ORIGINAL ARTICLE

Magnetic Flux Emission from Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields around High Voltage Power Transmission Lines

Mohammad Ali Zazouli[1],
Mahmoud Mohammadyan[2],
Seyed Noroddin Mousavinasab[3]
Mostafa Mohajer Darabi[4],
Adele Sarem Safari[5]

[1] Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] Associate Professor, Department of occupational Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[3] Associate Professor, Department of Biostatistics, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[4] BSc in Geographic Information Systems (GIS), Department of GIS, Communication Technology and Information Management Office, Mazandaran and Golestan Regional Electric Company, Sari, Iran
[5] MSc Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran

(Received May 13, 2018 ; Accepted December 1, 2018)

Abstract

Background and purpose: Considerable increase on the use of electronic devices increased the rate of public occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. Assessment of exposure to these fields is highly important due to potential health hazards. This study aimed at investigating the magnetic flux emission from extremely low frequency electromagnetic fields around power lines of high voltage in Neka (north of Iran) and factors affecting the magnetic flux density.

Materials and methods: In this cross-sectional study, 50 sites around high voltage transmission lines were selected and the magnetic flux density was measured at four different distances from the lines. Humidity and temperature were measured in order to assess their impact on magnetic flux density. The extremely low-frequency magnetic field was measured using an electromagnetic field tester (model TES 1394). Statistical analysis was performed in SPSS V17 applying descriptive statistics and one-way ANOVA.

Results: The highest average magnetic flux density was at the 400 kV power transmission line (2.11 ± 1.36 µT). The average magnetic flux density was higher in the afternoon (2.55 µT) compared with that in the morning. The average values for magnetic flux density under the pylon and between two pylons were 1.18 ± 0.75 and 2.55 ± 1.42 µT, respectively. Magnetic flux density decreased by increasing distance from the wire and the environment moisture.

Conclusion: The average magnetic flux density was lower than the standards set by the international commission on non-ionizing radiation protection and American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Hence, the health effects would be negligible.

Keywords: magnetic flux density, power transmission line, extremely low-frequency magnetic field

J Mazandaran Univ Med Sci 2019; 28 (169): 140-150 (Persian).

* **Corresponding Author: Adele Sarem Safari -** Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran (E-mail: adele.sarem@gmail.com)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و هشتم شماره ۱۶۹ بهمن سال ۱۳۹۷ (۱۵۰-۱۴۰)

بررسی میزان انتشار شار مغناطیسی از میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی نهایت پایین در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی

محمدعلی ززولی[۱]
محمود محمدیان[۲]
سید نورالدین موسوی نسب[۳]
مصطفی مهاجر دارابی[۴]
عادله صارم صفاری[۵]

چکیده

سابقه و هدف: روند افزایش قابل توجه استفاده از وسایل الکتریکی، سبب افزایش مواجهه شغلی و عمومی افراد با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت پایین شده است. مواجهه با این میدان‌ها به علت مخاطرات بهداشتی بالقوه از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی میزان انتشار شار مغناطیسی از میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی نهایت پایین در اطراف خطوط انتقال برق ولتاژ بالا در شهرستان نکا و هم چنین عوامل تاثیرگذار بر چگالی شار مغناطیسی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی- مقطعی، ۵۰ نقطه در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی انتخاب و در ۴ فاصله مختلف از خطوط چگالی شار مغناطیسی اندازه‌گیری شد. رطوبت و دما به منظور بررسی تأثیر آن‌ها بر میزان چگالی شار مغناطیسی اندازه گیری و ثبت شدند. میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین با استفاده از یک دستگاه میدان‌سنج (مدل TES 1394) اندازه‌گیری شد. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ و آمار توصیفی و هم چنین آزمون آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد.

یافته‌ها: بالاترین میانگین چگالی شار مغناطیسی (۱/۳۶±۲/۱۱ میکروتسلا) مربوط به پست انتقال برق ۴۰۰ کیلوولت بود. میانگین چگالی شار مغناطیسی در ظهر (۲/۵۵ میکروتسلا) بیش تر از صبح بود. میانگین چگالی شار مغناطیسی در زیر دکل ۰/۷۵±۱/۱۸ میکروتسلا و در بین دو دکل ۱/۴۲±۲/۵۵ میکروتسلا بود. چگالی شار مغناطیسی با افزایش فاصله از سیم‌ها و افزایش رطوبت محیط کاهش یافت.

استنتاج: میانگین چگالی شار مغناطیسی پایین‌تر از میزان استاندارد تعیین شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت از پرتوهای غیر یون ساز و مجمع دولتی متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا بود. لذا اثرات بهداشتی قابل اغماض هستند.

واژه های کلیدی: چگالی شارمغناطیسی، خطوط انتقال برق، میدان الکترومغناطیسی با فرکانس بی نهایت پایین

مقدمه

روند افزایش قابل توجه استفاده از وسایل الکتریکی، مواجهه شغلی و عمومی افراد با میدان‌های الکترومغناطیس را افزایش داده است(۱). تشعشع الکترومغناطیس شامل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است که در فاز مربوط

مولف مسئول: صارم صفاری- ساری: کیلومتر ۱۷ جاده فرح آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: adele.sarem@gmail.com
۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. کارشناس GIS، واحد GIS، دفتر فناوری ارتباطات و مدیریت اطلاعات، شرکت برق منطقه‌ای مازندران و گلستان، ساری، ایران
۵. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۶/۲/۲۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات :۱۳۹۶/۳/۱ تاریخ تصویب : ۱۳۹۷/۹/۱۰

