مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۵، شمارهٔ ۳، تابستان ۱۳۹۶

# ارزیابی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی لامپ‌های کم‌مصرف از نوع فلورسنت فشرده از دیدگاه حفاظت پرتوی

**میرشهرام حسینی‌پناه[1*]، دلنواز فرودین[1] و نادر طالاری[2]**

[1]پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

[2]دفتر حفاظت در برابر اشعه، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

[*]تهران، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، گروه حفاظت پرتوی، کدپستی: ۱۴۳۹۹۵۱۱۱۳

پست الکترونیکی: srhosseini@aeoi.org.ir

## چکیده

لامپ‌های کم‌مصرف از نوع فلورسنت فشرده (CFL)، نسبت به لامپ‌های رشته‌ای دارای عمر مفید بالاتری حتی تا ده برابر می‌باشند. از سوی دیگر انرژی مصرفی CFLها حدود یک‌چهارم انرژی مصرفی لامپ‌های رشته‌ای برای تولید نور معادل است. به‌علت استفاده از بالاست (Ballast) در ساختار لامپ‌های کم‌مصرف، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در اطراف لامپ به‌وجود می‌آید. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در فرکانس-های مختلف می‌تواند برای سلامت انسان مضر باشد. مراعات حدود استاندارد پرتوگیری نقش مؤثری در کاهش اثرات مضر پرتوها دارد. این تحقیق با هدف بررسی میزان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی CFLهای مورد استفاده برای روشنایی و مقایسه نتایج با حدود استاندارد پرتوگیری مردم انجام شده است. شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ۵۰ نمونه CFL با مدل‌ها، اشکال و توان‌های مختلف در فواصل متفاوت از لامپ‌ها در فرکانس ۵۰ هرتز و همچنین محدوده فرکانسی ۲۴ الی ۱۰۰ کیلوهرتز اندازه‌گیری شده است. بر اساس نتایج اندازه‌گیری، شدت میدان‌های مزبور در فواصل بیش‌تر از ۵۰ سانتی‌متری، کم‌تر از حد استاندارد ملی است؛ لیکن برای لامپ‌های با توان بالاتر از ۹۰ وات، ممکن است شدت میدان الکتریکی در فرکانس بالاست در فواصل تا ۳۰ سانتی‌متری لامپ از حد استاندارد بیش‌تر شود و لذا استفاده از این لامپ‌ها در فضاهای کوچک و بسته باید با احتیاط صورت گیرد.

**کلیدواژگان:** میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، لامپ کم‌مصرف، حدود استاندارد پرتوگیری، لامپ فلورسنت فشرده (CFL)، حفاظت در برابر پرتوها.

## ۱. مقدمه

لامپ‌های کم مصرف از نوع فلورسنت فشرده (CFLs[1]) در اندازه‌ها، شکل‌ها و مدل‌های مختلفی در دسترس می‌باشند. عمر مفید آن‌ها، بسته به نوع و کیفیت آن‌ها عموماً ٤٠٠٠ الی ١٥٠٠٠ ساعت و تقریباً ٨ الی ١٠ برابر عمر مفید لامپ‌های فیلمانی است. این لامپ‌ها تقریباً ٤ برابر بیش‌تر از لامپ‌های فیلمانی انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می‌کنند. در ساختار CFLsها دو قسمت اصلی وجود دارد که عبارتند از یک تیوب که از گاز پر شده است و یک بالاست[2]. وظیفه بالاست در لامپ کم‌مصرف تبدیل جریان الکتریکی ٥٠ هرتز به جریان ٢٤ الی ١٠٠ کیلوهرتز [١ و ٢] برای شتاب دادن به الکترون‌های گاز داخل لامپ است. الکترون‌های برانگیخته شده پرتو فرابنفش تابش می‌کنند. این باعث تحریک پوشش فسفری داخل تیوب می‌شود و سپس این ماده نور مرئی تابش می‌کند (شکل ١) [١ و ٣]. با توجه به بالاست CFLها و همچنین استفاده از برق شهر برای روشن‌کردن لامپ، در اطراف این لامپ‌ها میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی فرکانس کار بالاست یعنی محدوده فرکانسی ٢٤ الی ١٠٠ کیلوهرتز و همچنین در فرکانس ٥٠ هرتز وجود دارد.

