال T4 استفاده می‌شود. در زمان انکوباسیون، T4-HRP و T4 موجود در سرم و استاندارد برای اتصال به آنتی بادی مونوکلونال Anti-T4 موجود در کف چاهک‌ها رقابت می‌کنند. پس از ۴۵ دقیقه انکوباسیون در دمای اتاق، چاهک‌ها با محلول شستشو شسته می‌شوند. با افزودن محلول سوبسترا - رنگزا و انکوباسیون بمدت ۱۵ دقیقه رنگ آبی بوجود می‌آید. تولید رنگ با افزودن محلول توقف متوقف می‌گردد و رنگ آبی به زرد تبدیل می‌شود که شدت جذب در nm 450 اندازه‌گیری می‌شود. شدت رنگ رابطه معکوسی با غلظت T4 در نمونه مورد آزمایش دارد (۲۰).

ارزیابی میدان مغناطیس با فرکانس بی‌نهایت پایین:
میدان مغناطیس با فرکانس بی‌نهایت پایین با استفاده از ELF سنج کالیبره شده مدل TES1394 ساخت کشور تایوان در ناحیه دست، تنه، سر، گردن و در فواصل ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتیمتر از تجهیزات جوشکاری طبق راهنمای مرکز تحقیقات ملی بهداشت و ایمنی شغلی آمریکا (NIOSH) اندازه‌گیری شد (۲۱). در هر ناحیه برای هر جوشکار سه بار اندازه‌گیری صورت گرفت و میانگین سه بار اندازه‌گیری در نتایج آورده شده است.

ارزیابی خستگی ذهنی

جهت ارزیابی تاثیر میدان مغناطیس ELF بر میزان خستگی جوشکاران، از مقیاس خستگی هفت نقطه‌ای Perelli Samn- استفاده شد (۲۲). این پرسشنامه یک ابزار اندازه‌گیری ذهنی برای ارزیابی سطح خستگی فرد است که در آن ۱ = کاملاً بیدار و دارای احساس هوشیاری کامل تا ۷ = کاملاً خسته و خالی از انرژی، عدم توانایی در انجام کار به طور کارآمد و مؤثر می‌باشد. این ابزار حساس به ارزیابی خستگی در خارج از شرایط آزمایشگاهی است و می‌تواند به راحتی در عرصه و محیط کار استفاده شود. اعتبار صوری نسخه فارسی این مقیاس با استفاده از روش Translation Backward قبلاً مورد بررسی و تأیید نهایی قرار گرفته است (۲۳).