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

به خود نوسان کرده و عمود بر مسیر انرژی هستند(۲). میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی توسط هرگونه کابل‌کشی یا تجهیزات حامل جریان الکتریکی از قبیل خطوط برق هوایی یا زمینی، سیم‌کشی منازل، تجهیزات پزشکی، وسایل الکتریکی و غیره تولید می‌شوند(۳). میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت پایین نیز بخشی از طیف امواج الکترومغناطیس هستند که فرکانس آن‌ها کم‌تر از امواج رادیوفرکانسی و در محدوده ۳ تا ۳۰۰ هرتز می‌باشد(۵-۳). عمده منابع انتشار میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت پایین (ELF) [1] شامل ارتباطات زیردریایی، گرمایش القایی، انتقال و توزیع نیروی برق و لوازم الکتریکی می‌باشند(۷،۶). در اغلب کشورها، به‌دلیل وجود خطوط انتقال برق با فرکانس ۵۰ هرتز، مردم در معرض میدان‌های مغناطیسی می‌باشند. افرادی که در نزدیکی تأسیسات ولتاژ بالا زندگی می‌کنند، ممکن است ۲۰-۱۰ برابر بالاتر از میانگین در معرض میدان‌های مغناطیسی باشند(۸). اثرات بهداشتی که در ارتباط با میدان‌های الکترومغناطیسی، با توجه به مطالعات گذشته به اثبات رسیده‌اند شامل انواعی از سرطان‌ها، سرطان خون(۱۲-۹)، رشد تومور(۱۳،۱۱،۹)، آسیب به پوست، فعالیت غیرعادی سلول یا اختلال در عملکرد سلول، اختلال در ریتم خواب و بیداری، تغییرات در ادراک و حافظه، اثرات نامطلوب ژنتیکی، اختلال در فرآیند تولید و تنظیم هورمون‌ها، مشکلات رفتاری و روانی، نقص سیستم ایمنی، سقط جنین و مشکلات خون و گردش خون، شکست DNA(۱۴،۹)، سرطان سینه، پیامدهای تولیدمثلی(۱۰)، بیماری‌های قلبی و عروقی و بیماری‌های عصبی(۱۵) می‌باشند. مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داد که ELF با چگالی بالاتر از ۰/۳ و ۰/۴ میکروتسلا، شانس ایجاد لوسمی در کودکان را به میزان دو برابر افزایش می‌دهد. اگرچه در بیش تر نقاط جهان تماس کودکان با میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین با چگالی پایین تر از این حد یعنی حدود ۰/۰۲۵ و ۰/۰۷ میکروتسلا می‌باشد، اما توجه به این نکته ضروری به نظر می‌رسد که نیمی از کودکانی که در تماس با سطح بالای میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین هستند، این امواج را از خطوط بالای سرشان دریافت می‌کنند. با این وجود سازمان بهداشت جهانی به دلیل عدم کفایت مطالعات در ارتباط با اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین، استانداردی برای مواجهه با این امواج تعیین ننموده است و استاندارد تماس با میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین تنها توسط کمیسیون بین المللی حفاظت از پرتوهای غیریون ساز (ICNIRP) تعیین شده است که برای میدان مغناطیسی جهت تماس شغلی در کار تمام روز و کوتاه مدت به ترتیب ۵۰۰ و ۵۰۰۰ میکروتسلا تعیین شده است. اما مقدار مجاز برای عموم مردم در اماکن عمومی تا ۲۴ ساعت تماس و چند ساعت در روز به ترتیب ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکروتسلا توصیه شد(۱۶). مجمع دولتی متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا [2] (ACGIH) نیز حد مجاز مواجهه شغلی برای چگالی شار مغناطیسی در فرکانس ۵۰ هرتز را ۱۲۰۰ میکروتسلا تعیین کرده است(۱۶). استاندارد مواجهه شغلی با میدان‌های الکترومغناطیس برای فرکانس ۵۰ هرتز نیز ۵۰۰ میکروتسلا می‌باشد(۱۷). باتوجه به اثرات بهداشتی بالقوه ELF در سال‌های اخیر توجه زیادی به اندازه‌گیری مواجهه شغلی و عمومی آن‌ها انجام شده است(۱۹- ۱۷)، لذا هدف از این تحقیق تعیین میزان چگالی شار مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی شهر نکا می‌باشد.

مواد و روش ها

این مطالعه از نوع توصیفی- مقطعی می‌باشد که در آن ELF در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی نیروگاه نکا از یک دستگاه پرتابل