لامپ‌های کم‌مصرف از سویی دارای جیوه هستند که ماده‌ای سمی است و از سوی دیگر نور فرابنفش تولید می‌کنند که می‌تواند اثرات مخربی بر پوست و چشم انسان به‌جا بگذارد [٤]. علاوه بر این، بر اساس بررسی‌های صورت گرفته در دنیا، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در تمامی محدوده‌های فرکانسی می‌توانند بر بافت بدن انسان اثر نامطلوب بگذارند [٥ و ٦] و لذا باید حدود استاندارد پرتوگیری مردم در مورد آن‌ها رعایت شود [٧ و٥]. این تحقیق با هدف بررسی شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف CFLهای ساخته شده در ایران و مورد استفاده برای روشنایی و مقایسه نتایج با حدود استاندارد پرتوگیری مردم [٧ و ٥] و همچنین نتایج به‌دست آمده در دیگر کشورها انجام شده است.

[1] Compact Fluorescent Lamps
[2] Ballast

## ۲. روش کار

این تحقیق روی ٥٠ نمونه CFL با مدل‌ها، اشکال و توان‌های مختلف انجام شده است. کلیه لامپ‌ها تولید داخل و دارای نشان استاندارد بودند. لامپ‌ها در دو نوع کلی آفتابی و مهتابی انتخاب شدند. مشخصات لامپ‌های انتخاب شده در جدول ١ خلاصه شده است.

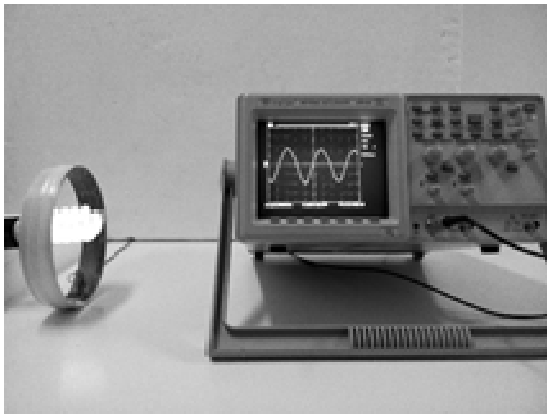
**شکل (١): اجزای لامپ فلورسنت فشرده.**

**جدول (١): مشخصات انواع لامپ‌های مورد آزمون.**

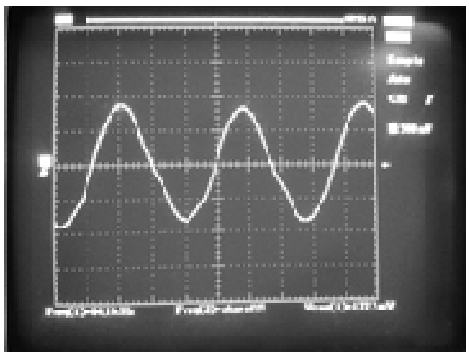
| ردیف | مشخصات | | تعداد |
|---|---|---|---|
| ١ | شکل | لوله‌ای | ١٦ |
| | | مارپیچی | ٢٥ |
| | | کروی | ٩ |
| ٢ | توان | کم‌تر یا مساوی با ١٦ وات | ١٢ |
| | | بین ١٧ و ٣٢ وات | ١٦ |
| | | بین ٣٣ و ٦٥ وات | ١٢ |
| | | بین ٦٦ و ١١٠ وات | ١٠ |
| ٣ | نوع | آفتابی | ١٣ |
| | | مهتابی | ٣٧ |

### ۱.۲. اندازه‌گیری فرکانس

فرکانس میدان ناشی از برق شهر در کشور، ۵۰ هرتز است. برای مشخص کردن فرکانس میدان تابش شده توسط بالاست هر لامپ، از یک سیم‌پیچ و یک اسیلوسکوپ با پهنای باند ۱۰۰MHz استفاده شد (شکل ۲). نمونه‌ای از نمودار مشاهده شده روی اسیلوسکوپ در شکل ۳ ارائه شده است.