آزمایشگاه منتقل و تا زمان آنالیز در دمای کمتر از ۲۰- سانتیگراد نگهداری شدند. سرم نمونه‌ها پس از سانتریفیوژ به مدت ده دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه، از آن جدا گردید. اندازه‌گیری مقدار هورمون‌های T3 و T4 در سرم از طریق تست ایمنوسورسنت مرتبط با آنزیم (ELISA) با کیت شرکت Padyab Teb (Thyroid) ELISA kits-ایران) و دستگاه الیزا ریدر مدل-ELX-800 ساخت شرکت BioTek (ایالات متحده آمریکا) صورت گرفت (۱۸). در این تست الیزا از آنتی بادی مونوکلونال اختصاصی که بر علیه یکی از شاخص‌های آنتی ژنیک مولکول T3 تهیه شده است، استفاده می‌شود. به این شکل که چاهک‌ها با غلظت مشخصی از مونوکلونال آنتی بادی Anti-T3 پوشش داده می‌شوند. مقدار مشخصی سرم و آنتی ژن T3 کونژوگه شده با آنزیم پراکسیداز ترب کوهی (HRP) به چاهک اضافه می‌شود. در این روش از ۸- آنیلینو- ۱- نفتالن سولفونات (ANS) برای جدا کردن T3 از پروتئین‌های پلاسما برای اندازه‌گیری غلظت توتال T3 استفاده می‌شود. در زمان انکوباسیون، T3-HRP و T3 موجود در سرم و استاندارد برای اتصال به آنتی بادی مونوکلونال Anti-T3 موجود در کف چاهک‌ها رقابت می‌کنند. پس از ۴۵ دقیقه انکوباسیون در دمای اتاق، چاهک‌ها با محلول شستشو شسته می‌شوند. با افزودن محلول سوبسترا - رنگزا و انکوباسیون بمدت ۱۵ دقیقه رنگ آبی بوجود می‌آید. تولید رنگ با افزودن محلول توقف متوقف می‌گردد و رنگ آبی به زرد تبدیل می‌شود که شدت جذب در nm 450 اندازه‌گیری می‌شود. شدت رنگ رابطه معکوسی با غلظت T3 در نمونه مورد آزمایش دارد (۱۹). تعیین سطح هورمون TSH سرم از طریق تست ELISA با کیت شرکت Padyab Teb (TSH ELISA Kit-ایران) و دستگاه الیزا ریدر مدل-ELX-800 ساخت شرکت BioTek (ایالات متحده آمریکا) انجام شد. در این تست الیزا از آنتی بادی مونوکلونال اختصاصی که بر علیه یکی از شاخص‌های آنتی ژنیک مولکول T4 تهیه شده است، استفاده می‌شود. به این شکل که، چاهک‌ها با غلظت مشخصی از مونوکلونال آنتی بادی Anti-T4 پوشش داده می‌شوند. مقدار مشخصی سرم و آنتی ژن T4 کونژوگه

⁴ National Institute for Occupational Safety and Health

³ Enzyme Linked Immunosorbent Assay

دستگاه جوشکاری (۹۸/۹۵±۱۱۲/۲۰ میلی‌گوس) بدست آمد. میانگین مواجهه با ELF در گروه مواجهه یافته در تمام نواحی اندازه‌گیری شده اختلاف معناداری با میانگین مواجهه با گروه شاهد داشت (p<۰/۰۰۰۱). با توجه به حدود مجاز مواجهه شغلی ایران و انجمن متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا و طبق فرمول شماره ۳، حد مواجهه شغلی بین ۰/۲ تا ۶۰ میلی‌تسلا (۲۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰۰ میلی‌گوس) قرار دارد که با توجه به فرکانس می‌تواند متغیر باشد (۲۴). لازم به ذکر است که حد مواجهه برای ناحیه دست و پا با ضریب ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه میزان مواجهه کلی جوشکاران با میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین کمتر از حد مجاز شغلی می‌باشد.

$$B=60/F \quad \text{رابطه (۳)}$$

B: حد مواجهه بر حسب میلی‌تسلا و F: فرکانس. نتایج اندازه‌گیری مقادیر هورمون‌های T4، T3، و TSH در گروه جوشکاران و شاهد در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج آزمون آماری T-test، میانگین هورمون‌های T4 و TSH در گروه مواجهه یافته به طور معناداری کمتر از گروه شاهد بود (p<۰/۰۵). با این حال، میانگین هورمون T3 در جوشکاران کمتر از گروه غیر جوشکاران بود، ولی این اختلاف از نظر آماری معنادار بدست نیامد (p>۰/۰۵). بر اساس نتایج این مطالعه سطح هورمونی ۲۳ نفر (۶۵٪) از گروه مواجهه یافته حداقل در مورد یکی از هورمون‌ها در محدوده نرمال قرار ندارد. این درحالی است که سطح هورمونی فقط ۱۵ نفر (۴۲٪) از افراد گروه شاهد حداقل در یکی از هورمون‌ها در رنج نرمال قرار نداشت. آزمون همبستگی بین پارامترهای دموگرافیک و مقدار