1. Extremely Low Frequency(ELF) Electromagnetic Fields

2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

میدان‌سنج سه محوره قرائت مستقیم به نام Electromagnetic Fields Measurement TES ۱۳۹۴ ساخت کشور تایوان مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه خطوط انتقال برق فشار قوی با ولتاژهای ۶۳، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت مدنظر قرار گرفتند. تعداد نقاط اندازه‌گیری با توجه به مطالعات گذشته(۱۹) و با استفاده از فرمول آماری برآورد نمونه و با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد، دقت ۰/۱۸ میکروتسلا و انحراف معیار ۰/۴۳ میکروتسلا، تعداد ۴۸ نقطه به دست آمد که حداقل تعداد ۵۰ نقطه در نظر گرفته شد. برای بررسی تأثیر بار مصرف بر چگالی شار مغناطیسی، نمونه‌برداری در دو دوره زمانی ۹-۶ صبح و ۱۳/۳۰-۱۱/۳۰ ظهر با به‌ترتیب با حداقل و حداکثر جریان انجام شد. نیمی از نقاط نمونه‌برداری در زیر و نیمی دیگر بین دو دکل‌ها انجام شد. در مجموع با لحاظ نمودن تأثیر دو پارامتر زمان و فاصله در ۴۰۰ مرتبه سنجش صورت گرفت. دما با دماسنج جیوه‌ای ثبت شد و اطلاعات رطوبت هوا نیز از اداره هواشناسی استان مازندران دریافت شد. به منظور آنالیز آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ و آمار توصیفی وهم‌چنین آزمون آنالیز واریانس یک طرفه برای مقایسه میانگین شار مغناطیسی در شرایط مختلف استفاده شد. به منظور تحلیل داده‌های مربوط به ویژگی‌های جغرافیایی و z-value که مقادیر چگالی شار مغناطیسی می‌باشد به عنوان ورودی به نرم‌افزار تعریف شدند. برای میانیابی و تحلیل فضایی داده‌های مکانی از نرم‌افزار ArcGIS 10.2.2 استفاده گردید. در این نرم‌افزار براساس روش‌های میانیابی کریجینگ معمولی و معکوس فاصله، نقشه‌های پهنه‌بندی داده‌های چگالی شار مغناطیسی به صورت رستری ترسیم گردید(۲۰).

یافته ها

چگالی شار مغناطیسی

مقدار حداقل، حداکثر و میانگین چگالی شار مغناطیسی در اطراف خطوط با ولتاژهای مختلف در منطقه مورد مطالعه در جدول شماره ۱ آورده شده است. همان‌طوری‌که در جدول دیده می‌شود، میانگین چگالی شار مغناطیسی ۱/۳۲ ± ۱/۸۷ میکروتسلا بود.

جدول شماره ۱: چگالی شار مغناطیسی در اطراف خطوط با ولتاژهای مختلف

ولتاژ (کیلوولت)	تعداد نمونه	چگالی شار مغناطیسی (میکروتسلا)		
		حداقل	میانگین ± SD	حداکثر
۶۳	۳۲	۰/۱۸	۰/۴۲ ± ۰/۲۶	۱/۰۸
۲۳۰	۶۴	۰/۲۸	۱/۴۴ ± ۰/۸	۳/۳۵
۴۰۰	۳۰۴	۰/۳۴	۲/۱۱ ± ۱/۳۶	۶/۹۳
کل	۴۰۰	۰/۱۸	۱/۸۷ ± ۱/۳۲	۶/۹۳

تاثیر رطوبت برچگالی شار

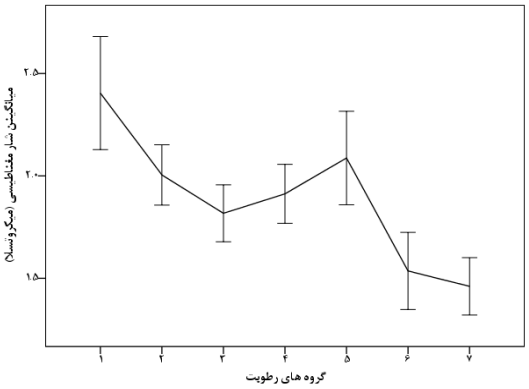
تغییرات میزان رطوبت و تاثیر آن بر میزان چگالی شار مغناطیسی در نمودار ۱ نمایش داده شده است. برای نمایش تاثیر رطوبت آن را به ۷ گروه: زیر ۴۰ درصد (گروه ۱)، ۴۰ تا ۵۰ درصد (گروه ۲)، ۵۰ تا ۶۰ درصد (گروه ۳)، ۶۰ تا ۷۰ درصد (گروه ۴)، ۷۰ تا ۸۰ درصد (گروه ۵)، ۸۰ تا ۹۰ درصد (گروه ۶) و بالاتر از ۹۰ درصد (گروه ۷) تقسیم‌بندی شدند. همان‌طورکه در نمودار مشاهده می‌شود، با افزایش میزان رطوبت، چگالی شار مغناطیسی کاهش می‌یابد، به طوری که بالاترین میانگین چگالی شار مغناطیسی بر اساس نمودار مربوط به گروه ۱ و برابر با ۱/۸۳±۲/۴ میکروتسلا و کم‌ترین میانگین چگالی شار مربوط به گروه ۷ و برابر با ۱/۰۸±۱/۴۶ میکروتسلا می‌باشد. حداکثر چگالی شار مغناطیسی در یک نمونه خاص مربوط به درصد رطوبت زیر ۴۰ درصد (۶/۹۳ میکروتسلا) و هم‌چنین کم‌ترین آن در یک نمونه مربوط به درصد رطوبت ۵۰ تا ۶۰ درصد (۰/۱۸ میکروتسلا) می‌باشد. آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین میانگین شار مغناطیسی در میزان درصد رطوبت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با همدیگر دارند (p =۰/۰۰۷).

