

صلى الله عليه وسلم



دانشگاه شاهرود

دانشکده پردیس خوارزمی
گروه مهندسی استخراج معدن

امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری چراغ‌های LED در روشنایی معادن زیرزمینی

دانشجو: محمد مهدی تراکمه‌پور

اساتید راهنما:

پرفسور محمد عطائی

پرفسور فرهنگ سرشکی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن

شهریور ۱۳۹۵

شماره: ۲۰۹۲ / الف
تاریخ: ۱۴ / ۷ / ۹۵
ویرایش:

باسمه تعالی



فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد مهدی تراکمه پور به شماره دانشجویی ۹۲۴۹۲۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان امکان سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری از چراغ های LED در روشنائی معادن زیرزمینی که در تاریخ ۹۵/۶/۱۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول با درجه: نازلترین امتیاز (۱۵) دفاع مجدد مردود

- ۱- عالی (۲۰ - ۱۹)
۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)
۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد ارجمند	محمد عطایی		
۲- استاد مشاور	فرهنگ برتنکی		
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	علی عباس نژاد		
۴- استاد منتحن	رضا خالو کاکایی		
۵- استاد منتحن	رامین رضایی		



رئیس دانشکده:

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم که از نگاهشان صلابت، از رفتارشان محبت و از صبرشان ایستادگی را
آموختم.

و، همسر مهربانم که سایه مهربانی اش سایه زندگیم و با صبر و دلسوزی مشکلات مسیر را برایم
تسهیل نمود.

شکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخوران، در ستودن او بماند و شمارندگان شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. بدون شک جایگاه منزلت معلم، بالاتر از آن است که در مقام قدردانی از زحمات آن ها با زبان قاصر و دست ناتوان چیزی بنگاریم، اما بر حسب وظیفه بر خود واجب می دانم از اساتید شایسته و فریخته آقای دکتر عطایی و دکتر سرشکی و دکتر کاکایی که در کمال سع و صدر با حسن خلق و فروتنی، از هیچ گلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند کمال شکر و قدردانی را بجا آوردم.

پنجمین از همسر مهربانم سرکار خانم سیده شیما اسلامی کمال شکر را دارم که بی شک بدون کمک های بی دریغ ایشان این هدف محقق نمی شد، همدلی و تشویق ایشان در تمام بحظات دشوار موجب آسودگی خیال و در پی آن موفقیت و پیشرفت را فراهم آورده است، همیشه در تلاش خواهیم بود تا بتوانم زحمات ایشان را جبران کنم.

تعهد نامه

این جانب محمد مهدی تراکمه پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معدن-استخراج دانشکده پردیس بین الملل خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه امکان سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری چراغهای LED در روشنایی معادن زیر زمینی تحت راهنمایی دکتر عطائی و دکتر سرشکی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

طراحی سیستم های روشنایی یکی از بخش های خدمات فنی در مهندسی معدن میباشد که از اهمیت بالایی برخوردار است. این تحقیق اطلاعاتی ضروری در خصوص راهکارهای جدید برنامه ریزی سیستم روشنایی در معادن زیرزمینی را در اختیار قرار می دهد. تحقیق حاضر در این راستا بر LED ها متمرکز شده است، چرا که پیش بینی می شود LED به جدیدترین و مفیدترین تکنولوژی در تأمین نور معدن تبدیل شود. برای ارزیابی این تکنولوژی، فرآیند مطالعات به گونه ای طراحی شده است که شدت نور حاصل از LED را اندازه گیری کند، آن را با سطوح مورد نیاز معدن و پروژکتور های مورد استفاده قبلی معدن مقایسه نماید، و نتایج بررسی فنی و اقتصادی LED را در یک فضای نمونه، یعنی فاز جدید معدن کرومیت کوشاه هرمزگان در ایران، تحلیل کند. این نمونه موردی کمک می کند تا نتایج دقیق تری از تحقیق حاصل شود و ارزیابی هایی که به فضای پیرامونی وابسته اند، بهتر صورت گیرند. در فرآیند این تحقیق، ۳ گرید پروژکتور LED تولید شده اند و در شرایط یکسان مقایسه شده اند. فرآیند ارزیابی در دو مرحله فنی و اقتصادی انجام شده است. برای ارزیابی فنی گریدهای تولید شده هم به صورت آزمایش تجربی در مدت ۱۴ ماه و هم با استفاده از نرم افزار DIALux مورد مطالعه قرار گرفته اند. تحلیل اقتصادی به کمک روش های NPV و EUAC و همچنین تحلیل حساسیت با استفاده از نرم افزار Crystalball با استفاده از قیمت ها و داده های اقتصادی انجام شده است. نتایج این دو فاز از تحقیقات نشان می دهد پروژکتورهای LED از نظر فنی می توانند روشنایی را حتی بالاتر از سطح استانداردهای لازم تأمین کنند و در صورت انتخاب کیفیت و وات مصرفی صحیح در نهایت در گذر زمان از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه هستند.

