
رانندگی در برف : تاثیر رنگ نور چراغ خودرو در شرایط مزوییک (نور متوسط) و فتوییک (پرنور)

Mark S .Rea و John D Bulluogh

مرکز تحقیقات نور ، موسسه پلیتکنیک رنسلر

انتشار توسط : توسعه تکنولوژی نوردهی خودروها (SP-۱۵۹۵)



GLOBAL MOBILITY DATABASE

All SAE papers, standards, and selected books are abstracted and indexed in the Global Mobility Database

رانندگی در برف: تاثیر رنگ چراغ های جلوی اتومبیل هنگام رانندگی با نور کم (مزوپیک) یا نور زیاد (فوتوپیک)

خلاصه

بسیاری از افراد فکر می کنند هنگام بارش برف استفاده از نور زرد در چراغ های جلوی اتومبیل بهتر از نور سفید است. هرچند شواهدی مبنی بر این ادعا وجود دارد که نور زرد نسبت به نور سفید با همان سطح تابش کمتر خیره کننده و آزاردهنده است، اما مشخص نیست که این نورهای منعکس شده با رنگ های مختلف به طور متفاوت بر راحتی راننده و عملکردش تاثیری داشته باشد. این مطالعه مکانیزم بالقوه ای را بررسی می کند که می تواند مزایای احتمالی چراغ های جلوی زرد رنگ را در شب برای کاهش اثرات مخرب نور منعکس شده به سمت رانندگان تایید کند. نتایج نشان می دهد که در سطوح کم نور، هنگامی که میدان دید تحت کنترل در شرایط اختلال دید قرار دارد (مانند نور منعکس شده از برف)، قابلیت های رانندگی یک راننده که وظیفه اش مسیریابی است هنگام دید با نور کم و ماهیت اختلال دید کاهش می یابد. برخلاف تصور متداول، سلول های استوانه ای شبکیه ممکن است عملکرد تا روشنایی ۶۵ کاندلا بر متر مربع را تحت تأثیر قرار دهند.

مقدمه

جاده ها در آمریکای شمالی و اروپا شامل بزرگراه های چند لاینه بین ایالتی تا جاده های باریک کشوری و جاده هایی با روشنایی کامل تا جاده های فاقد روشنایی می باشند. به دلیل این تنوع و به دلیل اینکه روشنایی معابر همیشه به درستی نگهداری نمی شود، در وسایل نقلیه از چراغ های جلو استفاده می شود تا رانندگان بتوانند وسایل نقلیه پارک شده، عابران پیاده یا سایر اشیا را ببینند. حتی در صورت تأمین روشنایی با تیرهای چراغ برق، چراغ های جلو می توانند دید خطرات احتمالی را بهبود ببخشند (و همچنین خود خودرو نیز بهتر دیده شود).

نور منعکس شده از ذرات در شرایط بد جوی (مانند ریزش برف، باران و مه) دید را مختل می کند زیرا در صورت وجود مه مانند پرده ای نورانی عمل می کند، یا در صورت وجود باران و برف به عنوان اختلال دید عمل می کند. رانندگان خودروهای برف روب هنگام انجام کار خود، نور منعکس شده از بارش را به عنوان یک مشکل مهم ذکر می کنند و بسیاری از این رانندگان از راه حل های خود برای مقابله با این مشکل استفاده می کنند. یک راه حل که معمولاً توسط اپراتورها ارائه می شود استفاده از چراغ های مه زرد رنگ است. برای سالهای طولانی، بر اساس تحقیقات اولیه انجام شده در فرانسه، وسایل نقلیه در این کشور مجبور به استفاده از چراغهای جلوی زرد رنگ بودند، زیرا ادعا می شود وقتی که نور به جای سفید، زرد باشد پراکنندگی نور در شرایط بد جوی کمتر است. تحقیقات بعدی و فیزیک پایه جدی بودن این ادعا را رد کرده اند.

با این وجود ، هنوز بسیاری از افراد معتقدند که هنگام رانندگی در شرایط نامناسب ، نور زرد به نور سفید ارجحیت دارد. در حالی که شواهد موجود بر اثبات این ادعا حاکی از آن است که نور زرد نسبت به نور سفید با همان سطح تابش و درخشندگی کمتر خیره کننده و آزاردهنده است، آیا تأثیرات طیفی نور منعکس شده را می توان از نظر روانی در یک وضعیت رانندگی نامعین اندازه گیری کرد. این مقاله داده هایی را فراهم می کند که طبق آن ها چراغ های جلوی زرد می توانند در واقع نسبت به نور سفید با شدت نور یک سان در کاهش اثرات مخرب نورهای بازتاب شده برتر باشند. مکانیزمی برای توضیح این نتایج ارائه شده است.

هدف اصلی چراغ های جلو تامین دید جلو است. اگرچه ممکن است وضعیت روشنایی چراغ جلو در شرایط عادی ، مناسب باشد، نور منعکس شده از بارش برف ، باران یا ذرات مه مسیر جاده (اشیا روی آن) را که راننده نیاز به دیدن آن دارد ، پنهان می کند. مقداری از نور چراغ های جلو را باران و برف به سمت راننده منعکس می کنند. این نور منعکس شده ، تا حدی با کاهش کنتراست اجسام ، باعث کاهش دید می شود. همچنین ، اجسامی که مدام سوسو می زنند (قطرات باران یا دانه های برف) در میدان دید حواسپرتی و اختلال دید ایجاد می کنند. این اجسام (خودرو های در حال حرکت) نسبت به اجسام ساکن با همان میزان درخشندگی روشن تر به نظر می رسند و ممکن است به مرور زمان باعث خستگی چشمان راننده شوند، که احتمال وقوع تصادفات جاده ای را افزایش می دهند. گزارش های رانندگان ماشین های برف روب ، که زمان قابل توجهی را صرف رانندگی در شرایط نامساعد آب و هوایی می کنند ، نشان می دهد نور انعکاسی ناشی از ریزش برف منجر به احساس خیرگی می شود.