**شکل (۲): اندازه‌گیری فرکانس کار بالاست.**

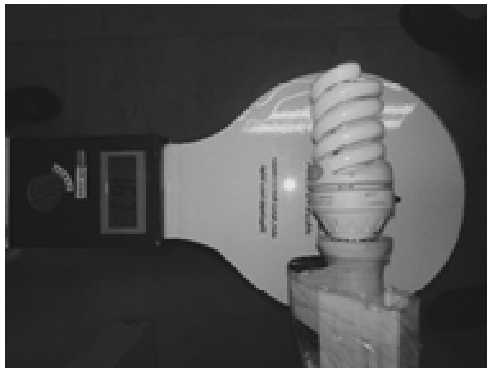


**شکل (۳): نمونه‌ای از شکل موج تولید شده توسط بالاست.**

### ۲.۲. اندازه‌گیری شدت میدان الکتریکی در فرکانس برق شهر (۵۰Hz) و فرکانس کار بالاست

شدت میدان الکتریکی هر لامپ ($E$) در فرکانس ۵۰ هرتز با استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیری میدان الکتریکی با محدوده فرکانسی ۵ الی ۳۰۰ هرتز و محدوده دینامیکی ۱ V/m الی ۱۰ kV/m و در فرکانس کار بالاست توسط دستگاه اندازه‌گیری دیگری با محدوده فرکانسی ۲ الی ۴۰۰ کیلوهرتز و محدوده دینامیکی ۱ V/m الی ۴۰ kV/m اندازه‌گیری شد (شکل ٤). با توجه به این که با دستگاه‌های اندازه‌گیری مورد استفاده، شدت مؤثر میدان الکتریکی در یک جهت تعیین می‌شود، در هر نقطه شدت میدان در سه جهت دو به دو عمود بر هم ($X, Y, Z$) اندازه‌گیری شد و با استفاده از معادله ۱ شدت مؤثر کل میدان الکتریکی به‌دست آمد.

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \qquad (۱)$$

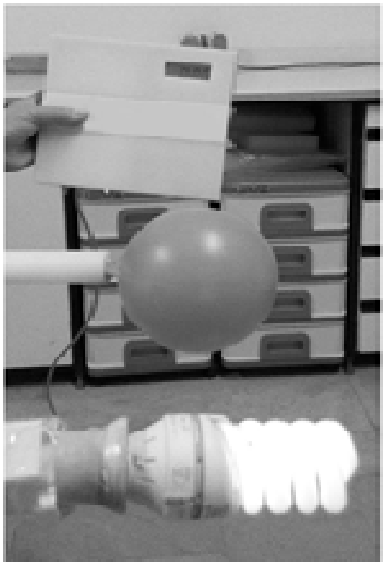


**شکل (٤): اندازه‌گیری شدت میدان الکتریکی.**

### ۳.۲. اندازه‌گیری چگالی شار مغناطیسی در فرکانس برق شهر (۵۰ Hz) و فرکانس کار بالاست

چگالی شار مغناطیسی ($B$) هر لامپ در فرکانس ۵۰ هرتز با استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیری میدان مغناطیسی با محدوده فرکانسی ۵ الی ۳۰۰ هرتز و محدوده دینامیکی ۰/۰۱ mG الی ۱۰ G و در فرکانس کار بالاست توسط دستگاه اندازه‌گیری دیگری با محدوده فرکانسی ۲ الی ۴۰۰ کیلوهرتز و محدوده دینامیکی ۰/۰٦ mG الی ٤۰۰ G اندازه‌گیری شد (شکل ۵).

پروب دستگاه‌های اندازه‌گیری میدان مغناطیسی مورد استفاده سه جهته بود لذا در هر نقطه چگالی شار مؤثر کل مغناطیسی اندازه‌گیری شد.