کلمات کلیدی: معدن کاری، روشنایی معدن، LED، هزینه روشنایی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات تحقیق

- ۱-۱- مقدمه ۱
- ۲-۱- بیان مسئله ۲
- ۳-۱- ضرورت و اهمیت موضوع ۴
- ۴-۱- اهداف تحقیق ۵
- ۵-۱- ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم: مبانی و مفاهیم، تکنولوژی LED، مدل سازی نرم افزار DIALux، نرم

افزار Crystalball

- ۱-۲- مقدمه ۷
- ۲-۲- مفاهیم پایه در ارتباط با نور ۷
- ۱-۲-۲- سوسو زدن ۸
- ۲-۲-۲- کنتراست ۸
- ۳-۲-۲- جریان نور ۱۰
- ۴-۲-۲- مقدار نور ۱۰
- ۵-۲-۲- شدت نور ۱۱
- ۶-۲-۲- شدت نور متوسط ۱۱
- ۷-۲-۲- منحنی توزیع نور ۱۲
- ۸-۲-۲- شدت روشنایی ۱۲
- ۹-۲-۲- ضریب جذب ۱۳
- ۱۰-۲-۲- ضریب انعکاس ۱۳
- ۳-۲- طراحی روشنایی معادن ۱۳
- ۱-۳-۲- طراحی روشنایی به روش لومن ۱۴
- ۲-۳-۲- طراحی روشنایی به روش نقطه به نقطه ۱۷

۲۰	۴-۲- تاریخچه روشنایی در معادن
۲۲	۵-۲- اجزای سیستم‌های روشنایی معادن
۲۳	۶-۲- ویژگی‌های لامپهای مورد استفاده فعلی در معادن
۲۶	۷-۲- معدن کرومیت کوهشاه
۲۶	۸-۲- تشریح تکنولوژی LED
۲۸	۹-۲- مزایای لامپهای LED
۲۹	۱۰-۲- تفاوتها و مزایای LED برای استفاده در معادن
۳۱	۱۱-۲- اجزای پروژکتور LED
۳۳	۱۲-۲- معرفی نرم افزار DIALux
۳۵	۱-۱۲-۲- روش کار نرم‌افزار DIALux
۳۷	۱۳-۲- معرفی نرم افزار Crystal ball
۳۸	۱-۱۳-۲- روش کار نرم‌افزار Crystal ball
۴۰	۲-۱۳-۲- مزایای استفاده از نرم‌افزار Crystal ball
۴۱	۱۴-۲- پیشینه تحقیق

فصل سوم: روش تحقیق

۴۹	۱-۳- مقدمه
۵۰	۲-۳- فرضیه‌ها
۵۰	۳-۳- فرآیند و مراحل ارزیابی
۵۲	۴-۳- روش ارزیابی فنی
۵۲	۱-۴-۳- شبیه‌سازی کامپیوتری و استفاده از DIALux
۵۴	۲-۴-۳- نورسنجی در شرایط واقعی و در طول زمان
۵۶	۳-۴-۳- انتخاب روشنایی و چیدمان
۵۶	۵-۳- یافته‌های ارزیابی فنی
۵۶	۱-۵-۳- نتایج نورسنجی LEDها در گذر زمان

۶۹	.....۳-۵-۲-نتایج شبیه‌سازی فضا و نمودارهای توزیع نور
۷۵	.....۳-۶- روش ارزیابی اقتصادی
۷۵	.....۳-۶-۱- روش ارزش خالص فعلی
۷۵	.....۳-۶-۲- روش معادل (یکنواخت) سالانه
۷۷	.....۳-۷-۱- یافته‌های ارزیابی اقتصادی
۷۷	.....۳-۷-۱- نتایج حاصل از محاسبه ارزش فعلی هزینه و ارزش معادل سالانه
۸۸	.....۳-۷-۲- نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نرم افزار کریستال بال

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۹۸	.....۴-۱- نتیجه‌گیری
۱۰۰	.....۴-۲- پیشنهادها
۱۰۲	.....فهرست منابع