این پرسشنامه در پایان کار به صورت هم‌زمان برای گروه مورد و شاهد تکمیل گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS V 20 (SPSS Institute Inc., Cary, NC, USA) انجام شد. برای مقایسه نتایج بین گروه‌ها از آزمون‌های آماری t-test، chi-squared و ANOVA استفاده شد. همچنین ضریب همبستگی پیرسون برای اندازه‌گیری قدرت یک رابطه خطی بین متغیرها بکار گرفته شد. بررسی نرمال بودن داده‌های مطالعه با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (KS) یک-نمونه‌ای تعیین گردید. سطح معنی داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

تجزیه و تحلیل اطلاعات دموگرافیک نشان داد که میانگین سن افراد مواجهه یافته ۶/۰۳±۳۸ سال و در گروه کنترل ۶/۰۲±۳۹ سال بود. شاخص توده بدن و سابقه کار این دو گروه به ترتیب ۲۵/۷۶±۶/۳۱ و ۲۶/۰۴±۵/۹۸ کیلوگرم بر مترمربع و ۱۳/۰۲±۵/۲۰ و ۱۳/۰۴±۴/۱۱ سال بود. در مورد همه متغیرهای دموگرافیک مورد مطالعه اختلاف آماری معنی داری بین دو گروه وجود نداشت (p>۰/۰۵). نتایج آزمون KS نشان داد که تمام متغیرهای مورد مطالعه دارای توزیع نرمال می‌باشند (p>۰/۰۵). میانگین مواجهه با میدان‌های مغناطیسی ELF در هر دو گروه در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول ۱، بیشترین شدت میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین در جوشکاری در ناحیه دست (۶۶/۸۳±۲۶۸۳/۸۰ میلی‌گوس) و کمترین مقدار آن در فاصله ۲ متری

جدول ۱- میانگین (± انحراف معیار) مواجهه با میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین در گروه‌های مطالعه

P-value	میانگین (± انحراف معیار) (میلی‌گوس)		ناحیه اندازه‌گیری
	شاهد	مواجهه	
۰/۰۰۰۱	۲/۰۴±۰/۵۰	۲۶۸۳/۶۶±۸۰/۸۳	دست
۰/۰۰۰۱	۲/۰۴±۰/۵۰	۱۷۹۵/۹۵±۲۰/۱۵	تنه
۰/۰۰۰۱	۲/۰۴±۰/۵۰	۱۲۴۱/۸۹±۹۰/۷۲	گردن
۰/۰۰۰۱	۲/۰۴±۰/۵۰	۶۰۷/۳۶±۶۹/۴۲	سر
۰/۰۰۰۱	۱/۵۶±۰/۴۲	۵۵۴/۳۹±۷۷/۲۹	فاصله ۵۰ سانتیمتر
۰/۰۰۰۱	۱/۱۲±۰/۳۰	۲۶۲/۱۴±۸۹/۳۰	فاصله ۱۰۰ سانتیمتر
۰/۰۰۰۱	۰/۷۵±۰/۲۵	۱۱۲/۹۸±۲۰/۹۵	فاصله ۲۰۰ سانتیمتر

می‌باید ($p < 0.05$). رابطه بین سطح مواجهه با میدان مغناطیسی ELF و نمره خستگی نیز مستقیم و از نظر آماری معنی‌دار است ($r = 0.54$; $p < 0.05$).

بحث و نتیجه‌گیری

مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی ELF عمدتاً در تجهیزات و فرایندهای صنعتی مانند کوره‌ها و گرم‌کننده‌های القائی و بخصوص دستگاه‌های جوشکاری که دارای جریان‌های الکتریکی هستند، رخ می‌دهد. امروزه میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس‌های مختلف و شدت‌های بالا به عنوان فاکتوری مهم در محیط پیرامون انسان مطرح است و به دلیل ایجاد عوارض محتمل بر سلامتی انسان، توجه مراکز تحقیقاتی را به خود جلب کرده است (۲۰۱۰).