پراکندگی رایلی به عنوان توضیحی در مورد حکایت عملکرد بهتر چراغ های جلوی زرد در شرایط بد جوی ارائه شده است. پراکندگی رایلی مربوط به ذرات پراکنده بسیار کوچک است (اندازه آنها بزرگتر از طول موج نوری نیست که از آنها عبور می کنند). مقدار پراکندگی با طول موج نور رابطه عکس دارد. بنابراین ، نور با طول موج کوتاه (آبی) بیشتر از نور با طول موج بلند (قرمز) و نور سفید بیشتر از نور زرد که نسبت کمتری از انرژی با طول موج کوتاه دارد ، پراکنده می شوند. این مسئله مبنای اولیه توصیه های موتون و مونیر برای چراغ های جلو زرد در فرانسه بود (این قانون از دوران جنگ جهانی دوم تا سال ۱۹۹۳ در کشور فرانسه همچنان جاری بود).

با این حال ، قطرات باران ، دانه های برف و حتی بیشتر ذرات مه با قطر متوسط ۸۰۰۰ نانومتر، حداقل یک مرتبه از نظر اندازه بزرگتر از طول موج های مرئی بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر هستند. در این شرایط ، پراکندگی رایلی قابل اغماض است.

اگرچه در مورد نور بازتاب داده شده هرگز مورد بحث قرار نگرفت، توضیح محتمل دیگر برای ارجحیت چراغ های زرد مربوط به واکنش دیداری به نورها با رنگ های مختلف است. چندین مطالعه برای تعیین تأثیر توزیع نیروی طیفی (SPD) – SPECTRAL POWER DISTRIBUTION بر درک روشنایی انجام شده است که می تواند مربوط به قضاوت ذهنی در مورد روشنایی و ناراحتی و عملکرد ضعیف تر با نور منعکس شده باشد. اگرچه تابع کارایی درخشان فتوپیک برای تعریف درخشندگی استفاده می شود، این کمیت، قضاوت های ذهنی درک از روشنایی را فقط در شرایط محدود پیش بینی می کند. تأثیر SPD بر درک روشنایی توسط کایسر، المان، المان و همکارانش و هانت مستند شده است. به عنوان مثال رنگ های اشباع شده درخشان تر از رنگ های اشباع نشده با همان میزان درخشندگی هستند.

از بین دو نوع گیرنده نوری در سیستم بینایی انسان (سلول های استوانه ای و سلول های مخروطی)، سلول های استوانه ای در مقایسه با بالاترین میزان حساسیت سلول های مخروطی شبکه (فتوپیک) که در ۵۵۵ نانومتر می باشند دارای بیشینه حساسیت ۵۰۷ نانومتر (اسکوتوپیک) هستند. سه نوع سلول مخروطی با حساسیت بالا حدود ۵۷۰، ۵۴۰ و ۴۴۰ نانومتر وجود دارند. توزین ساده ورودی سلول های مخروطی متناسب با تراکم نسبی آنها در شبکه، منجر به حساسیت فتوپیک ۵۵۵ نانومتر می شود. طبق تصور سنتی سلول های مخروطی گیرنده های نوری اولیه در روشنایی های بالاتر از ۳ کاندلا بر متر مربع و سلول های استوانه ای گیرنده های اصلی نور زیر ۰،۳۴ کاندلا بر متر مربع هستند. بین این روشنایی ها (منطقه مزوپیک) سلول های مخروطی و سلول های استوانه ای هر دو پاسخ های خود را ترکیب می کنند. شکل ۱ تابع کارایی درخشان فتوپیک و تابع کارایی درخشان اسکوتوپیک را نشان می دهد

شکل ۱ تابع کارایی درخشان فتوپیک و اسکوتوپیک

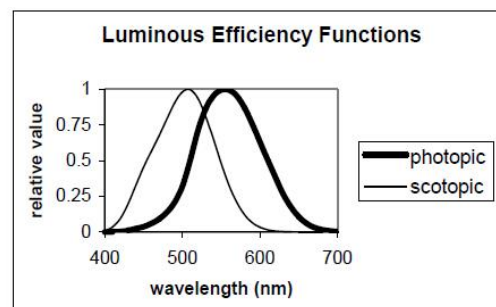


Figure 1. Photopic and scotopic luminous efficiency functions.

از آنجا که نور "زرد" به طور کلی انرژی کمتری در ناحیه طول موج کوتاه (زیر ۵۵۰ نانومتر) از طیف مرئی نسبت به نور "سفید" با درخشندگی برابر دارد، پاسخ سلول های مخروطی نسبتاً ضعیف تری ایجاد می کند. یک روش برای تعیین کمیت سهم

سلول های استوانه ای و سلول های مخروطی در درک بصری لامپ نسبت اسکوتوپیک / فوتوپیک (S/P) نامیده می شود. لامپ آبی به طور معمول نسبت S/P بالا و لامپ قرمز نسبت S/P پایینی خواهد داشت. در جدول شماره ۱ چند لامپ و نسبت های S/P مربوط به آن ها نوشته شده است. اگر سلول های استوانه ای در ایجاد واکنش خیرگی همراه با ناراحتی در دید نقش اصلی ایفا کنند سپس نسبت S/P لامپ ها ممکن است در پیش بینی خیرگی ناراحت کننده ناشی از لامپ های مختلف مفید واقع شوند. جدول شماره ۱ منابع نور متداول و نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک آن ها

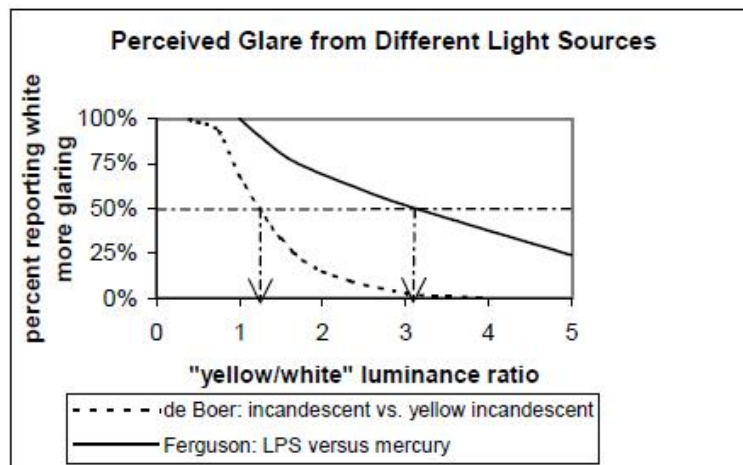
منبع نور	نسبت S/P
Incandescent	1.41
Yellow-filtered incandescent	1.25
High pressure sodium	0.62
Low pressure sodium	0.23
Warm white fluorescent	1.00
Cool white fluorescent	1.46
Clear mercury vapor	0.80
Metal halide (sodium-scandium)	1.49

Table 1. Common light sources and their s/p ratios.