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲- نحوه ایجاد کنتراست با روشنایی ۱۰
- شکل ۲-۲- منحنی توزیع نور ۱۲
- شکل ۳-۲- موقعیت نقاط انتخابی در سطح مورد بررسی ۱۸
- شکل ۴-۲- تعیین زوایای α و β ۱۸
- شکل ۵-۲- منحنی های هم روشنایی در کف تونلی به ارتفاع ۲/۲ متر و فاصله چراغها ۵ متر ۱۹
- شکل ۶-۲- مقایسه نور در تونل شنل فرانسه ۲۳
- شکل ۷-۲- نمودار مقادیر روشنایی متناسب با عمر چراغهای مختلف مورد استفاده در معدن ۳۱
- شکل ۸-۲- نرم افزار دیالوکس ۳۴
- شکل ۹-۲- شبیه سازی محیط توسط نرم افزار دیالوکس ۳۵
- شکل ۱۰-۲- نرم افزار کریستال بال ۳۷
- شکل ۱۱-۲- روش کار کریستال بال ۳۹
- شکل ۱۲-۲- مقایسه و نمایش نور حاصل از دو نوع چراغ LED تعبیه شده در کلاه ایمنی ۴۳
- شکل ۱۳-۲- اندازه گیری دید نزدیک و دور حاصل از LED تعبیه شده در کلاه ایمنی ۴۳
- شکل ۱۴-۲- نمودار مقایسه هزینه زمان حال LED (D,E,F) و فلوروسنت (A,B,C) در تحقیقات معدن کودلکو ۴۵
- شکل ۱۵-۲- نمودار مقایسه هزینه معادل سالانه LED (D,E,F) و فلوروسنت (A,B,C) در تحقیقات معدن کودلکو ۴۵
- شکل ۱۶-۲- نمودار مقایسه هزینه سالانه LED برند F و فلوروسنت در طول ۲۰ سال در تحقیقات معدن کودلکو ۴۶
- شکل ۱۷-۲- نمودار تحلیل حساسیت استفاده از LED در معدن کودلکو با پارامترهای «هزینه انرژی»، «هزینه خرید اولیه» و «PVC» ۴۷
- شکل ۱۸-۲- نمودار تحلیل حساسیت استفاده از LED در معدن کودلکو با پارامترهای «عمر مفید»، «PVC» و «هزینه خرید اولیه» ۴۸
- شکل ۱-۳- فرآیند تحقیقات ۵۱
- شکل ۲-۳- نمودار مقایسه ای نورسنجی پروژکتورهای ۶ وات در طول زمان ۶۵
- شکل ۳-۳- نمودار مقایسه ای نورسنجی پروژکتورهای ۲۰ وات در طول زمان ۶۶
- شکل ۴-۳- نمودار مقایسه ای نورسنجی پروژکتورهای ۳۰ وات در طول زمان ۶۷
- شکل ۵-۳- شبیه سازی فضای تونل ۶۹

- شکل ۳-۶- پلان طراحی شده قرارگیری روشنایی‌ها در فضای تونل ۶۹
- شکل ۳-۸- نورسنجی فضای تونل بر اساس طراحی شبیه سازی شده ۷۰
- شکل ۳-۹- شبیه سازی فضای کارگاه استخراجی در نرم افزار DIALux ۷۰
- شکل ۳-۱۰- پلان طراحی شده قرارگیری روشنایی‌ها در فضای کارگاه استخراجی ۷۱
- شکل ۳-۱۱- نمودار توزیع نور و تصویر پروژکتور ۳۰ وات ۷۱
- شکل ۳-۱۲- نورسنجی فضای کارگاه بر اساس طراحی شبیه سازی شده ۷۲
- شکل ۳-۱۳- مقایسه مشخصات فنی پروژکتورهای فعلی مورد استفاده در معدن کوهشاه با پروژکتورهای LED مورد آزمایش ۷۴
- شکل ۳-۱۴- نمودار مقایسه هزینه برق مصرفی پروژکتورهای LED نمونه در مدت آزمایش ۸۳
- شکل ۳-۱۵- تعریف مسئله برای نرم افزار کرسیتال بال ۸۸
- شکل ۳-۱۶- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور بخار سدیم ۱۰۰ وات ۸۹
- شکل ۳-۱۷- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور بخار سدیم ۲۵۰ وات ۸۹
- شکل ۳-۱۸- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور بخار سدیم ۴۰۰ وات ۹۰
- شکل ۳-۱۹- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور بخار جیوه ۱۰۰ وات ۹۱
- شکل ۴-۱۹- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور بخار جیوه ۲۵۰ وات ۹۱
- شکل ۳-۲۱- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور بخار جیوه ۴۰۰ وات ۹۲
- شکل ۳-۲۲- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور هلیوم ۱۰۰ وات ۹۲
- شکل ۳-۲۳- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور هلیوم ۲۵۰ وات ۹۳
- شکل ۳-۲۴- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور هلیوم ۴۰۰ وات ۹۴
- شکل ۳-۲۵- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور فلوروسنت ۴۸ وات آفتابی و یخی ۹۴
- شکل ۳-۲۶- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور LED ۲۰ وات ۹۵
- شکل ۳-۲۷- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور پروژکتور LED ۳۰ وات ۹۶