تاثیر فاصله بر چگالی شار

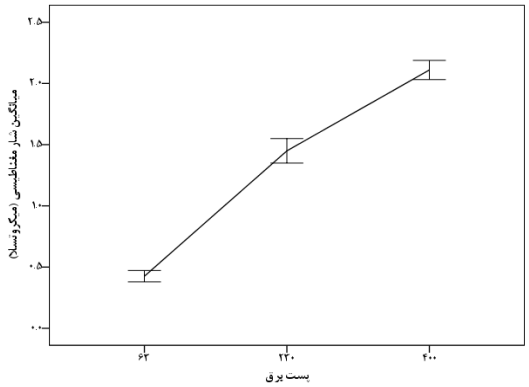
نمودار شماره ۲، میانگین چگالی شار مغناطیسی در پست‌های مختلف انتقال را نشان می‌دهد. بیش‌ترین

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

میانگین چگالی شار مربوط به خط ۴۰۰ کیلوولت می‌باشد که میانگین آن در این خط ۱/۳۶±۲/۱۱ میکروتسلا می‌باشد و بیش‌ترین مقدار ۶/۹۳ میکروتسلا می‌باشد. کم‌ترین میانگین شار مغناطیسی مربوط به پست انتقال ۶۳ کیلو وات (۰/۲۶±۰/۴۲۵ میکروتسلا) و حداقل مقدار در این پست ۰/۱۸ میکروتسلا می‌باشد. آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین میانگین شار مغناطیسی در خط‌های متفاوت جریان تفاوت معنی‌داری وجود دارد($p <$ ۰/۰۰۱) که بر اساس آزمون مقایسه چندگانه LSD، میانگین شار مغناطیسی در همه پست‌ها متفاوت می‌باشد ($p <$ ۰/۰۰۱).



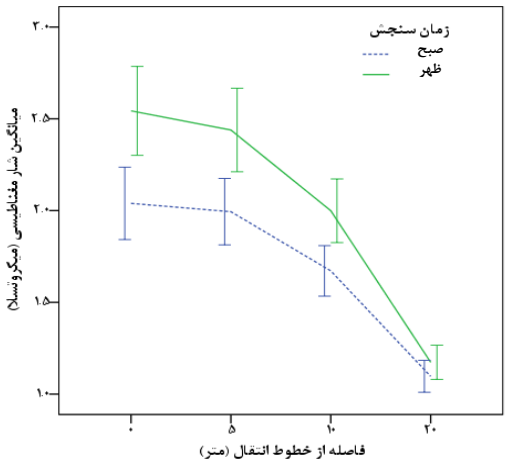
نمودار شماره ۱: تاثیر میزان رطوبت هوا برتغییرات چگالی شار مغناطیسی



نمودار شماره ۲: تغییرات شار مغناطیسی در پست‌های مختلف انتقال

تاثیر زمان سنجش بر چگالی شار

نمودار شماره ۳، تغییرات شار مغناطیسی با افزایش فاصله در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری (صبح و ظهر) را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، میانگین شار مغناطیسی در نمونه‌برداری صبح کم‌تر از ظهر و هم‌چنین با افزایش فاصله از خط انتقال در هر دو زمان میزان شار کاهش می‌یابد. بیش‌ترین میانگین شار در فاصله ۰ متری صبح (۲/۰۵ میکروتسلا) و بیش‌ترین مقدار ظهر (۲/۵۵ میکروتسلا) می‌باشد. میانگین چگالی شار مغناطیسی بدون در نظر گرفتن فاصله، در صبح ۱/۱۶±۱/۷ میکروتسلا و در ظهر ۱/۴۶±۲/۰۳۹ میکروتسلا بوده است. هم چنین آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین شار مغناطیسی در نمونه‌های اندازه‌گیری شده صبح و ظهر تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($p =$ ۰/۰۱۱).



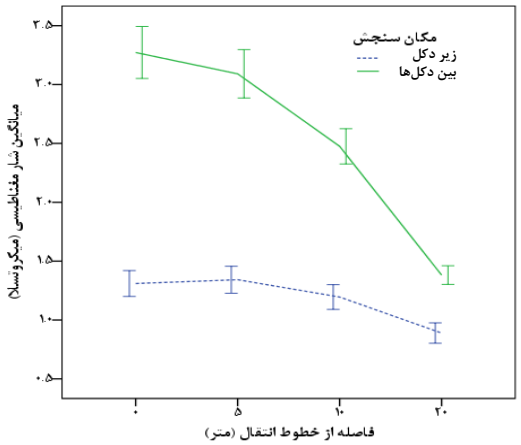
نمودار شماره ۳: تغییرات چگالی شار مغناطیسی با افزایش فاصله در زمان‌های مختلف سنجش

تاثیر فاصله و مکان سنجش نسبت به دکل‌های برق

نمودار شماره ۴، تغییرات شار مغناطیسی با افزایش فاصله در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری (زیر دکل و بین دکل) را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین شار مغناطیسی در نمونه‌برداری زیر دکل کم‌تر از نمونه‌برداری بین دکل و هم‌چنین با افزایش فاصله از خط انتقال در فاصله بین دو دکل میزان شار کاهش می‌یابد و در زیر دکل با افزایش فاصله از خط فشار قوی در ابتدا و تا فاصله ۵ متری میانگین شار مغناطیسی کمی افزایش و سپس کاهش می‌یابد. بیش‌ترین