مطالعات مستقلی که فرگوسن و همکارانش، دی بوئر و ون هیمسکرک و یکنز با استفاده از روشهای آزمایشی مشابه انجام داده اند نشان می دهد سلول های استوانه ای می توانند در پدیده خیرگی نقش داشته باشند. فرگوسن و همکارانش از افراد خواستند تابش خیره کننده هاله های ۱۰در ۲۲ سانتی متری نور سدیم با فشار کم (LPS) و لامپ های جیوه در برابر درخشندگی پیش زمینه ای حدود ۳ کاندلا بر متر مربع را ارزیابی کنند. روشنایی نور سدیم کم فشار در ۶۸۰۰۰ کاندلا بر متر مربع ثابت بود در حالیکه روشنایی نور جیوه قابل تنظیم بود. به طور متوسط روشنایی نور جیوه تا ۱/۳ کاهش یافت تا میزان خیره کنندگی دو نور با هم یکسان به نظر برسند.

دی بوئر و ون هیمسکرک و یکنز تابش خیره کننده لامپ های مختلف مانند لامپ های رشته ای بدون فیلتر و لامپ های رشته ای فیلتردار آفتابی را در چراغ های نصب شده در خیابان مقایسه کردند. آن ها از افراد خواستند تا به نورپردازی پس زمینه حدود ۱ کاندلا بر متر مربع نگاه کنند و میزان روشنایی منبع نور را تغییر دادند تا به حدی برسند که باعث ایجاد ناراحتی در دید شود. به طور متوسط، روشنایی لامپ رشته ای فیلتر شده آفتابی زمانیکه به حد مورد نظر رسید ۲۵ درصد بیشتر از روشنایی لامپ رشته ای بدون فیلتر در همان سطح ناراحتی بود.

با برآورد نسبت های اسکوتوپیک/فوتوپیک برای دو لامپ می توان سهم های S/P نسبی دو لامپ را مقایسه کرد. با استفاده از جدول شماره ۱، نسبت S/P برای لامپ های رشته ای و لامپ های رشته ای فیلتردار آفتابی (۱,۴۱/۱,۲۵)، و نسبت S/P برای لامپ های جیوه و ال پی اس (۰,۸/۰,۲۳) است. این مقادیر با نسبت های درخشندگی مطابقت بسیاری دارند که در آن ۵۰٪ ناظران در هر مطالعه این منابع را به یک اندازه خیره کننده ارزیابی کردند: همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است حدود ۱,۲۵ برای لامپ رشته ای آفتابی و بدون فیلتر و حدود ۳ برای ال پی اس و جیوه می باشد. شباهت بین این نسبت ها ممکن است نشان دهد که خروجی اسکوتوپیک نسبی یک لامپ ممکن است پتانسیل آن را برای ایجاد تابش خیره و ناراحت کننده هنگام روشنایی پیش زمینه در یا نزدیک به محدوده مزوپیک پیش بینی کند.



شکل ۲. رابطه بین نسبت درخشندگی زرد / سفید و درصد افراد در دو مطالعه رنگ سفید را نسبت به زرد خیره کننده تر ارزیابی می کنند. هنگامی که نسبت زرد / سفید در حدود ۱/۲۵ و ۳ بود، خط افقی نشان می دهد که چراغها به یک اندازه خیره کننده هستند.

حداقل، تجزیه و تحلیل توصیف شده ی بالا نشان می دهد گیرنده های نوری با حساسیت طیفی نزدیک ۵۵۵ یا بیشتر از ۵۵۵ نانومتر، نمونه های خیلی ضعیفی برای پیش بینی واکنش تابش خیره کننده با زمینه های تاریک خواهند بود. با این حال، از بین سه نوع مخروطی که در شبکیه چشم وجود دارند، مخروط ها با طول موج کوتاه و حساسیت طیفی نزدیک به ۴۴۰ نانومتر، ممکن است به عنوان گیرنده های نوری مسئول واکنش تابش ناراحت کننده در نظر گرفته شوند. این گیرنده نوری در مدل های پیش بینی کننده مسئول درک روشنایی در نظر گرفته شده اند، بنابراین نقش احتمالی مخروط ها با طول موج کوتاه در تابش ناراحت کننده غیر منطقی به نظر نمی رسد. می توان نسبت مخروط ها به فوتوپیک طول موج کوتاه برای یک لامپ را مانند نسبت اسکوتوپیک به فوتوپیک محاسبه کرد که سهم نسبی مخروط ها با طول موج کوتاه و مخروط های حفره چشمی را بر حسب درک بصری از یک لامپ توصیف می کند. اگر نسبت نسبت های مخروط ها به فوتوپیک برای لامپ هایی که بوئر، ون هیمسکرک و

فرگوسن و همکارانش استفاده کردند محاسبه شود عدد به دست آمده برای لامپ های رشته ای آفتابی و بدون فیلتر ۳,۵ و برای لامپ های ال پی اس وجیوه ای ۲۶۰ می باشد. این نسبت ها با نسبت های درخشندگی تابش یکسانی که بوئر, ون همسکرک و فرگوسن و همکارانش به آن دست یافتند و همچنین نسبت های, اسکوتوپیک به فوتوپیک که در بالا محاسبه شده بسیار متفاوت هستند. این مسئله نشان می دهد احتمالاً با این شرایط مخروط ها با طول موج کوتاه برای تابش مورد اصلی نیستند یا حداقل در ایجاد خیرگی نقش چندانی پیچیده ای ندارند.