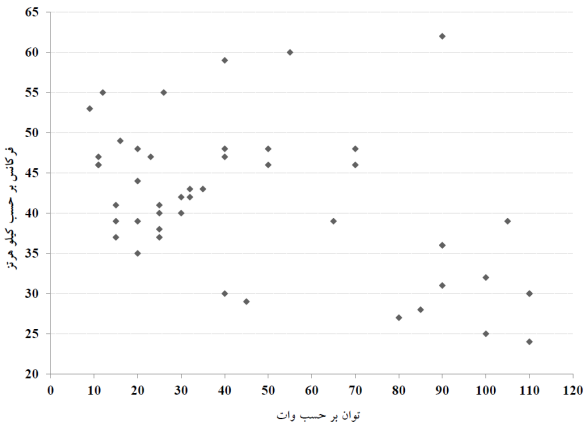


**شکل (۵): اندازه‌گیری چگالی شار مغناطیسی.**

## ۳. یافته‌ها

### ۱.۳. فرکانس کار بالاست

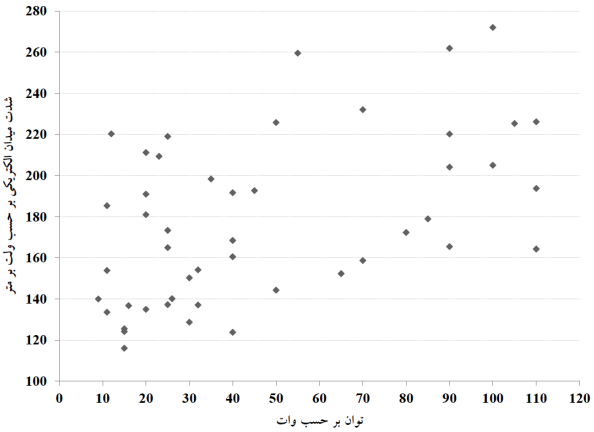
در این قسمت نتایج آزمون‌های انجام شده به تفکیک ارائه می‌شود و مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج حاصل از آزمون بند ۲.۱ فرکانس لامپ‌های مورد آزمون در محدوده ۲٤ الی ٦۲ کیلو هرتز به‌دست آمد. نمودار فرکانس میدان‌های تابشی بالاست بر حسب توان لامپ‌های مورد آزمون در نمودار شکل ٦ ارائه شده است. با توجه به این نمودار دیده می‌شود که ارتباط مشخصی بین توان لامپ و فرکانس کار بالاست وجود ندارد.




**شکل (٦): فرکانس بالاست برای CFLها با توان‌های مختلف.**

### ۲.۳. شدت میدان الکتریکی در فرکانس برق شهر (۵۰ هرتز)

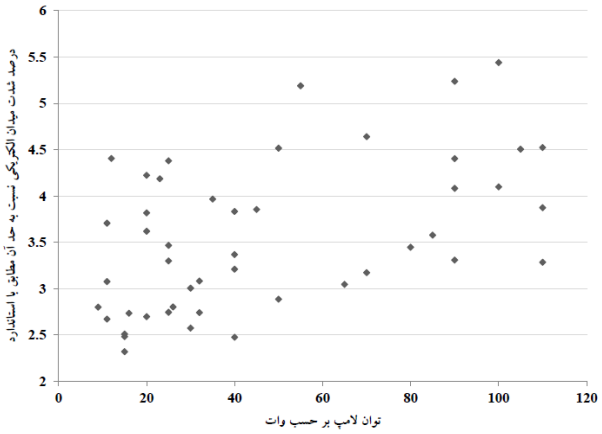
نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی لامپ‌های مورد آزمون در مجاورت بالاست و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری هر لامپ بر حسب توان آن‌ها در شکل ۷ ارائه شده است.




**شکل (۷): نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی در فرکانس ۵۰ هرتز و فاصله ۳۰ سانتی‌متری از CFLها.**

با توجه به نمودار شکل ۷ دیده می‌شود که با وجود تغییر چشم‌گیر توان لامپ‌های مورد آزمون، شدت میدان الکتریکی در فرکانس ۵۰ هرتز در فاصله ۳۰ سانتی‌متری بالاستِ لامپ‌ها تغییرات چندانی ندارد. با توجه به ثابت بودن تقریبی ولتاژ برق (۲۲۰ ولت)، این نتیجه قابل قبول است و تفاوت‌های موجود به دلیل اختلاف ابعاد و شکل لامپ‌های مورد آزمون است.

در شکل ۸ نمودار تغییرات درصد شدت میدان الکتریکی لامپ‌های مورد آزمون نسبت به حد شدت میدان الکتریکی برای مردم در فرکانس ۵۰ هرتز که مطابق با استاندارد ملی ایران [۷] و همچنین رهنمود ICNIRP [۵]، ۵۰۰۰ V/m است، بر حسب توان آن‌ها ارائه شده است. در این نمودار شدت میدان الکتریکی هر لامپ در مجاورت بالاست و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری آن اندازه‌گیری شده است.