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

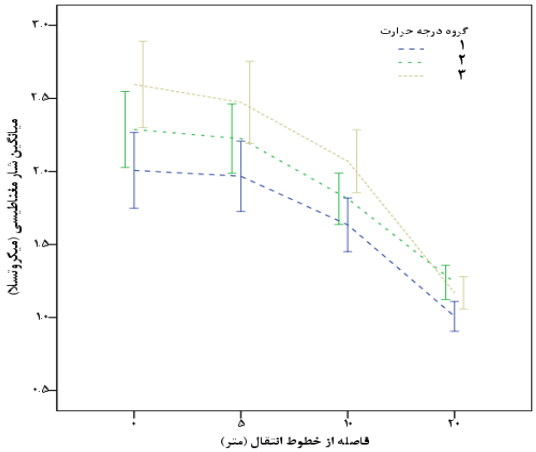
میانگین چگالی شار مغناطیسی مربوط به بین دو دکل در زیر سیم بین دو دکل (۳/۲۵ میکروتسلا) و بیش‌ترین میانگین چگالی شار مغناطیسی مربوط به بین زیر دکل در فاصله ۵ متری (۱/۳۳ میکروتسلا) می‌باشد. کم‌ترین مقادیر میانگین در هر دو مکان مربوط به فاصله ۲۰ متری می‌باشد. میانگین چگالی شار مغناطیسی بدون در نظر گرفتن فاصله در زیر دکل ۱/۱۸±۰/۷۵ میکروتسلا و در مکان بین دو دکل ۲/۵۵±۱/۴۲ میکروتسلا می‌باشد. هم‌چنین آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین چگالی شار مغناطیسی در نمونه‌های اندازه‌گیری شده زیر دکل و بین دکل تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($p <$ ۰/۰۰۱).



تصویر شماره ۴: تغییرات شار مغناطیسی با افزایش فاصله در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری

تاثیر درجه حرارت محیط و فاصله از خطوط

درجه حرارت محیط در ۳ گروه زیر ۱۵ درجه سانتی گراد (گروه ۱)، ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد (گروه ۲) و بیش‌تر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد (گروه ۳) تقسیم‌بندی شدند. نمودار شماره ۵، میانگین چگالی شار مغناطیسی در درجه حرارت‌های مختلف و در فواصل مختلف نسبت به خطوط انتقال فشار قوی را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، در درجه حرارت بالاتر، میانگین چگالی شار مغناطیسی بالاتر می‌باشد و با افزایش فاصله نسبت به خطوط میزان شار در هر یک از درجه حرارت‌ها کاهش می‌یابد. بالاترین میانگین شار مغناطیسی مربوط به گروه ۳ و درجه حرارت بالای ۲۰ درجه سانتی گراد و فاصله ۰ متری یا زیر خطوط انتقال (۲/۵۲ میکروتسلا) می‌باشد کم‌ترین مقدار هم مربوط به درجه حرارت زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد و در فاصله ۲۰ متری می‌باشد. آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین شار مغناطیسی در درجه حرارت‌های مختلف اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($p =$ ۰/۰۳۱).

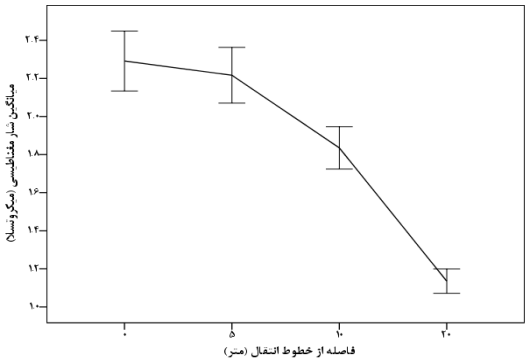


نمودار شماره ۵: میانگین شار مغناطیسی در درجه حرارت‌های مختلف و در فواصل مختلف خطوط

تاثیر فاصله از خطوط انتقال

نمودار شماره ۶، تغییرات میانگین چگالی شار مغناطیسی در فواصل مختلف از خطوط انتقال و بدون در نظر گرفتن سایر پارامترهای موثر را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش فاصله نسبت به خطوط فشار قوی، میانگین شار مغناطیسی کاهش می‌یابد. میانگین شار مغناطیسی در فواصل ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ متر به ترتیب ۱/۵۷±۲/۲۹، ۱/۴۶±۲/۲۱، ۱/۱۱±۱/۸۳ و ۰/۶۳±۱/۱۳ میکروتسلا می‌باشد. هم چنین آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین شار مغناطیسی در فواصل مختلف مورد اندازه‌گیری تفاوت معنی داری با هم دارند ($p <$ ۰/۰۰۱).

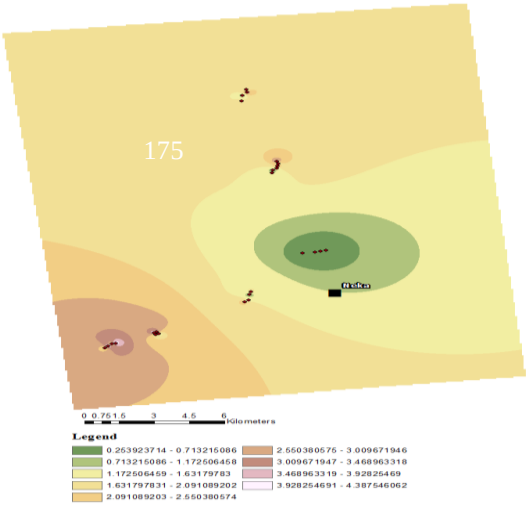
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