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲- ضریب بهره‌دهی چراغ‌ها نسبت به شاخص فضا در شرایط مختلف ۱۵
- جدول ۲-۲ ضریب نگهداری چراغ‌ها در حالت‌های مختلف ۱۶
- جدول ۲-۳- استاندارد روشنایی برای معادن زیرزمینی ۱۷
- جدول ۲-۴- چراغ‌های مورد استفاده فعلی در معادن و فضاهای زیرزمینی ۲۴
- جدول ۲-۵- بازدهی انواع لامپها ۳۱
- جدول ۲-۶- نتایج ارزیابی اولیه مقایسه LED و فلوروسنت در تحقیقات معدن کودلکو ۴۴
- جدول ۳-۱- تقویم آزمایش‌های صورت گرفته در فرآیند تحقیقات (بررسی‌های فنی و اقتصادی) ۵۵
- جدول ۳-۲- شدت روشنایی اولیه و کمترین شدت روشنایی عمر مفید پروژکتورهای نمونه ۵۷
- جدول ۳-۳- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در دی ماه ۱۳۹۳ ۵۸
- جدول ۳-۴- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در بهمن ماه ۱۳۹۳ ۵۸
- جدول ۳-۵- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در اسفند ماه ۱۳۹۳ ۵۹
- جدول ۳-۶- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در فروردین ماه ۱۳۹۴ ۵۹
- جدول ۳-۷- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ ۶۰
- جدول ۳-۸- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در خرداد ماه ۱۳۹۴ ۶۱
- جدول ۳-۹- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در تیر ماه ۱۳۹۴ ۶۱
- جدول ۳-۱۰- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در مرداد ماه ۱۳۹۴ ۶۲
- جدول ۳-۱۱- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در شهریور ماه ۱۳۹۴ ۶۲
- جدول ۳-۱۲- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در مهر ماه ۱۳۹۴ ۶۳
- جدول ۳-۱۳- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در آبان ماه ۱۳۹۴ ۶۳
- جدول ۳-۱۴- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در آذر ماه ۱۳۹۴ ۶۴
- جدول ۳-۱۵- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در دی ماه ۱۳۹۴ ۶۴
- جدول ۳-۱۶- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در بهمن ماه ۱۳۹۴ ۶۵

- جدول ۳-۱۷- تعداد دفعات خاموشی و افت نور خارج از محدوده عمر مفید برای هر پروژکتور نمونه ۶۸
- جدول ۳-۱۸- نتایج مقایسه‌ای حداقل روشنایی استاندارد و نورسنجی پروژکتور LED گرید A ۲۰ وات در قسمت‌های مختلف معدن ۷۲
- جدول ۳-۱۹- بازده نوری پروژکتورهای فعلی مورد استفاده در معدن کوهشاهه ۷۳
- جدول ۳-۲۰- قیمت اجزا و قیمت تمام شده هر پروژکتور نمونه (بر حسب ریال) ۷۸
- جدول ۳-۲۱- قیمت تمام شده پروژکتورهای مورد استفاده فعلی در معدن ۷۹
- جدول ۳-۲۲- هزینه برق هر پروژکتور LED در ۷ ماه اول آزمایش (بر حسب ریال) ۸۰
- جدول ۳-۲۳- هزینه برق هر پروژکتور LED در ۷ ماه دوم آزمایش (بر حسب ریال) ۸۰
- جدول ۳-۲۴- هزینه برق پروژکتورهای مورد استفاده فعلی در معدن، ۷ ماه اول آزمایش (بر حسب ریال) ۸۱
- جدول ۳-۲۵- هزینه برق پروژکتورهای مورد استفاده فعلی در معدن، ۷ ماه دوم آزمایش (بر حسب ریال) ۸۱
- جدول ۳-۲۶- هزینه برق مصرفی پروژکتور در مدت زمان ۱۴ ماه به صورت شبانه روزی ۸۲
- جدول ۳-۲۷- هزینه تعمیر و نگهداری پروژکتورها نمونه در مدت زمان آزمایش (ریال) ۸۶
- جدول ۳-۲۸- قیمت تمام شده پروژکتورهای گازی بخار سدیم، بخار جیوه، هلیوم و فلوروسنت ۸۷
- جدول ۳-۲۹- هزینه های تعمیر و نگهداری پروژکتورهای مورد استفاده در معدن و محاسبه NPV و EUAC ۸۷

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

آگاهی یافتن از وجود و شکل اجسام و موانع در همه موجودات زنده به وسیله دریافت امواج از محیط پیرامونی اتفاق می‌افتد. برای انسان، بخشی از امواج الکترومغناطیس با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر که با نام «نور» شناخته می‌شود، مهم‌ترین نقش را در درک فضا و پیرامون ایفا می‌کند. بنابراین برای دیده شدن اجسام توسط انسان، نور یک مؤلفه اساسی است. اجسام وقتی قابل دید یا مرئی می‌شوند که تشعشع کنند و برای این منظور ممکن است خود نورانی باشند و یا اینکه نوری را که روی آن‌ها می‌تابد، منعکس کنند. در نتیجه، برای تشخیص اجسامی که از خود نور ندارند، می‌بایست از منابع نوری استفاده کرد. وجود منبع نور در محیط‌های کار و زندگی اهمیت ویژه‌ای دارد. این منبع نور ممکن است طبیعی (خورشید و ستارگان) یا مصنوعی (هر منبعی به غیر از خورشید) باشد.

در معادن زیرزمینی، نور طبیعی قادر به نفوذ به قسمت‌های مختلف نیست. در نتیجه باید سطح روشنایی لازم را در این قسمت‌ها با استفاده از نور مصنوعی تأمین کرد [۱].

در معادن سطحی و تأسیسات بیرونی معادن نیز، در طول شب هم نیاز به روشنایی کفایت، در نتیجه اگرچه این نوع معادن در معرض نور طبیعی روز هستند، برای دید در شب به منابع نور مصنوعی احتیاج دارند.