از آنجائی که جوشکاری یکی از مهم‌ترین و متداولترین فرایندهای ساخت و تولید در صنایع کوچک و بزرگ محسوب می‌شود، در این تحقیق

هورمون‌های تیروئیدی T3، T4، TSH در دو گروه مواجهه و شاهد نشان داد که هیچ یک از پارامترهای سن، شاخص توده بدن و سابقه کاری در گروه مورد جوشکار و غیرجوشکار با میزان هورمون‌های T3، T4 و TSH همبستگی معناداری ندارند ($p > 0.05$).

جدول ۳ درصد خستگی افراد بر حسب هفت مقیاس Samn-Perelli را در دو گروه مورد بررسی نشان می‌دهد. درصد خستگی جوشکاران در تمامی مقیاس‌های Samn-Perelli تفاوت معناداری با گروه شاهد داشت ($p < 0.01$).

جدول ۴ همبستگی بین میانگین مواجهه با میدان مغناطیسی ELF، میزان خستگی و سطح هورمون‌های تیروئیدی را بیان می‌دارد. همانطور که در جدول ۴ مشخص است، بین میزان مواجهه با میدان مغناطیسی ELF و سطح هورمون‌های تیروئید رابطه مثبت ضعیفی وجود دارد ($p > 0.05$; $r < 0.12$) و همچنین نمره خستگی با کاهش سطح هورمون‌های T3 و T4 افزایش

جدول ۲- میانگین (\pm انحراف معیار) سطح هورمون‌های T3، T4 و TSH در گروه‌های مطالعه

P-value	میانگین (\pm انحراف معیار)		محدوده نرمال	هورمون‌های تیروئیدی
	شاهد	مواجهه		
0.21	1/28 \pm 0.43	1/16 \pm 0.40	0.6 - 2.1	(ng/ml)T3
0.09	8/74 \pm 2/20	7/34 \pm 2/12	4/5 - 12/5	(μ g/dL)T4
0.13	2/64 \pm 1/24	1/51 \pm 0.39	0.5 - 3	(mIU/L)TSH

جدول ۳- درصد فراوانی نمره خستگی فردی در گروه‌های مطالعه

P-value	درصد فراوانی نمره		مقیاس خستگی
	شاهد	مواجهه	
0.001	25/60	0	کاملاً هوشیار، بیدار کامل
0.001	31/40	13/20	بسیار پر جنب و جوش، پاسخگو بودن، اما نه در اوج هوشیاری
0.001	28/70	22/60	خوب، تا حدودی سر حال
0.001	14/30	43/30	کمی خسته، کمتر از وضعیت سر حال
0.001	0	13/30	تا حدی خسته، بی حال
0.001	0	7/60	بسیار خسته و دشوار بودن تمرکز
-	0	0	کاملاً خسته، قادر نبودن به انجام موثر کارها

جدول ۴- همبستگی بین مواجهه با میدان مغناطیسی ELF، میزان خستگی و سطح هورمون‌های T3، T4 و TSH

نمره خستگی	هورمون‌های تیروئید			پارامتر آماری	متغیر
	TSH	T4	T3		
0.54	0.4	0.9	0.12	r	میانگین مواجهه با میدان مغناطیسی ELF
0.3	0.82	0.57	0.47	P-value	نمره خستگی
-	-0.13	-0.42	-0.35	r	
-	0.43	0.1	0.4	P-value	

حاضر بیشتر از مقادیر مواجهه افراد در مطالعه رکنیان و همکاران بدست آمد که در این خصوص نوع تکنولوژی‌های مورد استفاده در جوشکاری می‌تواند موثر باشد (۲۶).