**شکل (۸): نمودار تغییرات درصد شدت میدان الکتریکی در فرکانس ۵۰ هرتز و فاصله ۳۰ سانتی‌متری CFLها به حد شدت میدان الکتریکی.**

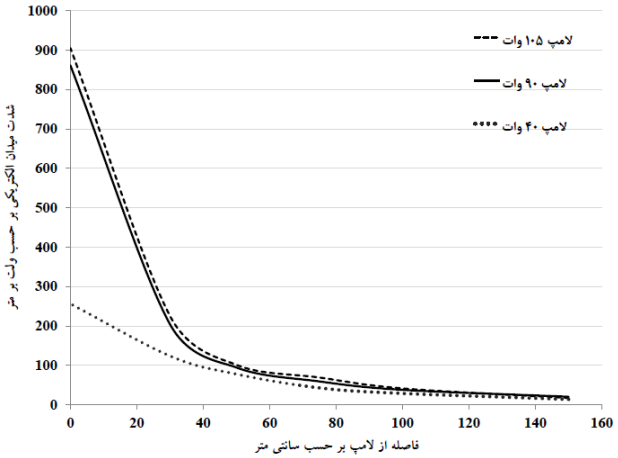
همان‌گونه که از شکل ۸ مشاهده می‌شود، شدت میدان الکتریکی CFLها بسیار کم‌تر از حد پرتوگیری مردم مطابق با استاندارد ملی است.

در شکل ۹ نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی سه لامپ کم‌مصرف مورد آزمون با تغییر فاصله از لامپ مشاهده می‌شود. دیده می‌شود که در تمامی فواصل و برای تمامی توان‌های CFL، شدت میدان الکتریکی اندازه‌گیری شده بسیار کم‌تر از حد پرتوگیری مردم (۵۰۰۰V/m) مطابق با استاندارد ملی [۷] و همچنین رهنمود ICNIRP [۵] است.

## ۳.۳. چگالی شار مغناطیسی در فرکانس برق شهر (۵۰ هرتز)

چگالی شار مغناطیسی یک لامپ رشته‌ای ۲۰۰ وات در فاصله ۱۰ سانتی‌متری آن حداکثر ۳ mG و برای یک CFL با توان ٤٠ وات که روشنایی آن معادل لامپ رشته‌ای مزبور است حداکثر ۰/۰٦ mG اندازه‌گیری شد. در این فرکانس حد چگالی شار مغناطیسی برای مردم مطابق با استاندارد ملی ایران [۷] و مطابق با رهنمود ICNIRP [۵] برابر با ۲۰۰۰ mG می‌باشد. دیده می‌شود که مقادیر اندازه‌گیری شده برای هر دو نوع لامپ بسیار کم‌تر از مقادیر حد مطابق با هر دو مدرک مزبور است.

با توجه به این که توان مصرفی یک لامپ کم‌مصرف در مقایسه با لامپ رشته‌ای با روشنایی معادل کم‌تر است، در فرکانس ۵۰ هرتز شدت جریان CFL و در نتیجه شدت میدان مغناطیسی آن از لامپ رشته‌ای بسیار کم‌تر است.

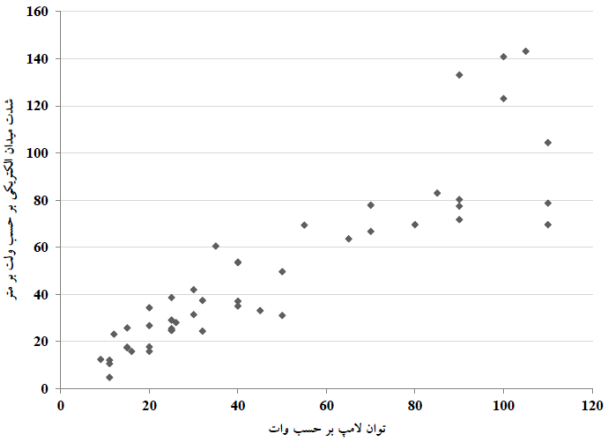



**شکل (۹): نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی در فرکانس ۵۰ هرتز با تغییر فاصله از CFLها.**

## ٤.۳. شدت میدان الکتریکی در فرکانس کار بالاست

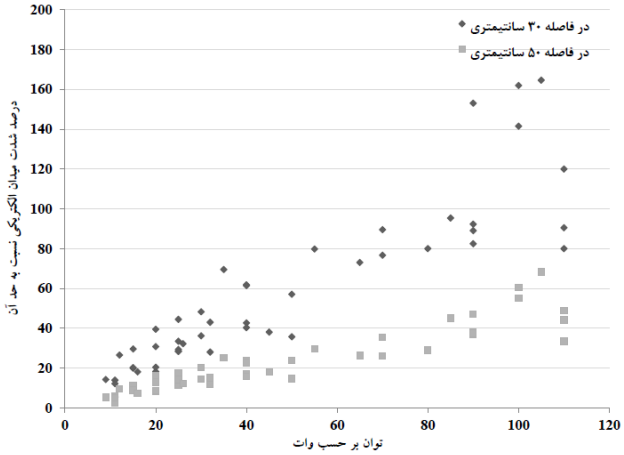
نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی لامپ‌های مورد آزمون در فاصله ۳۰ سانتی‌متری بالاست، بر حسب توان آن ها در شکل ۱۰ ارائه شده است.