بنابراین به طور کلی، در معادن علاوه بر شب، ممکن است در طول روز نیز استفاده از نور مصنوعی ضروری باشد.

وجود منابع نوری باعث بهبود ایمنی معادن، کاهش صدمات جانی و مالی و همچنین باعث افزایش بازدهی و جلوگیری از اتلاف زمان می‌شود. دستیابی به سطح روشنایی استاندارد مستلزم وجود تجهیزات مخصوص روشنایی برای بخش‌های مختلف معدن است.

۱-۲- بیان مسئله

منابع مورد استفاده کنونی برای روشنایی معادن مسائل و کمبودهایی دارند. برای نمونه رنگ نور، میزان نوردهی، مصرف انرژی، نوع منبع تغذیه، هزینه‌های تعمیر و نگهداری هنوز در برخی انواع چراغ‌های معدن مطلوب نیست.

از سوی دیگر، LEDها مزایایی دارند که موجب می‌شود برای جایگزینی این نوع از چراغ‌ها در معادن مناسب به نظر برسند. در تقابل با ضعف‌های بر شمرده، LEDها بازده نوری بالایی دارند، شدت نور در آنها قابل تنظیم است، انرژی کمتری مصرف می‌کنند و قابلیت استفاده از انرژی خورشیدی را دارند، هم با منابع AC و هم با منابع DC تطابق دارند و ...

LED که از دهه‌های گذشته در الکترونیک برای نمایش خاموش یا روشن بودن نمایشگرها در لوازم مولتی‌مدیا و نشانگرهای لوازم الکتریکی و ماشین‌آلات مورد استفاده قرار می‌گرفت، امروز به گونه‌ای ساخته می‌شود که می‌تواند به عنوان چراغ نیز به کار رود. در حال حاضر LEDها به صورت چیپ‌های کوچکی هستند که به طور معمول داخل یک شیشه گنبدی شکل قرار می‌گیرند، به اندازه چوب کبریت هستند و به سختی می‌شکنند و می‌توانند نور را در جهت خاصی متمرکز کنند. بزرگ‌ترین مشکل لامپ‌های LED در گذشته، رنگ آنها بود. اما اکنون با تغییر در ساختار فیزیکی و مواد تشکیل‌دهنده LED، نور در رنگ‌ها و شدت‌های مختلف و با طول موج مشخص با رنگ کاملاً خالص تولید می‌شود و LEDها فاقد پرتوهای مادون قرمز و فرابنفشی هستند که سایر صنایع روشنایی ایجاد می‌کنند و در نتیجه به سلامت چشم و محیط آسیب نمی‌رسانند. LEDهای سفید قابلیت تولید همه

رنگ را دارند و علاوه بر آن در مقایسه با سایر لامپ‌ها و LED های قدیمی از انرژی بسیار کمی برای تولید روشنایی استفاده می‌کنند؛ به همین دلیل روز به روز استفاده از آن‌ها بیشتر شده است. کارخانه‌های تولیدکننده پروژکتورهای LED ادعا می‌کنند که این تکنولوژی راهکاری مناسب و مقرون به صرفه برای روشنایی انواع فضاهاست و با توجه به مشکلات سیستم‌های روشنایی فعلی، به نظر می‌رسد در معادن نیز مؤثر خواهند بود.

انتظار می‌رود تکنولوژی LED از همه لحاظ باعث افزایش ایمنی در معادن باشد. برای مثال: دید افراد را برای تشخیص خطر افزایش می‌دهد، می‌تواند برای اعلام خطر استفاده شود، این تکنولوژی طول عمر بالایی دارد و مصرف برق کمتری نسبت به روشنایی سنتی دارد، به دلیل این که ۵۰ برابر لامپ‌های رشته‌ای عمر می‌کند، نگهداری کمتری نیاز دارد و خطرات مربوط به نگهداری نیز به تبع آن کمتر می‌شود. مصرف پایین برق LED کمک می‌کند تا اندازه و وزن تجهیزات لازم برای روشنایی کاهش یابد. با استفاده از LED حتی می‌توان سیم هدلایت^۱ را (که تا کمر کارگر امتداد داشت) حذف کرد که ایمنی و راحتی بیشتری به وجود می‌آورد [۶].

اما پیش از به‌کارگیری گسترده LED در معادن، بهتر است جایگزینی آن در سیستم‌های روشنایی معدن مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد. می‌بایست میزان روشنایی حاصل و همچنین اثرات استفاده از این نوع چراغ‌ها را بر ایمنی، هزینه‌ها، مصرف انرژی، راحتی کار معدن‌کاران و بازدهی انجام کار آزمایش کرد. در نتیجه مسئله اساسی فراروی این تحقیق، ارزیابی ابعادی از LED است که در فضای معدن اهمیت می‌یابد. بنابراین تحقیق حاضر مشخصات فنی و تجهیزات لازم را برای تأمین روشنایی فردی و عمومی مورد مطالعه قرار داده است تا با بررسی نتایج مثبت و منفی استفاده از LED، اولویت و نقش آن را در کاهش هزینه‌های برق مصرفی، قیمت تمام شده تجهیزات، ارتقای سطح ایمنی و انگیزه کاری کارگران معادن زیرزمینی تعیین کند.