مطالعات نشان می‌دهند که اختلال در هورمون‌های تیروئیدی به خصوص کم کاری تیروئید باعث اختلالات خلقی مانند بروز افسردگی و خستگی می‌شود (۱۶). طبق نتایج مطالعه حاضر، سطح هورمون‌های تیروئیدی در جوشکاران کمتر از گروه شاهد بدست آمد که این اختلاف میانگین برای هورمون‌های T4 و TSH از لحاظ آماری نیز معنادار بود. ضمن آنکه اختلالات هورمون‌های تیروئیدی در مقایسه با محدوده نرمال در گروه مواجهه با میدان‌های مغناطیسی ELF بیشتر از گروه شاهد بود. مطالعه ای که شعبانی و همکاران برای بررسی عملکرد تیروئید در بیماران مبتلا به اختلال افسردگی اساسی و اختلال پانیک در شهر زنجان انجام دادند، نشان داد که ۱۸/۴٪ بیماران که مشکل افسردگی دارند، در آن‌ها اختلالات تیروئیدی هم مشاهده شده است (۲۸). آنها نشان دادند که سطح هورمون T4 در بیماران با اختلال افسردگی کاهش داشته و سطح هورمون T3 در تمام بیماران طبیعی است (۲۸). مطالعه وان و اینگاردن و همکاران در سال ۲۰۰۰ در زمینه مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی به روش مورد-شاهد نشان داد که میزان خودکشی در افراد شاغل در مکان‌هایی که با میدان‌های الکترومغناطیس در تماس بودند افزایش داشته است که می‌تواند ناشی از شیوع افسردگی در بین این گروه باشد (۲۹). مطالعه دیگری که توسط بیل^۷ و همکاران انجام شد، نشان داد کسانی که در نزدیکی منابع تولید میدان مغناطیسی ELF کار یا زندگی می‌کنند اثرات سوء روانی مانند خودکشی، افسردگی و عدم کنترل حواس دیده می‌شود (۳۰). نتایج مطالعه زمانیان و همکاران که به منظور بررسی اثر میدان مغناطیسی ELF بر وضعیت سلامت روانی کارکنان شاغل در نیروگاه گازی شیراز انجام شد، بیانگر آن بود که تعداد قابل توجهی از کارکنان شاغل در این نیروگاه که در معرض مواجهه به نوعی مشکوک به اختلال روانی می‌باشند (۳۱). با توجه

ارزیابی مواجهه این گروه از کارگران با میدان‌های مغناطیسی ELF و بررسی اثر ناشی از این مواجهه شامل تغییر سطح هورمون‌های T3، T4 و TSH و میزان خستگی مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج مطالعه حاضر و همان طور که از قبل نیز قابل پیش بینی بود میزان مواجهه جوشکاران قوس الکتریک در فواصل نزدیک‌تر به دستگاه جوش افزایش می‌یافت. قربانی شهنا و همکاران در سال ۲۰۱۰ نتیجه گرفتند که روند کاهش شدت میدان ELF بر حسب فاصله از منبع، یک روند خطی نیست (۲۵) که این یافته با مطالعه‌ی ما همخوانی دارد. مطالعه‌ای که اسکوت^۵ و همکاران برای بررسی مواجهه فلزکاران و جوشکاران با میدان‌های مغناطیسی ELF داشتند بیانگر آن بود که سطح مواجهه جوشکاران با این میدان متغیر می‌باشد (۲۶). این امر ناشی از آن است که جوشکاران با ولتاژهای مختلف فعالیت می‌کنند و در هنگام جوشکاری با پوسچرهای مختلف مشغول به فعالیت هستند که می‌تواند بر روی میزان مواجهه آن‌ها تاثیر بگذارد (۲۶). در مطالعه حاضر نیز انحراف معیار مقادیر اندازه گیری شده میدان ELF در قسمت‌های مختلف زیاد می‌باشد. طبق نتایج مطالعه حاضر، میزان مواجهه در ناحیه دست از بقیه نواحی بدن بیشتر است و با توجه به موقعیت قرارگیری دست‌ها برای انجام کار این امری قابل انتظار بود. میزان مواجهه در ناحیه گردن نیز تقریباً نزدیک ناحیه تنه می‌باشد. این امر به این دلیل است که جوشکاران هنگام کار، گردن خود را به ناحیه جوش خم می‌کنند و همچنین ناشی از آن است که ارتفاع خیلی از ایستگاه‌های کاری به ناحیه گردن نزدیک می‌باشد و این باعث مواجهه بیشتر این ناحیه با میدان مغناطیسی ELF می‌گردد. طبق نتایج، میزان مواجهه با میدان مغناطیسی ELF در جوشکاران، طبق استاندارد ایران کمتر از حد مجاز می‌باشد. مطالعه‌ای که رکنیان و همکاران برای ارزیابی شدت میدان مغناطیسی ELF در یکی از صنایع سنگین فلزی تهران انجام دادند، حاکی از آن بود که میزان مواجهه جوشکاران کمتر از حد مواجهه شغلی استاندارد ایران است (۲۷). اگرچه سطح مواجهه جوشکاران در مطالعه