نقش (SPD) در تابش های خیره کننده ممکن است با در نظر گرفتن لرزش و ماهیت متحرک بودن نور ناشی از ریزش دانه های برف یا قطرات باران ، که باعث افزایش روشنایی قابل درک آنها می شود ، بیشتر شود. سیستم بینایی انسان را می توان به دو کانال تفکیک کرد: کانال پایدار و کانال ناپایدار یا گذرا. کانال پایدار وظیفه بینایی رنگ و تفکیک جزئیات ریز را به عهده دارد و از طرف دیگر ، کانال ناپایدار که آکروماتیک است از وضوح مکانی ضعیفی برخوردار است و نسبت به تغییرات درخشندگی در میدان دید محیطی حساس تر است ، مانند مواردی که در اثر ریزش برف یا باران ایجاد می شود. جالب است بدانید که تأثیر مخروط ها با طول موج کوتاه در چنین شرایطی بعید به نظر می رسد زیرا این مخروط ها دارای دقت زمانی بسیار کندی هستند و نسبت به سایر گیرنده های نوری دارای حساسیت کمتری نسبت به محرک های گذرای هستند که در اثر سقوط به وجود می آیند مانند قطرات باران و دانه های برف هنگام راندگی در هوای نامساعد. او و همکارانش نشان دادند که در روشنایی مزوپیک, واکنش کانال ناپایدار توسط زمان واکنش به اهداف کوچک, چشمک زن و محیطی (۱۵ درجه خارج از محور) مشخص شد و به طور فزاینده ای با کاهش درخشندگی تحت تأثیر گیرنده های استوانه ای قرار گرفت. برعکس با افزایش درخشندگی اثر گیرنده های استوانه ای کاهش یافت تا جایی که تأثیرشان از بین رفته و واکنش مخروط ها فوتوپیک (نوری) به تنهایی محرک را دقیقاً مشخص کرد. به همین دلیل بعید به نظر می رسد که مخروط ها با طول موج کوتاه عمدتاً مسئول تابش ناراحت کننده در شرایط تلاطم بصری باشند.

بریت میر و ویلیامز درک حرکتی افراد را به عنوان واکنش کانال گذرای دیگر, هنگام مشاهده نزدیک به محیط (حدود ۱,۷ درجه خارج از محور) بررسی کردند. محرک هایی با کنتراست بالا (۰,۹۵ درجه در ۰,۳ درجه, اندازه زاویه) با اندکی جابه جایی نسبت به یکدیگر (۰,۹ درجه, زاویه جابه جایی) به صورت متوالی نشان داده شدند. از زمینه های رنگی (قرمز , سبز یا خاکستری) با میزان کمی از روشنایی ۴ کاندلا بر متر مربع استفاده شد. افراد هنگام مشاهده اهداف متوالی , قدرت درک حرکت را ارزیابی کردند. رتبه بندی آنها در هنگام قرمز بودن زمینه به طرز قابل توجهی نسبت به زمانی که زمینه سبز یا خاکستری بود کمتر بود که نشان می دهد کانال ناپایدار نسبت به نور با طول موج بالا حساسیت کمتری دارد. بریت میر و ویلیامز این احتمال را در نظر گرفتند که نفوذ گیرنده های استوانه ای در کانال گذرا هنگام روشنایی کم اتفاق می افتد (تا حدی توضیح می دهد که درک حرکت کاهش یافته با پس زمینه قرمز است), زیرا گیرنده های استوانه ای حتی می توانند با شرایط خاصی بالای ۳ کاندلا بر متر

مربع فعال باشند و همچنین به دلیل تعداد قابل توجهی از گیرنده های استوانه ای که حتی در ۱,۷ درجه سانتیگراد در مرکز حفزه چشمی وجود دارد. احتمالاً این اثر با افزایش درخشندگی پس زمینه کاهش یافته و از تأثیر (سلول های استوانه ای) می کاهد ، اگرچه این مفهوم قبلاً آزمایش نشده است.

از آنجا که رانندگی در شب وظیفه ای است که در درجه اول با لامپ های کم نور و مزوپیک (بینابینی) متوسط تا زیاد بین ۰,۱ تا ۱ کاندلا بر متر مربع انجام می شود، میزان درک رانندگان از نور منعکس شده از دانه های برف و قطره های باران در حال حرکت روبه روی ماشین می تواند بستگی به SPD روشنایی جلو داشته باشد. احتمالاً نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک نور برگشتی همانطور که بر میزان درک شده از تلاطم بصری تأثیر می گذارد باید تأثیر بر عملکرد رانندگی و ارزیابی ذهنی را نیز پیش بینی کند. بر اساس شواهد مورد بحث قرار گرفته فوق می توانیم فرض کنیم که نور برگشتی با نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک کم باعث کاهش عملکرد بصری و ارزیابی های ذهنی کمتر از نور برگشتی با نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک بالا می شود.

روش

با استفاده از اطلاعات فتومتریک یک شرکت تهیه کننده گزارش در مورد توزیع روشنایی چراغ های جلوی اتومبیل، اطلاعات در مورد غلظت ناحیه ای برف در جو در طول بارش برف ، بازتاب طیفی ذرات برف و اندازه گیری های زمینه ای کنتراست شی در امتداد جاده، مشخص شد که درخشندگی پس زمینه متوسط تقریباً ۱ کاندلا بر متر مربع و کنتراست هدف ۰,۵۵ است (کنتراست در اینجا به عنوان تفاوت مطلق بین درخشندگی هدف و پس زمینه، تقسیم بر درخشندگی بزرگ تر هدف یا پس زمینه تعریف می شود) نشان می دهد " مقادیر معمول " هنگام رانندگی همراه با بارش برف در طول شب در صحنه بصری مشاهده می شود

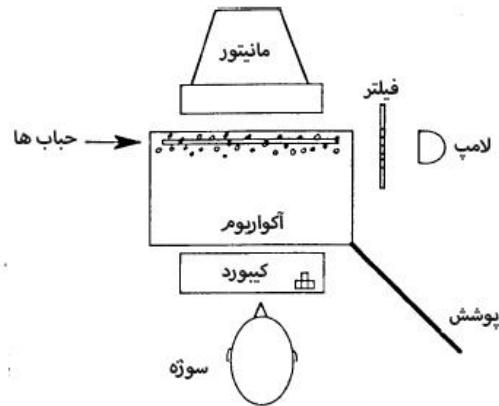


Figure 3. Plan view sketch of experimental apparatus.