¹ Headlight

۱-۳- ضرورت و اهمیت موضوع

ضرورت نور به واسطه نقش آن در مرئی ساختن اشیا مشخص است. اما یکی از دلایل اصلی اهمیت نور، اثر آن بر ایمنی است. به خصوص در معادن که معدن کاران جهت شناسایی خطرات به روش‌های بصری متکی هستند، کیفیت و کمیت نور می‌تواند به کاهش یا افزایش خطر منجر شود. بنابراین شیوه و نتیجه نورپردازی در معادن از اهمیت بالایی برخوردار است.

از سوی دیگر، تجهیزات روشنایی در مرحله نگهداری و تعمیر، خطراتی را برای تعمیرکاران ایجاد می‌کنند که عموماً مورد غفلت قرار می‌گیرد. خطرات این مرحله الزام می‌کنند که علاوه بر بررسی تجهیزات نوری از منظر کیفیت و کمیت نور برای تأمین دید مناسب، به فرآیند نگهداری و تعمیر انواع چراغ‌ها نیز توجه شود.

پیش‌تر اشاره شد که تکنولوژی LED مزایایی نسبی دارد که می‌تواند در رفع دو مسئله ضروری نامبرده فراروی موضوع روشنایی معادن مؤثر باشد. اما استفاده از LED در معادن به دلایلی نیازمند بررسی‌های پیشین و انجام آزمایش‌های دقیق است.

نخست آن‌که می‌بایست افت نور LED در طول زمان سنجیده شود تا طول عمر استفاده از آن محاسبه گردد و در نتیجه تعداد دفعات تعویض و هزینه‌ها و شرایط تعمیر و نگهداری تعیین شود. سپس باید کیفیت، شدت و توزیع نور آن دقیقاً مورد مطالعه قرار گیرد تا با شرایط استاندارد تطبیق داده شود. به علاوه چون LED به سرمایه اولیه بیشتری نسبت به سایر منابع نوری نیاز دارد، لازم است هزینه اولیه و هزینه‌های انرژی و نگهداری محاسبه و جمع گردد و با سایر نمونه‌ها مقایسه شود، آن‌گاه در صورت مقرون به صرفه بودن مورد استفاده قرار گیرد.

LED مزیت‌هایی چون بازدهی نوری بالا، قابلیت تنظیم شدت نور و زاویه تابش، مصرف انرژی کم، قابلیت تغذیه با منابع AC و DC و قابلیت استفاده از انرژی خورشیدی دارد، اما مؤلفه‌هایی مانند میزان نور، عمر و قیمت بر تصمیم‌گیری به کار بردن آن اثر می‌گذارند. LED در صورتی برای یک معدن روشی مناسب و قابل قبول است که از نظر شدت نور و هزینه‌های اقتصادی نیز ارجحیت داشته باشد.

به دلیل همین مزایای قابل توجه LED در ایمنی و هزینه‌های ثانویه مادی و صرف انرژی، مطالعه و بررسی آن از نقطه نظر فنی و اقتصادی برای هر معدن و تلاش برای استفاده از آن گامی بسیار مهم است.

۱-۴- اهداف تحقیق

هدف اصلی این تحقیق، بررسی LED به عنوان یک منبع نورپردازی جدید معدن است، اما برای ارزیابی و نتیجه‌گیری صحیح، ایجاد روشنایی در معدن کرومیت بندرعباس را مد نظر قرار داده است. برای این بررسی، اهداف فرعی «ارزیابی فنی میزان روشنایی و دوام نور LED در شرایط استاندارد مورد نیاز معدن نمونه» و «بررسی اقتصادی و محاسبه مجموع هزینه‌ها برای انواع LED» تعریف شده‌اند. در این راستا ۳ گرید پروژکتور LED تولید شده و در شرایط تجربی و شبیه‌سازی مطالعه شده است که در فصل روش تحقیق به طور دقیق‌تری تشریح می‌گردد.

۱-۵- ساختار پایان نامه

در فصل اول مقدمه ای در خصوص روشنایی، معدن کرومیت کوهشاهه، بیان مسئله و ضرورت و اهمیت موضوع بیان شده است.

در فصل دوم مفاهیم مرتبط با خدمات فنی در معادن، روشنایی در معادن به طور مختصر و همچنین معرفی تکنولوژی LED، نرم افزار شبیه‌ساز فنی DIALux، روش‌ها و ابزار نور سنجی، روش تحلیل اقتصادی و همچنین معرفی نرم افزار Crystalball و تعدادی از مطالعاتی که در رابطه با این موضوع در جهان انجام شده به طور خلاصه ارائه شده است.

در فصل سوم به تشریح روش تحقیق و فرضیه‌ها پرداخته شده است که به ترتیب: ارزیابی فنی توسط شبیه سازی، نور سنجی، تعیین عمر مفید و انتخاب چیدمان روشنایی و سپس ارزیابی اقتصادی با روش ارزش فعلی، روش معادل سالانه و در نهایت تحلیل حساسیت است.