⁶ Van Wijngaarden

⁷ Beale

⁵ Skotte

با کنترل بیشتر بر روی ریسک فاکتورهای مداخله گر به منظور تعیین نوع اثر مواجهه میدان مغناطیسی ELF بر سطح هورمون‌های تیروئیدی و بروز خستگی جوشکاران انجام شود. با توجه به روند پیشرفت صنایع در کشور که باعث رونق بیشتر فرآیند جوشکاری می‌شود بایستی اتخاذ تدابیر بهداشتی موثر برای کاهش مواجهه با این نوع میدان مغناطیسی را پیش از پیش در نظر گرفت. از آنجا که روش عملی و مقرون به صرفه‌ای برای محافظت در برابر میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین وجود ندارد باید میزان مواجهه از نظر زمانی محدود شود.

تقدیر و تشکر

این مطالعه به عنوان طرح پژوهشی به شماره ۹۳۴۵۳ در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی قم به ثبت رسیده است. بدین وسیله نویسندگان مراتب تشکر و قدرانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی قم و مدیریت کارخانه صنعت یدک و کلیه افراد شرکت کننده در این طرح به عمل می‌آورند.

References

1. Havas M. When theory and observation collide: Can non-ionizing radiation cause cancer? Environ Pollut. 2017;221:501-505.
2. International Agency for Research on Cancer (IARC). Non-ionizing Radiation: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon: IARC Press; 2002.
3. Hardell L, Sage C. Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. Biomed Pharmacother. 2008;62(2):104-109.
4. Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L. EMF and health. Annu Rev Publ Health. 2005;26:165-189.
6. Koeman T, van den Brandt PA, Slottje P, Schouten LJ, Goldbohm A, Kromhout, et al. Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort. Cancer Causes Control. 2014; 25(2): 203-214.
7. Pall ML. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression. J Chem Neuroanat. 2016;75(Part B): 43-51.
8. Barsam T, Monazzam MR, Haghdoost AK, Ghotbi MR, Dehghan SF. Effect of extremely low frequency electromagnetic field exposure on

به گستردگی استفاده از فرایند جوشکاری در بیشتر صنایع ساخت و تولید، در صورت نادیده گرفتن اثرات سوء مواجهه با این میدان‌ها ممکن است در آینده شاهد بروز شیوع گسترده اختلالات روانی و بروز افسردگی در این گروه شغلی باشیم که قطعاً بر سطح بهره‌وری و عملکرد کاری آن‌ها تاثیر گذار خواهد بود.

طبق نتایج جدول ۳، شیوع خستگی در جوشکاران بیشتر از گروه شاهد بود. نتایج مطالعه رنجبران و همکاران نیز حاکی از آن بود که میزان خستگی در کسانی که با میدان مغناطیسی مواجهه دارند، بیشتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد (۳۲). برسم و همکاران در مطالعه خود نتیجه گرفتند که مواجهه با میدان‌های مغناطیسی ELF می‌تواند باعث اختلال خواب شود (۸) و از طرفی اختلالات تیروئید می‌تواند منجر به بروز افسردگی (۳۳) شود که این عوامل می‌توانند از دلایل ایجاد خستگی باشند. اگر چه عوامل زیادی در محیط‌های کاری بر روی خستگی افراد تاثیر می‌گذارند که می‌توان به صدای محیط، استرس گرمایی، آلودگی هوا، بار کاری، میزان یکنواختی کار، عوامل ارگونومیک و مشکلات دیگر اشاره کرد (۳۲-۳۶)، ولی نتایج مطالعه حاضر نشان داده اند که مواجهه با میدان‌های مغناطیسی ELF ممکن است یکی از ریسک فاکتورهای افزایش بروز خستگی و اختلالات تیروئیدی در محیط‌های کاری باشد. با این حال برای نتیجه‌گیری قطعی‌تر لازم است مطالعه‌ای جامع تر با در نظر گرفتن فاکتورهای تاثیر گذار بیشتر انجام پذیرد.