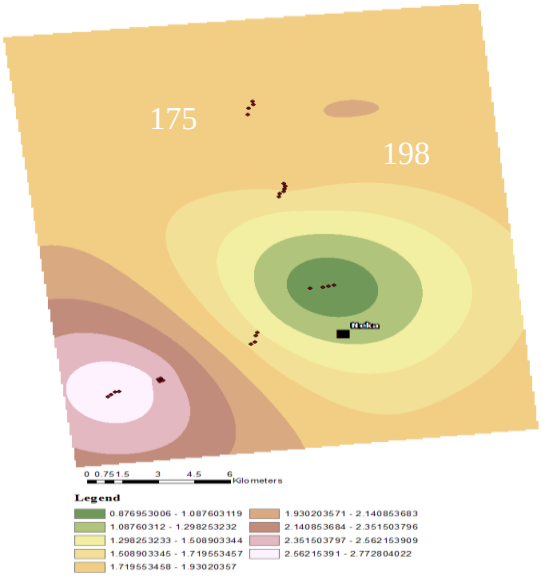


نمودار شماره ۶: میانگین شار مغناطیسی در فواصل مختلف خطوط انتقال

تغییرات مکانی چگالی شار مغناطیسی درمحدوده مورد مطالعه

نمودار شماره۷، تغییرات مکانی چگالی شار مغناطیسی درمحدوده مورد مطالعه با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی و روش معکوس فاصله را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین چگالی شار مغناطیسی در مناطق شرقی و شمالی پایین می‌باشد و در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه چگالی شار مغناطیسی بالاتر می‌باشد. اختلاف مشاهده شده در مناطق مختلف مورد مطالعه از نظر انتشار میدان‌های مغناطیسی به دلیل قدرت‌های متفاوت پست‌های انتقال منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در شرق منطقه، پست انتقال برق ۶۳ کیلوولت و در شمال پست انتقال برق ۲۳۰ کیلوولت وجود دارد. در حالی که در جنوب غربی پست انتقال ۴۰۰ کیلوولت مورد بررسی قرار گرفته است. با این وجود چگالی شار مغناطیسی در همه مناطق پایین‌تر از استانداردهای تعیین شده می‌باشد.





نمودار شماره ۷: تغییرات مکانی چگالی شار مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی (الف) و روش معکوس فاصله (ب)

بحث

براساس نتایج این تحقیق حداکثر چگالی شار مغناطیسی ۶/۹۳ میکروتسلا بود که مربوط به رطوبت زیر ۴۰ درصد بود که معادل ۶/۹۳ درصد استاندارد ICNIRP می‌باشد. در نتایج حاصل از مطالعه نصیری، میزان متوسط و حداکثر چگالی شار مغناطیسی در اطراف بیمارستان‌های شهر تهران به ترتیب ۰/۰۱۸ و ۰/۵۲ میکروتسلا معادل ۰/۰۲ و ۰/۵ درصد استاندارد ICNIRP گزارش شد(۱۸). هم‌چنین نتایج مطالعه زولی و همکاران روی میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین شهر تهران نشان داد که حداکثر چگالی شار مغناطیسی ۱۱/۵۱ میکروتسلا و مربوط به پست ۴۰۰ کیلوولت معادل ۱۱/۵۱ درصد استاندارد ICNIRP به دست آمد(۱۹). بر اساس مطالعه ما و هم‌چنین مطالعات مورد اشاره، چگالی شار مغناطیسی از حد استاندارد تعیین شده یعنی ۱۰۰ میکروتسلا در اطراف خطوط بسیار کم‌تر بوده است(۱۸).

در این بررسی بیش‌ترین مقدار شار مربوط به خط ۴۰۰ کیلوولت بود که با افزایش فاصله از خطوط انتقال، کاهش میزان میانگین شار مغناطیسی را شاهد بودیم.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

کم‌ترین میانگین شار مربوط به خط ۶۳ کیلوولت بود. در بررسی زرولی و همکاران نیز با افزایش شدت جریان میزان شار افزایش یافته بود(۱۹). هم‌چنین در ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت کم توسط قطبی راوندی نشان داد که بیش‌ترین مواجهه شغلی با میدان‌های الکترومغناطیس فرکانس بی نهایت کم مربوط به پست ۴۰۰ کیلوولت و کم‌ترین مواجهه مربوط به پست ۱۳۲ کیلوولت بود. دامنه مقادیر حداقل و حداکثر چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در تجهیزات داخلی پست‌ها از ۰/۱۱ تا ۶۰/۸ میلی گوس و ۰/۰۰۰۸ تا ۰/۱۳ کیلوولت بر متر و در تجهیزات بیرونی از ۰/۱ تا ۷۹۰ میلی گوس و ۰/۰۰۰۸ تا ۱۱۰ کیلوولت بر متر متفاوت بود(۱). یکی از عواملی که می‌تواند جهت جلوگیری از در معرض قرارگیری میدان مغناطیسی مفید باشد، ایجاد فاصله نسبت به منبع انتشار می‌باشد که در این تحقیق نیز با افزایش فاصله از خطوط جریان، میزان شار مغناطیسی کاهش یافت و با آزمون‌های آماری انجام شده مشخص شد که تفاوت معناداری بین میانگین شار مغناطیسی در فواصل مختلف نسبت به خطوط انتقال وجود دارد و در بیش‌ترین فاصله که ۲۰ متر می‌باشد، مقدار چگالی شار مغناطیسی به مراتب کم تر می‌باشد. این یافته با یافته‌های زرولی و همکاران مطابقت دارد(۱۹). هم‌چنین در بررسی توسط علی‌آبادی و همکاران روی میزان مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی پایا و اثرات بهداشتی آن در تعدادی از مراکز تصویربرداری تشدید مغناطیسی، میانگین مواجهه کارکنان با دستگاه‌های ۱/۵ تسلا برابر ۴۸/۶±۲/۷ میلی‌تسلا و پائین‌تر از حد مجاز (۶۰ میلی‌تسلا) قرار داشت. با افزایش فاصله از دهانه دستگاه، شدت میدان مغناطیسی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش نشان داد(۲۱). در مطالعه Tukimin که به اندازه‌گیری اطراف خط ۲۳۰ کیلوولت در فواصل ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر پرداخت، مشخص شد که میانگین چگالی شار با افزایش فاصله کاهش یافت(۲۲).