اگر چه شدت میدان الکتریکی در فرکانس کار بالاست لامپ، با توان لامپ ارتباط مستقیم و مشخص ندارد لیکن دیده می‌شود که تقریباً در اغلب موارد با افزایش توان لامپ، شدت میدان الکتریکی افزایش می‌یابد.




**شکل (۱۰): نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی در فاصله ۳۰ سانتی-متری CFLها برای فرکانس کار بالاست.**

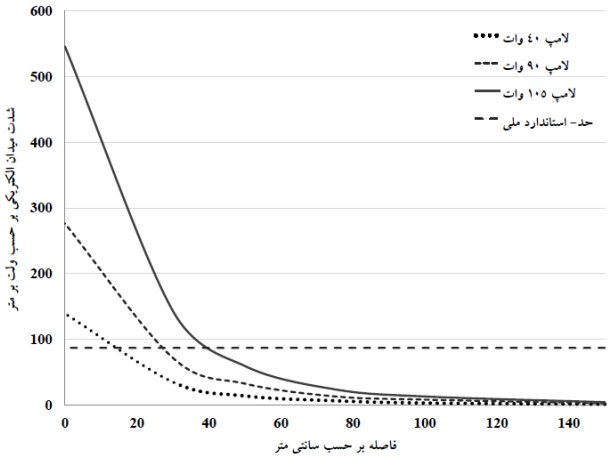
در شکل ۱۱ نمودار تغییرات درصد شدت میدان الکتریکی لامپ‌های مورد آزمون نسبت به حد شدت میدان الکتریکی برای مردم در محدوده فرکانسی ۲٤ الی ۱۰۰ کیلوهرتز که مطابق با استاندارد ملی ایران [۷] و رهنمود ICNIRP [۵] ۸۳ V/m است، بر حسب توان آن‌ها ارائه شده است. در این نمودار شدت میدان الکتریکی هر لامپ در مجاورت بالاست و در فاصله‌های ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری آن اندازه‌گیری شده است.




**شکل (۱۱): نمودار تغییرات درصد شدت میدان الکتریکی در فرکانس کار بالاست و فاصله ۳۰ سانتی‌متری CFLها به حد آن برای مردم طبق استاندارد ملی و رهنمود ICNIRP.**

با توجه به شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که در فاصله ۳۰ سانتی‌متری لامپ‌ها و کم‌تر از آن، در توان‌های بالاتر از ۹۰ وات ممکن است شدت میدان الکتریکی در فرکانس کار بالاست، از حد آن برای مردم مطابق با استاندارد ملی [۷] و رهنمود ICNIRP [۵] بیش‌تر شود ولی برای تمامی لامپ‌ها در فواصل بیش‌تر از ۵۰ سانتی‌متری، شدت این میدان قطعاً زیر حد مزبور می‌باشد.

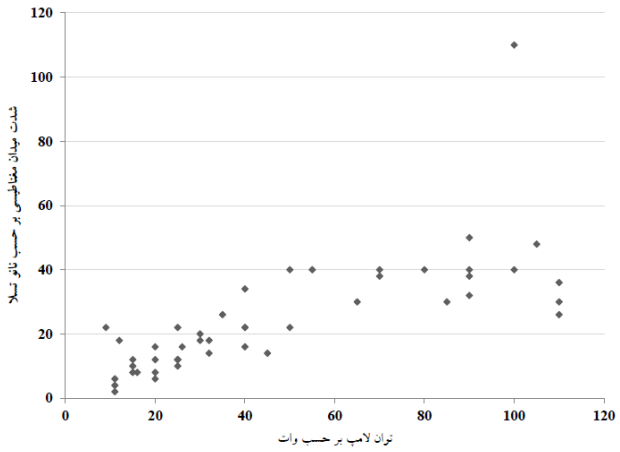
در شکل ۱۲ نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی سه عدد (CFL) مورد آزمون با تغییر فاصله از لامپ‌ها مشاهده می‌شود. برای تمامی توان‌های (CFLs) شدت میدان الکتریکی اندازه‌گیری شده با کاهش فاصله از بالاست لامپ، به سرعت افزایش می‌یابد و در فواصل نزدیک به لامپ این میدان از حد پرتوگیری مردم مطابق با استاندارد ملی ایران [۷] و همچنین رهنمود ICNIRP [۵] بیش‌تر است.