در فصل چهارم نتایج و یافته‌های حاصل از ارزیابی فنی و اقتصادی و نمودارها و جداول پروژکتور های LED و همچنین اطلاعات استخراج شده از دفاتر ثبت، هزینه‌های خرید و تعمیر و نگهداری چراغ‌های قبلی (متال هالید^۲) معدن ارائه شده است.

در فصل پنجم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها برای مطالعات آینده و بهبود وضعیت مبحث روشنایی در بخش خدمات فنی معادن پرداخته است.

² Metal Halide

فصل دوم

مبانی و مفاهیم، تکنولوژی LED، مدل سازی

نرم افزار DIALux، نرم افزار Crystalball

۲-۱- مقدمه

طراحی سیستم مطلوب و قابل انطباق با استانداردهای روشنایی مستلزم شناخت کامل مفاهیم، روش‌های محاسبه، مؤلفه‌های نور و همچنین شناخت تکنولوژی LED و خصوصیات، مزایا و معایب آن و همچنین آشنایی با روش استفاده از نرم افزار DIALux است. در تحقیق حاضر برای ارزیابی LED مشخصه‌ها و مفاهیمی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که می‌بایست نخست تشریح و تبیین شوند. این فصل به تعریف این مشخصه‌ها و معرفی تجهیزات پایه برای روشنایی معدن می‌پردازد و مفاهیم کلیدی در ارتباط با نور و خصوصیات LED و نرم افزار DIALux و نرم افزار Crystalball جهت تحلیل حساسیت را معرفی و مطرح می‌کند که در فصل‌های بعدی تحقیق به عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی LED به کار می‌روند.

۲-۲- مفاهیم پایه در ارتباط با نور

از جمله مواردی که باید هنگام طراحی معادن در نظر گرفته شود تعیین روشنایی لازم برای

قسمت‌های مختلف معدن است. با توجه به شرایط معادن باید در قسمت‌های مختلف به مواردی که در ادامه بیان شده است توجه داشت.

۲-۲-۱- سوسو زدن^۲

چشم راننده‌ای که در تونل رانندگی می‌کند، نباید در اثر پدیده‌ی سوسو زدن اذیت شود. بسته به سرعت مجاز رانندگی و فاصله بین چراغ‌ها از هم، وقتی که فرکانس مشاهده منابع روشنایی بین ۴ تا ۱۱ هرتز باشد، پدیده سوسو زدن اتفاق می‌افتد. این فرکانس‌ها، همان فرکانس‌های هیپنوتیک هستند و لذا به هر قیمتی باید از اینکه فرکانس مشاهده منابع روشنایی در این محدوده باشد جلوگیری کرد تا نسبت به ایمنی راننده در تونل اطمینان حاصل شود. این پدیده به ویژه در تونل‌های بسیار طولانی مشاهده می‌شود. در نتیجه باید فاصله بین چراغ‌ها بسته به سرعت عبوری رانندگان در محدوده معینی باشد تا از این پدیده جلوگیری شود. به عنوان مثال در سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت (معادل ۶.۱۶ متر بر ثانیه)، فاصله بین دو چراغ نباید بین ۱.۵ متر (۶.۱۶ متر بر ثانیه تقسیم بر ۱۱ هرتز) تا ۱.۴ متر (۶.۱۶ متر بر ثانیه تقسیم بر ۴ هرتز) باشد [۱].

لازم به ذکر است این محدودیت تنها زمانی معتبر است که این پدیده بیش از ۲۰ ثانیه رخ دهد. بنابراین لازم نیست برای روشنایی عمومی تونل‌هایی با طول کم این موضوع در نظر گرفته شود [۱].

۲-۲-۲- کنتراست

افراد باید بتوانند موانع مقابل خود را در هر ناحیه‌ای از تونل تشخیص دهند. برای این منظور لازم است بین درخشندگی مانع و پس زمینه آن (یعنی سطح جاده یا دیواره‌های تونل) اختلاف معین یا

³ Flicker

کنتراستی وجود داشته باشد. اگر شی مانع روشن تر از پس زمینه باشد کنتراست مثبت است و اگر تاریک تر از پس زمینه باشد کنتراست منفی است [۱].

برای بیشتر شدن کنتراست، چه کنتراست مثبت و چه منفی، از سیستم‌های روشنایی مختلفی می‌توان استفاده کرد:

الف- روشنایی متقارن^۴: نور به صورت متقارن در صفحه‌ای به موازات جهت رانندگی منتشر می‌شود [۱].