در مطالعه احمدی نیز مشخص شد که با افزایش فاصله از منبع (خطوط و وسایل برقی) چگالی شار مغناطیسی کاهش می‌یابد(۱۰). نتایج مطالعه انجام گرفته در کشور کویت و عمان در اطراف خطوط فشار قوی در فواصل مختلف نیز نشان داد که با افزایش فاصله، چگالی شار کاهش یافت(۲۴،۲۳).

درمطالعه‌ای‌که ژوسف درسال ۲۰۰۷ در ایستگاه‌های توزیع نیروی ۲۳۰ کیلوولت در بلژیک جهت تعیین حداقل فاصله در مکان عمومی‌که افراد در معرض ELF ناشی از این ایستگاه ها قرار داشته اند، انجام گرفت، ۶۳۷ ایستگاه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که از این تعداد ۳۵۸ ایستگاه مربوط به اندازه گیری میدان‌های مغناطیسی و ۲۷۹ ایستگاه مربوط به اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی در مکان‌های مختلف بوده است که میدان‌های مغناطیسی در رنج ۴۷/۳۹-۰/۰۲۵ میکروتسلا بوده است. میدان‌های الکتریکی نیز بین ۵۳۶-۰/۱ ولت بر متر به دست آمده است. بیشینه مقادیر روزانه میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی به ترتیب ۱۰۰ میکروتسلا و ۵ کیلوولت بر به دست آمده است. برای ایستگاه‌هایی که میدان‌های الکترومغناطیسی بالاتر از ۱۰۰ میکروتسلا تولید کرده اند، حداقل فاصله ۰/۲ متر به دست آمده است. در حالی که با میانگین ۰/۴ میکروتسلا حداقل فاصله ۵/۴ متر (میانگین روزانه) و ۷/۲ متر (میانگین سالیانه) به دست آمده است(۲۵).

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش درجه حرارت، میزان شار مغناطیسی نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین مکان نمونه‌برداری نیز یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر میزان شار مغناطیسی می‌باشد که در این مطالعه در دو حالت زیر دکل و بین دو دکل مورد بررسی قرار گرفت که بیش‌ترین میانگین شار مربوط به حالت بین دو دکل بود که دلیل اصلی آن به علت کم شدن فاصله خطوط انتقال از سطح زمین و از محل نمونه‌برداری است. در مطالعه‌ای که توسط ازووه و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مناطقی از نیجریه در اطراف

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

خطوط ۱۳۲ کیلوولت و ۳۳۰ کیلوولت انجام گرفت مشخص شد حداکثر چگالی شار مغناطیسی ۴۵ میلی گوس در زیر خطوط بود(۲۶).

بررسی میزان میدان مغناطیسی با فرکانس بی نهایت پایین شهر تهران مشخص شد که بیش از ۹۸ درصد موارد از حد تماس در مطالعات اپیدمیولوژیکی (۰/۲ میکروتسلا) بالاتر بود(۱۹) که در این مطالعه نیز در اکثر موارد چگالی شار مغناطیسی بالاتر از حد تماس در مطالعات اپیدیمولوژیکی بوده است.

با مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با مطالعات دیگران نتیجه‌گیری می‌شود، که میزان چگالی شار مغناطیسی در سطح شهرها و در اطراف خطوط تفاوت زیادی با حد استاندارد محیطی (ICNIRP) دارد و در واقع خیلی کم‌تر از استاندارد می‌باشند. اختلافات جزیی بین نتایج را نیز می‌توان به تأثیر عواملی از قبیل زمان اندازه‌گیری، شرایط آب و هوایی در زمان اندازه‌گیری، فصل اندازه‌گیری و هم‌چنین متغیرهای مورد بررسی دانست که هر کدام می‌تواند به نحوی در نتیجه اندازه‌گیری‌ها تأثیرگذار باشد. با توجه به اثرات اشاره شده، اقدامات حفاظتی ساده شامل دیوار یا مانع اطراف منابع جهت جلوگیری از دسترسی به مناطق، موثر می‌باشد. بهتر است مواد هدایتی بزرگ از جمله موانع فلزی، دیواره یا ساختارهای فلزی مشابه، نزدیک خطوط انتقال الکتریکی با ولتاژ زیاد به زمین نصب شوند. خطوط الکتریکی ممکن است به طور کافی با ولتاژهای بالا باردار شوند و در صورت نزدیک شدن شخص یا تماس با مانع شوک تکان دهنده دریافت نماید. در صورتی که میدان‌های مغناطیسی خیلی شدید باشند، تنها روش حفاظتی عملی محدود نمودن میزان مواجهه افراد می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه، چگالی شار مغناطیسی در تمامی‌فواصل و تمامی‌شرایط از حد استاندارد تعیین شده (۱۰۰ میکروتسلا) در اطراف خطوط بسیار کم تر بوده است. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که با وجود این که میزان چگالی شار در اطراف خطوط از حد استاندارد ICNIRP و ACGIH و استاندارد ملی پایین‌تر بود، ولی در اکثر موارد میزان چگالی شار مغناطیسی از حد تماس در مطالعات اپیدمیولوژیکی بالاتر بوده است.

سپاسگزاری

این مقاله برای انجام واحد پروژه دوره کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط تحقیق و تدوین شده است. از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران و شرکت توزیع نیروی برق استان مازندران که شرایط را برای انجام تحقیق مهیا نموده‌اند قدردانی می‌گردد.