**شکل(۱۲): نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی در فرکانس کار بالاست با تغییر فاصله از CFLها.**

## ۵.۳. چگالی شار مغناطیسی در فرکانس کار بالاست

نمودار تغییرات چگالی شار مغناطیسی در مجاورت بالاست و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری لامپ های مورد آزمون بر حسب توان آن‌ها در شکل ۱۳ ارائه شده است.

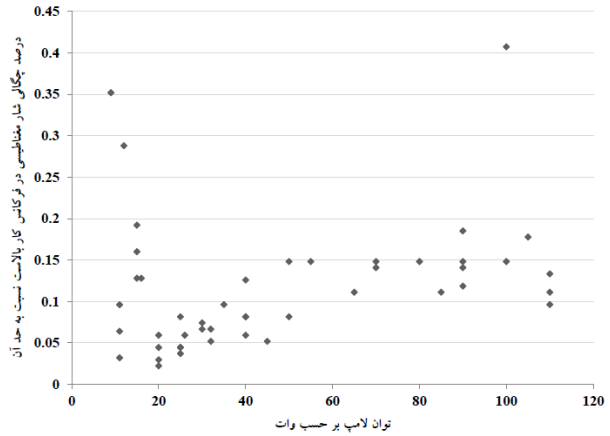



**شکل (۱۳): نمودار تغییرات چگالی شار مغناطیسی در فرکانس کار بالاست و فاصله ۳۰ سانتی‌متری CFLها.**

با توجه به شکل ۱۳، چگالی شار مغناطیسی نیز در فرکانس کار بالاست لامپ، با توان لامپ ارتباط مستقیم و مشخصی ندارد لیکن در این مورد نیز تقریباً در اغلب موارد با افزایش توان لامپ، شدت میدان مغناطیسی افزایش می‌یابد.

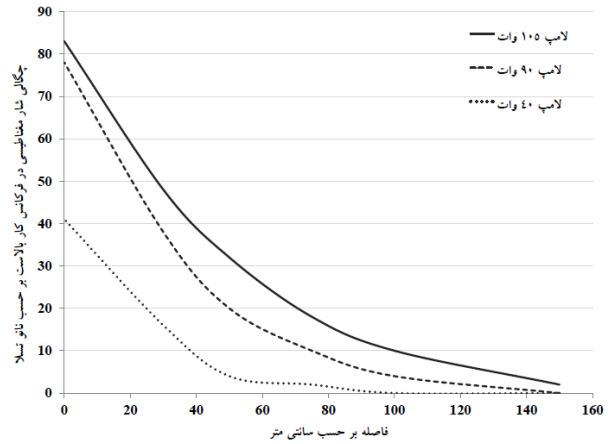
در شکل ۱٤ نمودار تغییرات درصد چگالی شار مغناطیسی لامپ‌های مورد آزمون نسبت به حد چگالی شار مغناطیسی برای مردم در محدوده فرکانسی ۲٤ الی ۱۰۰ کیلوهرتز که مطابق با استاندارد ملی ایران [۷] و رهنمود ICNIRP [۵] ۲۷۰۰۰nT است، بر حسب توان آن ها ارائه شده است. در این نمودار چگالی شار مغناطیسی هر لامپ در مجاورت بالاست و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری آن اندازه‌گیری شده است.

با توجه به شکل ۱٤ مشاهده می‌شود که در فاصله ۳۰ سانتی‌متری لامپ‌ها، برای تمامی لامپ‌های مورد آزمون چگالی شار مغناطیسی در فرکانس کار بالاست بسیار کم‌تر از حد آن برای مردم مطابق با استاندارد ملی [۷] و رهنمود ICNIRP [۵] است.