تحت چنین شرایط آزمایشگاهی برای انجام آزمایش ها جهت بررسی تاثیرات SPD بر ادراک طراحی شد، با استفاده از یک دستگاه ساده (شکل ۳) متشکل از یک مخزن آکواریوم پر از آب و مجهز به یک همزن که زمینه یکنواختی از حباب های کوچک (یا یک میدان "اختلال دید") به وجود آورده است و در قسمت انتهایی مخزن قرار دارد. ارتفاع مخزن ۳۰، عرض آن ۵۰ و عمقش ۲۵ سانتی متر بود و ۹۵ سانتی متر بالاتر از سطح زمین نصب شده بود. یک لامپ هالوژن پی ای آر ۳۸ تقریباً در فاصله ۳۰ سانتی متری از سمت راست مخزن قرار داده شده بود که حباب ها را از زاویه تقریباً عمود بر خط دید سوژه روشن می کرد. مواد فیلتر رنگی در مقوایی با قابی ۴۸ در ۳۵ سانتی متری حاوی دیافراگم مستطیلی ۲۳ در ۱۸ سانتی متری قرار داشتند. این فیلترها بین لامپ و مخزن نصب می شدند تا تمامی شرایط اس پی دی را فراهم کنند. مواد فیلتر رنگی استفاده شده عبارتند از:

- White SPD: 3M plain paper copier film, #PP2200, transmittance: 95%
- Yellow SPD: Roscolux color filter #11, light straw, transmittance: 82%
- Red SPD: Roscolux color filter #22, deep amber, transmittance: 26%
- Blue-green SPD: Roscolux color filter #370, Italian blue, transmittance: 31%

در هر قاب مقوا از دو ورق فیلتر رنگی استفاده شده بود. با تغییر فیلترها، وات لامپ (۵۰ وات برای فیلترهای زرد و سفید و ۱۰۰ وات برای فیلترهای قرمز و سبز آبی برای انتقال کمتر آن فیلترها) و زاویه میزان تابش از منبع نور بر روی حباب ها، می توان میزان درخشندگی متوسط میدان اختلال دید را تنظیم کرد. یک پوشش دید مستقیم افراد را از نور لامپ مسدود می کند. درخشندگی با زمان متوسط در میدان حباب و در مسیر دید افراد در شرایط مختلف اندازه گیری شد.

یک مانیتور رایانه با نمایشگر ۲۰ در ۲۸ سانتی متر در پشت مخزن آب قرار داشت. افراد مقابل مخزن نشسته و از داخل مخزن به مانیتور نگاه می کردند. نمایشگر مانیتور در پنل عقب مخزن آب قرار داشت. مانیتور یک کار ردیابی بصری را نشان می داد - برنامه ای شبیه به یک بازی ویدیویی ساده مسابقه جاده ای که به موجب آن یک آیکن کنترل شده با صفحه کلید در لبه های "جاده" که به طور مداوم پیموده می شود، نگهداری می شود. از افراد خواسته شد که نماد را در طول کار در لبه های جاده نگهدارند. رایانه نمره را ثبت می کند، یعنی درصد برای زمان قرارگیری آیکن مابین لبه های جاده برای هر بار آزمایش. برای هر SPD درخشندگی میانگین زمان میدان اختلال دید با همزن (حباب ساز) روشن روی ۱۰ کاندا بر متر مربع تنظیم شد. با همزن خاموش، درخشندگی زمینه ۲ کاندا بر متر مربع بود. برای ایجاد شرایط روشنایی پایین، از عینک های تیره با درخشندگی میدان اختلال دید استفاده شد. برای ایجاد کمترین میزان روشنایی، دو عینک بر روی هم قرار گرفتند تا یک جفت دوتایی ایجاد کنند که در نتیجه میزان ۰،۱۴-۰،۱۸ کاندا بر متر مربع انتقال درخشندگی میدان دید را به وجود بیاورند. در مجموع ۱۲ ترکیب از ۴ اس پی دی و ۳ روشنایی میدان اختلال دید وجود دارند.

چهار اس پی دی که برای تهیه اختلال دید استفاده شده اند در شکل شماره ۴ نشان داده شده اند. مختصات رنگی (ایکس،وای) پیش زمینه، اهداف، کنتراست درخشندگی و نسبت های اسکوتوپیک / فوتوپیک برای هر یک از شرایط در جدول شماره ۲، ۳ و ۴ ذکر شده است. عینک های مات از نظر طیفی کاملاً خنثی نبودند. بنابراین نسبت های اسکوتوپیک / فوتوپیک برای پیش زمینه و اهداف با روشنایی کمتر تغییر کردند. در حالیکه تفاوت های حسابی بین نسبت های اسکوتوپیک / فوتوپیک در هر درخشندگی تقریباً ثابت ماند. نسبت های اسکوتوپیک / فوتوپیک اهداف و پیش زمینه حتی در شرایط مساعد کمی متفاوت بود چون منبع نور فیلتر شده در این شرایط روشن ماند و بنابراین مقدار کمی نور به اس پی دی کلی هدف و پیش زمینه می داد.

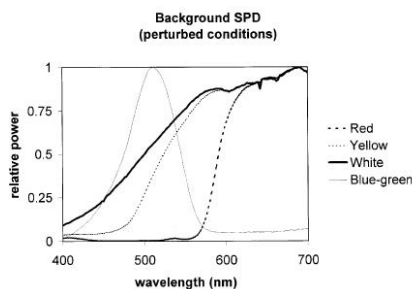


Figure 4. SPDs of the four visual noise conditions.

جدول ۳. مشخصات فوتومتریک شرایط آزمایشی مساعد (ال بی: روشنایی پیش زمینه، ال تی: روشنایی هدف)

سه نفر در آزمایش ردیابی بصری شرکت کردند (۱: مرد ، ۲۷ ساله ؛ ۲: زن ، ۳۷ ساله ؛ ۳: زن ، ۲۷ ساله). همه افراد دارای دید طبیعی رنگ و تیزهوشی طبیعی اسنلن از هر دو فاصله ۶ متری و ۵۰ سانتی متری بودند. قبل از شرکت در آزمایش ، همه افراد حداقل ۳۰ دقیقه کار ردیابی را تمرین کردند. هر فرد ۱۲ جلسه ، هر جلسه را برای یکی از ترکیب های اس پی دی / روشنایی پشت سر گذاشت. ترتیب ترکیب ها برای هر یک از افراد تصادفی بود. هر جلسه حدود ۴۵ دقیقه طول کشید و کارها به ترتیب زیر انجام شدند.

یک جلسه تمرین ۳ دقیقه ای که به افراد امکان می دهد کار را انجام دهند (بدون میدان اختلال دید) و خود را با شرایط اتاق آزمایش سازگار کنند.