نتایج نشان داد که جوشکاری می‌تواند به عنوان یکی از منابع تولید کننده میدان مغناطیسی ELF مدنظر قرار گیرد. مواجهه با میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین ممکن است تغییرات سطح هورمون‌های تیروئیدی مانند T4 و TSH و افزایش خستگی افراد در معرض را بدنبال داشته باشد. از آنجا که جوشکاران فقط با میدان‌های مغناطیسی EMF مواجهه ندارند، در واقع آن‌ها با تعداد زیادی از خطرات شغلی مانند مواد شیمیایی سمی به شکل فیوم (مانند Al, Be, Cd, Cr, Mn, Pb و غیره)، گازها (مانند CO, NOx و غیره) و بخارات آلی (مانند آلدئیدها، ایزوسیانات، فسژن و غیره)، خطرات فیزیکی مانند صدا و اشعه ماوراء بنفش (UV) و خطر ارگونومیک مانند نوبت کاری روبرو هستند؛ بنابراین توصیه می‌شود که یک طرح تحقیقاتی جامع‌تر

- sleep quality in high voltage substations. *J Environ Health Sci Eng*. 2012;9:15.
9. Lewis RC, Hauser R, Maynard AD, Neitzel RL, Wang L, Kavet R, et al. Exposure to Power-Frequency Magnetic Fields and the Risk of Infertility and Adverse Pregnancy Outcomes: Update on the Human Evidence and Recommendations for Future Study Designs. *J Toxicol Environ H*. 2016;19(1): 29-45.
10. R Hajizadeh, A Koohpaei, SM Hasan-Razavi-Asl, MH Beheshti, A Mehri, Dehghan SF, et al. Exposure assessment of arc welders to extremely low frequency magnetic field: its relationship with the secretion of parathormone hormone and mood states. *JHSW*. 2016;6(3):103-114. [In Persian]
11. Chauhan A, Anand T, Kishore J, Danielsen TE, and Ingle GK. Occupational hazard exposure and general health profile of welders in rural Delhi. *Indian J Occup Environ Med*. 2014;18(1):21-26.
12. Erdely A, Antonini JM, Salmen-Muniz R, Liston A, Hulderman T, Simeonova PP, et al. Type I interferon and pattern recognition receptor signaling following particulate matter inhalation. *Part Fibre Toxicol*. 2012;9(1).
13. Hossain MS, Amin MR. Power frequency magnetic field exposure assessment in general and occupational settings: a case study. *IJRIME*. 2011; 1(3):54-67.
14. Mair P, editor. Assessment of EMF (electromagnetic fields) and biological effects in arc welding applications. International Institute of Welding, Commission XII, Intermediate Meeting, Fronius International. February 2005; IIW Doc. XII-1848-05.
15. Abou-Donia MB. *Mammalian Toxicology*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd; 2015.
16. Gulseren S, Gulseren L, Hekimsoy Z, Cetinay P, Ozen C, Tokatlioglu B. Depression, Anxiety, Health-Related Quality of Life, and Disability in Patients with Overt and Subclinical Thyroid Dysfunction. *Arch Med Res*. 2006;37(1): 1133-139.
17. Ghasemkhani M, Monazam MR, Abbasinia M, Mahmoodkhani S, Aghaee H, Asghari M, et al. Assessment of fatigue and its relationship with Insomnia Severity Index in shift workers, fixed and rotating, Tehran rolling mills and steel production company. *Iran Occup Health*. 2013;10(2):79-86. [Persian]
18. Baloch Z, Carayon P, Conte-Devolx B, Demers LM, Feldt-Rasmussen U, et al. Guidelines Committee, N.A.o.C.B., Laboratory medicine practice guidelines. Laboratory support for the diagnosis and monitoring of thyroid disease. *Thyroid*. 2003;13(1):3-126.
19. Padyabteb. Thyroid ELISA kits: T4 and T3 ELISA Kit. 2018. available from: <http://padyabteb.com/products>. Access date:2018 May 19.