**شکل (۱٤): نمودار تغییرات درصد چگالی شار مغناطیسی در فرکانس کار بالاست و فاصله ۳۰ سانتی‌متری CFLها به حد آن برای مردم طبق استاندارد ملی.**

در شکل ۱۵ تغییرات چگالی شار مغناطیسی سه عدد CFL مورد آزمون با تغییر فاصله از آن‌ها مشاهده می‌شود. دیده می‌شود که در تمامی فواصل و برای تمامی توان‌های CFL چگالی شار مغناطیسی اندازه‌گیری شده بسیار کم‌تر از حد پرتوگیری مردم ( ۲۷۰۰۰ nT) مطابق با استاندارد ملی است.




**شکل (۱۵): نمودار تغییرات چگالی شار مغناطیسی در فرکانس کار بالاست با تغییر فاصله از CFLها.**

بر اساس شکل ۱۵ مشاهده می شود که با افزایش فاصله از لامپ چگالی شار مغناطیسی به سرعت کـاهش مـی یابـد و در فواصل بیش‌تر از یک متری لامپ بسیار کم می‌شود.

## ٤. نتیجه‌گیری

در این تحقیق شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در مجاورت ۵۰ نمونه لامپ فلورسنت فشرده ساخت ایران که همگی دارای نشان استاندارد بودند، اندازه‌گیری شدند. این لامپ‌ها از انواع مدل‌ها، اشکال هندسی و توان‌ها در دو نوع آفتابی و مهتابی استفاده شد.

این اندازه‌گیری‌ها در فرکانس برق شهر (۵۰ هرتز) و محدوده فرکانسی کار بالاست (٢٤ الی ٦٢ کیلوهرتز) انجام شد. شدت میدان الکتریکی و شدت میدان مغناطیسی مجاور لامپ‌های فلوروسنت فشرده در فرکانس بالاست و همچنین فرکانس برق شهر با افزایش توان لامپ بزرگ می‌شوند، هرچند این افزایش خطی نیست. با بررسی مقادیر اندازه‌گیری شده در فاصله‌های مختلف از لامپ، مشخص شد که شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در فرکانس ۵۰ هرتز و همچنین شدت میدان مغناطیسی در محدوده فرکانسی ٢٤ الی ٦٢ کیلوهرتز، بسیار کم‌تر از حدود پرتوگیری مردم مطابق با استاندارد ملی و رهنمود ICNIRP است ولی در فواصل کم‌تر از ۳۰ سانتی‌متری لامپ‌های با توان بالاتر از ۹۰ وات، شدت میدان الکتریکی در فرکانس بالاست ممکن است از حد استاندارد پرتوگیری مردم بیش‌تر شود، لذا استفاده از این لامپ‌ها در فضاهای کوچک و بسته باید با احتیاط صورت گیرد. از طرفی با افزایش تعداد لامپ‌های کم‌مصرف (مانند لوستر)، میدان‌های الکتریکی (یا میدان‌های مغناطیسی) هر یک از لامپ‌ها به‌صورت برداری جمع می‌شوند و برای مراعات حدود استاندارد پرتوگیری مردم، حتی‌الامکان باید در فاصله-های دورتری از مجموعه لامپ‌ها قرار گرفت.

## ۵. مراجع


فشرده، مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد اول، شمـاره دوم، زمستان (۱۳۹۲)، ۲۶–۲۱.

[5] ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time- Varying Electric, Magnetic Fields (1Hz-100kHz), Health Physics ,99 (6), (2010), 818–836.

[6] M. Havas. Health Concerns associated with Energy Efficient Lighting and their Electromagnetic emissions, Environmental and Resource Studies Trent University, Peterborough, ON, Canada, (2008), 1–11.

[۷] استاندارد پرتوهای غیریونساز- حدود پرتوگیری، ویرایش دوم، سازمان ملی استاندارد ایران، (۱۳۸۵).

[1] Ultraviolet Leaks from CFLs, Environmental Health Perspectives, volume 120 | number 10 |October (2012), A387.

[2] Health Canada, Executive Summary: Report on Health Canada Survey of Ultraviolet Radiation and Electric and Magnetic Fields from Compact Fluorescent Lamps, December, (2009), 1–7.

[3] T. Letertre, A. Azoulay, A. Destrez, F. Gaudaire, C. Martinsons. Characterization of compact fluorescent lights RF emissions in the perspective of human exposure, EMC'09/Kyoto, (2009), 473–476.

[٤] فرودین، دلنواز. زمانی، مجید. ناصح‌نیا، فرید. ارزیابی پرتوهای فرابنفش لامپ‌های کم‌مصرف از نوع فلورسنت