یک جلسه کار ردیابی بصری ۳ دقیقه ای با لامپ روشن و همزن خاموش (بدون میدان اختلال دید، شرایط مساعد)

یک جلسه کار ردیابی بصری ۳۰ دقیقه ای با منبع نور و همزن روشن (با میدان اختلال دید، شرایط نامساعد)

تکمیل یک پرسشنامه مختصر مربوط به جلسه ۳۰ دقیقه ای درمورد دشواری ، حواس پرتی و ناراحتی

دومین جلسه ۳ دقیقه ای کار ردیابی بصری با منبع نور اما همزن خاموش (شرایط مساعد)

برای پرسشنامه ، افراد با استفاده از مقیاسی از -۴ تا +۴ به سه سوال پاسخ دادند. افراد میزان دشواری انجام کار ردیابی ، سطح حواس پرتی ناشی از اختلال دید و حداکثر ناراحتی را که در حین انجام کار ردیابی تجربه کرده اند ، ارزیابی کردند. نمرات هر دو عمل ردیابی در شرایط مساعد و نامساعد برای تجزیه و تحلیل بعدی ثبت شد. جزئیات بیشتر در مورد وضعیت آزمایشی و دستگاہ را می توان Bollough یافت.

یافته ها

کار ردیابی - شکل ۵ و ۶ به ترتیب میانگین عملکرد همه افراد را در شرایط مساعد و نامساعد در آزمایش اول نشان می دهد. همانطور که در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است ، تفاوت زیادی بین این دو شرایط وجود دارد. این نمودارها همچنین تأثیر درخشندگی پس زمینه بر عملکرد را نشان می دهند ، که هم برای شرایط مساعد و هم نامساعد قابل مشاهده است. همچنین اثر اس پی دی بر عملکرد در شرایط نامساعد (شکل ۶) دیده می شود ، به ویژه در کمترین میزان درخشندگی ، که در آن نمرات با نسبت اسکوتوپیک / فوتوپیک همبستگی منفی دارند. از آنجا که اس پی دی های سفید و زرد با نسبت های اسکوتوپیک / فوتوپیک نسبتاً نزدیک به هم بودند (اختلاف میانگین = ۰/۵۸) ، این دو اس پی دی از نظر عملکرد از یکدیگر قابل تشخیص نبودند.

برای شرایط نامساعد مشهود، تجزیه و تحلیل اندازه گیری های مکرر متغیر، اثر اصلی درخشندگی را که از نظر آماری قابل توجه بود نشان داد. اثر اصلی قابل توجهی از اس پی دی وجود نداشت و همچنین برهم کنش بین درخشندگی و اس پی دی معنی دار نبود، اگرچه به نظر می رسد با افزایش درخشندگی در شکل ۶ (خطوط ممتد) امتیازات هر اس پی دی همگرا می شوند. اثر واضح هر اس پی دی در شرایط نامساعد را می توان به طور غیر مستقیم با رسم تفاوت عملکرد بین شرایط قرمز و سبز-آبی در هر درخشندگی مشاهده کرد، همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است. تفاوت عملکرد تقریباً به طور خطی به لگاریتم درخشندگی پس زمینه (همبستگی: ۲ به توان ۲ برابر است با ۰,۹۹) مربوط است که تقریباً از ۰,۱ تا ۱۰ کاندلا بر متر مربع است. این همبستگی بسیار زیاد به این معنی است که سلول های استوانه ای در درخشندگی بالاتر کارایی کمتری پیدا می کنند. این امتیازات ممکن است در برخی از درخشندگی های بالاتر همگرا شوند (یعنی تفاوت در میانگین امتیاز بین شرایط قرمز و سبز-آبی اس پی دی (شرایط با کمترین و بالاترین نسبت اسکوتوپیک / فوتوپیک به ترتیب) صفر خواهد بود). برآورد بصری منحنی در شکل ۷ نشان می دهد که این همگرایی باید در حدود ۱۰۰ کاندلا بر متر مربع رخ دهد.

شکل ۷. تفاوت میانگین در عملکرد بین شرایط قرمز و سبز-آبی اس پی دی در روشنایی زمینه ۰,۱، ۱ و ۱۰ کاندلا بر متر مربع. خط تابع رگرسیون است که نزدیک به ۱۰۰ کاندلا بر متر مربع به صفر می رسد.

برای آزمایش این استنتاج، آزمایش دوم با استفاده از همین دستگاه و افراد مشابه انجام شد با این تفاوت که آزمایش فقط در شرایط اختلال بینایی قرمز و سبز-آبی صورت گرفت. دستگاه به گونه ای اصلاح شد که از درخشندگی میدان اختلال دید ۶۵ کاندلا بر متر مربع استفاده شود - ایجاد درخشندگی بالاتر با دستگاه درخشندگی پس زمینه بالا جمع آوری شدند.

امتیازات آزمایش دوم در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است (خطوط نقطه چین). عملاً هیچ تفاوتی در عملکرد بین شرایط اختلال دید قرمز و سبز-آبی در هر دو شرایط مساعد و نامساعد وجود نداشت، و این بدان معنی است که درخشندگی پس زمینه همگرایی برای این کار حدود ۶۵ کاندلا بر متر مربع است.

ارزیابی ذهنی - ارزیابی دشواری، حواس پرتی و ناراحتی همه روندهای مشابه را دنبال می کنند و با یکدیگر همبستگی دارند (همبستگی دشواری-حواس پرتی: ۲ به توان ۲ برابر است با ۰,۸۸؛ همبستگی دشواری-ناراحتی: ۲ به توان ۲ برابر است با ۰,۳۷؛ همبستگی حواس پرتی-ناراحتی: ۲ به توان ۲ برابر است با ۰,۴۶). به دلیل این همبستگی ها، ارزیابی ذهنی با میانگین کلی ارزیابی ترکیب شده است، که در شکل ۸ نشان داده شده است. دو ویژگی ارزیابی ذهنی عبارتند از:

به نظر می رسد رابطه ای بین درخشندگی پس زمینه و ارزیابی ذهنی وجود دارد (ارزیابی های ذهنی مثبت نشان دهنده دشواری، ناراحتی و حواس پرتی کمتر است).

شرایط اختلال دید سبز - آبی معمولاً دارای کمترین (ضعیف ترین) ارزیابی ذهنی و شرایط قرمز بیشترین است، مخصوصاً که در دو روشنایی پایین تر می باشد.