References

1. Ghotbi RavandiMR, Monazam M, Haghdoust A, Barsam T, Akbari H. Assessment of the risk of occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. J Mil Med 2011; 13(3): 133-140 (Persian).
2. Hemayatkhah Jahromi V, Fatahi E, Nazari M, Jowhary H, Kargar H. Study on the effects of mobile phones waves on the number of ovarian follicles and level of FSH, LH, estrogen and progesterone hormones in adult rats. Journal of Cell & Tissue 2010; 1(1): 27-34 (Persian).
3. Shahna FG, Eshaghi M, Dehghanpour T, Karami Z. Assessment of extremely low frequency (elf) electric and magnetic fields in hamedan high electrical power stations and their effects on workers. Iranian Journal of Medical Physics 2011; 8(3): 61-71 (Persian).
4. de Groot MW, Kock MD, Westerink RH. Assessment of the neurotoxic potential of exposure to 50Hz extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) in naive

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

and chemically stressed PC12 cells. Neurotoxicology 2014; 44: 358-364.
5. Hu Y, Lai J, Wan B, Liu X, Zhang Y, Zhang J, et al. Long-term exposure to ELF-MF ameliorates cognitive deficits and attenuates tau hyperphosphorylation in 3xTg AD mice. Neurotoxicology 2016; 53: 290-300.
6. Center for Environment and work Health. Occupational exposure permisible limits (oel). Hamedan, Ministry of Health and Medical Education; Daneshjo Pub. 2011.
7. Aliabadi M. Health aspects of exposure to non-radiation beams. Hamedan; Kereshmeh Pub; 2012 (Persian).
8. Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. BMJ 1993; 307(6909): 891-895.
9. Dib D, Mordjaoui M. Study of the influence high-voltage power lines on environment and human health (case study: The electromagnetic pollution in Tebessa city, Algeria). J Electrical Electron Eng 2014; 2(1): 1-8.
10. Ahmadi H, Mohseni S, Akmal SA. Electromagnetic fields near transmission lines-problems and solutions. Iran J Environ Health Sci Eng 2010; 7(2): 181-188.
11. Rifai AB, Hakami MA. Health hazards of electromagnetic radiation. Journal of Biosciences and Medicines 2014; 2(8): 1-12.
12. Ross C. Mechanisms of extra low frequency electromagnetic field (ELF-EMF) on human bone marrow stem/stromal cell (hHM-MSC) differentiation. JSM Biotech BME 3 2016; 3(2): 1055.
13. Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. Rev Environ Health 2016; 31(3): 363-397.
14. Balaji A. Effect of High Voltage Transmission Lines on Human Health, Plant Life, and Animal Activity. Int J Res Eng Technol 2015; 2(3): 441-446.
15. Dominici L, Villarini M, Fatigoni C, Monarca S, Moretti M. Genotoxic hazard evaluation in welders occupationally exposed to extremely low-frequency magnetic fields (ELF-MF). Int J Hyg Environ Health 2011; 215(1): 68-75.
16. Fard MS, Nasiri P, Monazzam MR. Measurement of the magnetic fields of high-voltage substations (230 kV) in Tehran (Iran) and comparison with the ACGIH treshold limit values. Radiat Prot Dosimetry 2011; 145(4): 421-425
17. Monazzam Monazzam M, Jalilian Jalilian HH, Najafi K, Zakerian A, Emkani MM, Hadadi MM. Environmental evaluation and employee's exposure of a thermal power plant with extremely low frequency magnetic fields. IOH 2015; 12(3): 65-75 (Persian).
18. Nassiri P, Monazzam M, Yunesian M, Sowlat M, Safari M, Momen Bellah Fard S, et al. Extremely low frequency magnetic flux densities measured near hospital in Tehran. Int J Environ Res 2011; 5(4): 1035-1040.
19. Zazouli MA, Monazzam MR, Yazdani Charati J, Hosseinzadeh F. Evaluation of extremely low-frequency magnetic field (ELF) at Tehran City in 2012. J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 22(2): 146-151 (Persian).
20. Zazouli MA, BarafrashtehPour M, Barafrashteh Pour Z, Vaisi F, Ghalandari V. Temporal and spatial variation of nitrate and nitrite concentration in drinking water resource in Kohgiluyeh county using geographic information system. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 23(109): 258-263 (Persian).
21. Aliabadi M, Oliaee Z, Farhadian M, Kamalinia M. Study of Occupational Exposure to Static

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]

Magnetic Field and its related health effects in Magnetic Resonance Imaging MRI´s Units. IOH 2013; 10(2): 45-53 (Persian).

22. Tukimin R, Mahadi W, Ali M, Thari M, editors. Extremely low frequency electromagnetic field (ELF EMF) survey of residential areas around transmission lines. Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE 2007); IEEE. 2007
23. Al-Badi AH. Measurement and analysis of extremely low frequency electromagnetic field exposure in oman. JEMAA 2012; 8(4): 333-339.
24. Alkoot FM, Zaeri N. Experimental study on power frequency magnetic radiation from AC power lines in the State of Kuwait. Kuwait J SCI ENG 2011; 38(1): 79-104.
25. Joseph W, Verloock L, Martens L. Measurements of ELF electromagnetic exposure of the general public from Belgian power distribution substations. Health Physics 2008; 94(1): 57-66.
26. Ozovehe A, Ibrahim M, Hamdallh A. Analysis of electromagnetic pollution due to high voltage transmission lines. Journal of Energy Technologies and Policy 2012; 2(7): 1-11.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-11]