20. Padyabteb. Thyroid ELISA kits: TSH ELISA Kit. 2018. available from: <http://padyabteb.com/products>. Accessdate:2018 May 19.
21. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Manual for measuring occupational electric and magnetic field exposures. Cincinnati: NIOSH. DHHS Publication No. 98-154.1998.
22. Ferguson SA, Smith BP, Browne M, Rockloff MJ. Fatigue in Emergency Services Operations: Assessment of the Optimal Objective and Subjective Measures Using a Simulated Wildfire Deployment. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(2):171.
23. Kazemi Z, Mazloumi A, Nasl-seraji J, Hosseini M, Barideh S. Investigating workload and its relationship with fatigue among train drivers in Keshesh section of Iranian Railway Company. *JHSW*. 2012, 2(3):1-8
24. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs: Guide to Occupational Exposure Values. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2010.
25. Shahna GF, Dehganpoor T, Karami Z. Assessment of Extremely Low Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields in Hamedan High Electrical Power Stations and their Effects on Worker. *IJMP*. 2011;8(3):61-71. [Persian]
26. Skotte JH, Hjellund HI. Exposure of welders and other metal workers to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1997;18(7):470-7.
27. Roknian M, Nassiri P, Zeraati H. Evaluation of Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic fields and their probable relationship with hematological changes among operators in heavy metal industry. *IJMP*. 2009;6(3): 47-57. [Persian]
28. Shaabani M, Ghoreish SA. Assessment of thyroid function in patients with major depression and panic disorder in Zanjan (2006). *J Kermanshah Univ Med Sci*. 2009;12(4):435-441. [Persian]
29. Van Wijngaarden E, Savitz DA, Kleckner RC, Cai J, Loomis D. Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested case-control study. *West J Med*. 2000;173(2):94-100.
30. Beale I, Pearce N, Conroy D, Henning M, Murrell K. Psychological effects of chronic exposure to 50 Hz magnetic fields in humans living near extra-high-voltage transmission lines. *Bioelectromagnetics*. 1997;18(8):584-94.
31. Zamanean Z, Khajenasir F, Gharehpoor S, Dehghani M. Effect of magnetic fields with very low frequency on the mental health of employees working in the gas power plant in Shiraz. Iran

Occup Health. 2010;7(3):28-34. [Persian]

32. Ranjbarian M, Rezaee F. Survey on severity of magnetic and electric fields around video display terminals and its association with health effects on operators. Iran Occup Health. 2009;6(3):17-21. [Persian]

33. Hendrick V, Altshuler L, Whybrow P. Psychoneuroendocrinology of mood disorders: the hypothalamic-pituitary-thyroid axis. Psychiatr Clin North Am. 1998;21(2):277-92.

34. RK Jazani, M Saremi, T Rezapourt Kavousi A, Shirzad H. Influence of traffic-related noise and air pollution on self-reported fatigue. Int J Occup Saf Ergon. 2015; 21(2): 193–200.

35. Chen ML, Chen CJ, Yeh WY, Huang JW, Mao IF. Heat stress evaluation and worker fatigue in a steel plant. AIHA J (Fairfax, Va) 2003;64:352–9.

36. Sood D, Nussbaum MA, Hager K. Fatigue during prolonged intermittent overhead work: reliability of measures and effects of working height. Ergonomics. 2007;50:497-513.