میانگین ارزیابی ذهنی ترکیبی در شکل ۸ با نمرات عملکرد در شکل ۶ (همبستگی: $r = 0.76$) به توان ۲ برابر است با ۰,۷۶ مطابقت دارد. مانند نمره های عملکرد، به نظر می رسد با افزایش درخشندگی پس زمینه، ارزیابی ها هم افزایش می یابند و هم همگرا می شوند. علاوه بر این، تفاوت در ارزیابی ذهنی بین شرایط اختلال دید زرد و سفید کوچک بود و حاکی از آن بود تفاوت کمی که در نسبت های اسکوتوپیک/فوتوپیک بین این شرایط بود به اندازه کافی بزرگ نبود که از اهمیت کاربردی زیادی برخوردار باشد.

شکل ۸. میانگین ارزیابی های ذهنی کار رهگیری در شرایط نامساعد برای آزمایش اول (خطوط ممتد) و آزمایش دوم (خطوط نقطه ای). روشنایی پس زمینه صفحه نمایش و شرایط نویز بصری را نشان می دهد.

بحث

شایان ذکر است که نتایج بالا از نظر کیفی با این فرضیه مطابقت دارد که در درجه اول مخروطهای با طول موج کوتاه بیش از سلول های استوانه ای مسئول تفاوت در عملکرد و ارزیابی ذهنی هستند که از میان شرایط SPD در مطالعه حاضر یافت شدند. با این حال، به دلایلی که در بخش زمینه این مقاله ذکر شد، بعید به نظر می رسد که مخروط های با طول موج کوتاه به دلیل تفکیک پذیری موقتی پایین و تأثیر کم آن ها در درک تابش ناراحت کننده در طول شب، نقشی اساسی در نتایج آزمایش داشته باشند. علاوه بر این، نمرات عملکرد اندازه گیری شده در این مطالعه در ۶۵ کاندا بر متر مربع همگرا شدند. این بدان معنی است گیرنده های نوری قابل مشاهده در این آزمایش که مسئول اصلی تفاوت میان اس پی دی ها هستند، برای کمک به درک بصری، بالاتر از این سطح درخشندگی متوقف شدند. مطمئناً، همه انواع مخروط ها به طور فعال به درک بصری در درخشندگی های بسیار بالاتر از ۶۵ کاندا بر متر مربع کمک می کنند.

اهمیت نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک منابع نور برای این نتایج نشان می دهد که گیرنده های استوانه ای در درک بصری هنگام وجود اختلال دید، حتی در روشنایی های کاملاً فتوپیک (زیاد) در نظر گرفته می شوند. باید در درک سنتی در مورد عملکرد سلول های استوانه ای، که معمولاً در درخشندگی بالاتر از ۳ کاندا بر متر مربع اشباع می شوند، تجدید نظر شود. همانطور که قبلاً توضیح داده شد، ایده فعال بودن استوانه ای ها در سطوحی که به طور سنتی فتوپیک در نظر گرفته می شود، کاملاً جدید نیست. هنگامی که بریت مایر و ویلیامز گزارش دادند که درک حرکت در مقابل پس زمینه قرمز نسبت به پس زمینه های سبز و سفید سرکوب شده است، آنها در مورد احتمال واکنش های گیرنده استوانه ای بحث کردند، با توجه به اینکه استابل و استابل دریافتند که میله ها حتی بالاتر از ۳ کاندا بر متر مربع فعال هستند. مشخص شد این امر درست است، به ویژه هنگامی که محرک به

جای ایستا، پویا باشد. علاوه بر این، ریزش دریافت گیرنده های استوانه ای بسیار شبیه به میدان اختلال دیداری مورد استفاده در آزمایش عمل ردیابی، نسبت به محرک های خارج از حفره چشمی بسیار حساس باشند. نتایج حاصل از این آزمایش به خوبی با تحقیق قبلی مطابقت دارد و نشان می دهد که میله ها می توانند بالاتر از ۳ کاندا بر متر مربع برای محرک های دید پویا فعال باشند.

در مطالعه واکنش زمان توسط وی و همکارانش به نظر می رسد عملکرد گیرنده های استوانه ای متوقف می شوند و در واکنش بینایی بالاتر از درخشندگی پس زمینه حدود ۰,۶ کاندا بر متر مربع کمی نمی کنند، که حتی زیر حد پایین فوتوپیک معمول پذیرفته شده ۳ کاندا بر متر مربع است. با این حال، میدان بصری مورد استفاده در آن مطالعه بزرگ، یکنواخت و ساکن بود و فقط یک هدف چشمک زن کوچک گاه به گاه داشت. منطقی به نظر می رسد فرض کنیم که واکنش گیرنده های استوانه ای زمانی قابل توجه تر است که کل میدان دید خارج از حفره چشمی شامل حرکت باشد، مانند میدان اختلال دید مورد استفاده در آزمایش وظیفه ردیابی، ریزش دانه های برف در هنگام طوفان، یا حتی در صورت امکان حرکت مداوم میدان دید که هنگام رانندگی در شرایط مساعد وجود دارد.

اگرچه نتایج این مطالعه با توصیه هایی برای استفاده از لامپهای زرد برای جوهای آشفته مطابقت دارد، اما تفاوت نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک لامپهای تنگستن-هالوژن قدیمی با لامپهای فیلتر شده ی زرد بسیار کم است، بنابراین نشان می دهد که چراغ های جلو با رنگ زرد تنها تاثیر اندکی بر عملکرد یا ارزیابی ذهنی راننده دارند. با این حال، فیلترهایی که در حال حاضر در چنین لامپهایی استفاده می شوند، برای بهینه سازی انتقال و نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک طراحی نشده اند. می توان برای چراغ جلو هالوژنی فیلتر زرد یا کهربایی طراحی کرد که منجر به انتقال بیشتر و نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک کمتری نسبت به محصولات موجود شوند. چنین ترکیبی از لامپ و فیلتر برای ارائه مزایای عملکرد قابل اندازه گیری، باید دارای نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک کم و انتقال فتوپیک نسبتاً بالا باشد.

البته، لامپ های تنگستن-هالوژن تنها فن آوری مناسب برای روشنایی جلوی خودرو نیستند. چراغ های جلو با شدت بالا بر اساس فناوری لامپ متال هالید (MH) در حال حاضر در تعدادی از مدل های خودرو به فروش می رسد. SPD های لامپهای متال هالید به غلظت و شیمیایی بودن مخلوطهای مختلف هالید که به جریان قوس لامپ اضافه می شوند بستگی دارد. دمای رنگ این لامپ ها می تواند از کمتر از ۳۰۰۰ کلوین تا بیش از ۷۰۰۰ کلوین باشد. برآوردهای تولیدکنندگان چراغهای جلو متال هالید نشان می دهد که چنین سیستمهایی در مقایسه با لامپ های هالوژنی میزان دو برابر لومن با همان وات مصرفی تولید میکنند.

نسبت های اسکوتوپیک/فوتوپیک چندین منبع MH (متال هالید) تجاری موجود در مقایسه با نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک چراغ هالوژن ۱,۵، حدود ۱,۵ تا ۲,۰ می باشند. در حالی که به نظر نمی رسد لامپهای متال هالید به تنهایی نسبت به چراغهای جلو

معمولی با توجه به نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیکشان مزایایی داشته باشند، تولید نور بالاتر نسبت به لامپهای هالوژن به این معنی است می توان از چنین چراغهای جلویی با فیلترهای رنگی که نسبتهای اسکوتوپیک/فوتوپیک کمتری را ایجاد می کند استفاده کرد. این لامپ ها در حالی که هنوز نور بیشتری دارند از نظر دید کمتر از یک لامپ هالوژن آزاردهنده هستند. علاوه بر این، می توان مخلوط شیمیایی یک لامپ متال هالید را به گونه ای تنظیم کرد که نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک به میزان قابل توجهی کاهش یابد.

در آخر، توجه به این نکته نیز مهم است که شرایط بصری واقعی هنگام رانندگی با یک وسیله نقلیه در شرایط بد آب و هوایی به بسیاری از فاکتورهای دیگر (از جمله تراکم بارندگی، سرعت، اندازه و شرایط روشنایی محیط) بستگی دارد و با شرایط بصری مورد استفاده در این مطالعه مطابقت ندارد. این عوامل به طریقی با یکدیگر تعامل خواهند داشت که نمی توان در محدوده این مقاله پیش بینی کرد. به عنوان مثال، تأثیر اسپد بر دید زمانی که با سایر فاکتورهای چراغ جلو مقایسه می شود، مانند موقعیت نصب و عرض پرتو، می تواند بسیار کم باشد. با این حال، SPD چراغ جلو می تواند مراتب دیگری از آزادی را برای طراح خودرو فراهم کند که در انتخاب یک ردیف نامحدود از موقعیت های نصب یا زاویه های پرتو انعطاف پذیری ندارند.

ادبیات، نتایج تجربی ارائه شده در اینجا، و تجزیه و تحلیل آن نتایج نشان می دهد که در شرایط خاص بصری، به ویژه در سطوح نور مزوپیک (بینابینی) و فوتوپیک کم هنگام وجود میدان اختلال بینایی، انجام یک کار ردیابی مانند رانندگی مربوط به محتوای نسبی اسکوتوپیک (یا نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک) مختل شدن دید است. به نظر می رسد گیرنده های استوانه ای تا حد اکثر روشنایی ۶۵ کاندلا بر متر مربع می توانند به کانال بینایی ناپایدار کمک کنند، یا اینکه برخلاف درک متعارف، بسته به میزان تحریک میدان بینایی، سهم آنها می تواند در روشنایی تا حد ۰,۶ کاندلا بر متر مربع ناپدید شود. نسبت های اسکوتوپیک/فوتوپیک چراغ های جلو موجود با فیلتر زرد در حال حاضر به اندازه کافی با چراغ های جلو هالوژن معمولی تفاوت ندارند تا این اثر در شرایط عملی قابل توجه باشد، اما طراحی فیلترهایی که هم انتقال و هم نسبت را بهینه می کنند ممکن است منجر به نور زرد یا شاید نارنجی رنگ شود که در شرایط آشفته جوی مزیت قابل اندازه گیری را فراهم می کند.

نقش گیرنده های استوانه ای در صورت تابش خیره کننده نیز باید بررسی شود. اگر می توان با کاهش نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک تابش ناراحت کننده چراغ های جلو را کاهش داد، استفاده از این چراغ های جلو ممکن است در شرایط نامساعد به نفع رانندگان باشد. البته، چنین مزایایی باید به موازات اشکالات احتمالی مانند کاهش حساسیت به اهداف خارج از محور مانند دوچرخه سواران، عابران پیاده یا حیوانات در شرایط روشن در نظر گرفته شود.

اختلال بینایی یک مشکل معمول موقع رانندگی در شب با آب و هوای نامناسب است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد که فیلترها می توانند نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک منابع نور را کاهش دهند و در نتیجه درجه ای را که این منابع می توانند باعث

اختلال بینایی آزاردهنده شوند کاهش می دهند. در شرایط دنیای واقعی ، عوامل دیگری مانند هوشیاری راننده ، ارائه رنگ ، توزیع طیفی و فضای روشنایی معابر یا تابش خیره کننده احتمالاً می توانند اثر نسبت اسکوتوپیک/فوتوپیک را بر عملکرد کلی کاهش داده یا تشدید کنند. با توجه به نتایج امیدوار کننده به دست آمده از این مطالعه مقدماتی ، به نظر می رسد ادامه بررسی این مشکل ارزشمند باشد. با گسترش این کار در آزمایشگاه و میدان دید ، ارزش عملی چنین تحقیقاتی به راحتی درک می شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله به عنوان بخشی از اولین تز پایان نامه ی مدرک کارشناسی ارشد نویسنده از انستیتوی پلی تکنیک رانسلر نگاشته شده است.

نویسنده دوم، استاد راهنمای این پایان نامه بوده است.

پیتر بویس و ناداراجا نارندران از مرکز تحقیقات نور اعضای کمیته ی ارزیابی پایان نامه بودند و از همکاری آنها در این پایان نامه صمیمانه قدر دانی می شود.

توجه : زمان انجام این تحقیقات در دوره ای قرار داشته که استفاده از تکنولوژی **LED** در چراغ های جلوی خودروها به عنوان نور اصلی هنوز فراگیر نشده بوده!