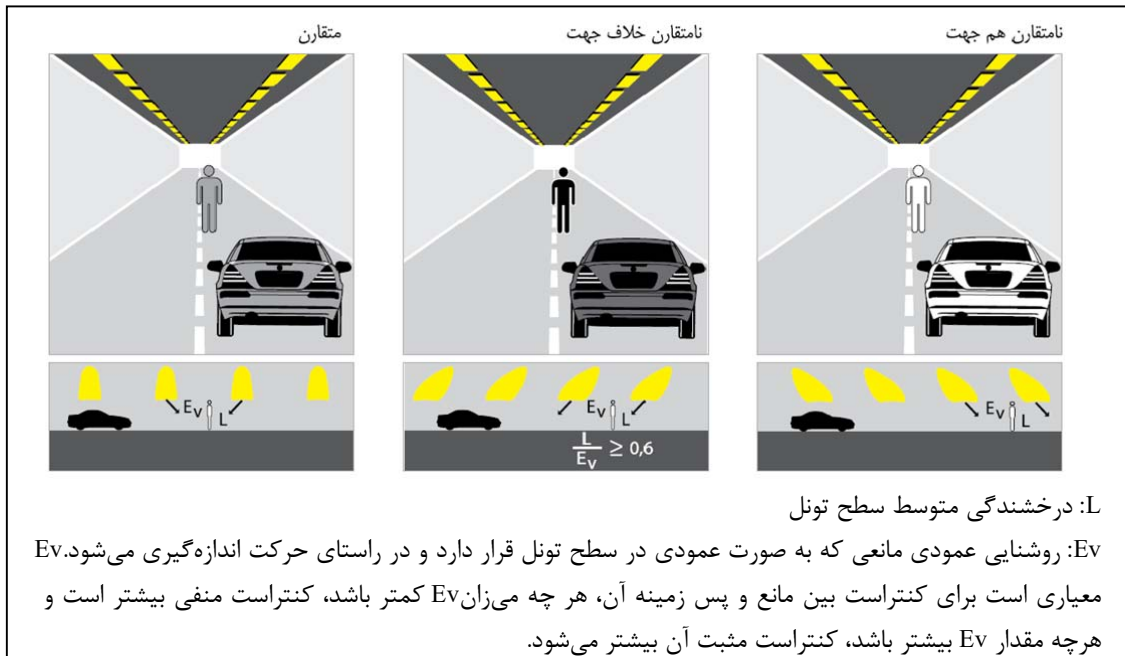
ب- روشنایی نامتقارن خلاف جهت^۵: نور به صورت نامتقارن در صفحه‌ای به موازات جهت رانندگی منتشر می‌شود به گونه‌ای که حداکثر شدت نور به سمت خودروها (در خلاف راستای حرکت) تابیده می‌شود. این سیستم کنتراست منفی را بیشتر می‌کند و درخشندگی سطح جاده را از دید راننده افزایش می‌دهد [۱].

ج- روشنایی نامتقارن هم جهت^۶: نور به صورت نامتقارن در صفحه‌ای به موازات جهت رانندگی منتشر می‌شود به گونه‌ای که حداکثر شدت نور در راستای حرکت خودروها منتشر می‌شود. این سیستم کنتراست مثبت را بیشتر می‌کند و درخشندگی مانع را از دید راننده بیشتر می‌کند (شکل ۲-۱).

⁴ Symmetrical

⁵ Asymmetrical Counter Beam

⁶ Asymmetrical Pro Beam



شکل ۲-۱- نحوه ایجاد کنتراست با روشنایی [۱]

۲-۲-۲- جریان نور

جریان نور عبارت است از توان نوری و یا میزان انرژی تشعشع شده در واحد زمان از جسمی که نور تشعشع میکند و یا نوری که به وسیله چشم احساس می‌شود. مجموع جریان نور یک منبع عبارت است از کل توان نوری آن که در فضا منتشر می‌شود و به کمک وسایل مخصوص (مثل حباب) می‌توان آن را در جهت خاص متمرکز کرد. واحد جریان نور «لومن» است که با "lm" نشان داده می‌شود و عبارت است از جریان نوری که طی آن در داخل زاویه فضایی واحد (یک استرادیان) واحد شدت نور (یک شمع) وجود داشته باشد [۱].

۲-۲-۴- مقدار نور

حاصل ضرب جریان نور در زمان تأثیر آن مقدار نور نامیده می‌شود:

$$Q = \phi \cdot t \quad (1-2)$$

که در آن ϕ جریان نور، t زمان، Q مقدار نورو واحد آن (lm. h) است [۱].

۲-۲-۵- شدت نور

شدت نور به صورت جریان نور موجود در واحد زاویه فضایی تعریف می‌شود. بدین ترتیب اگر $d\phi$ جریان نوری باشد که تحت زاویه فضایی $d\omega$ تشعشع می‌کند، شدت نور آن (I) خواهد بود:

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (2-2)$$

شدت نور تنها به منبع نور بستگی دارد و تابع فاصله نیست. شدت نور منابع نقطه‌ای معمولاً در تمام جهات یکسان است، در صورتی که شدت نور یک منبع صفحه‌ای، در نقاط مختلف تفاوت می‌کند و امتداد ماکزیمم آن به نوع منبع بستگی دارد [۱].

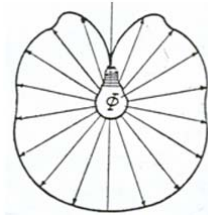
واحد شدت نور شمع جدید (کاندلا) است که با "Cd" نمایش داده می‌شود و می‌توان آن را بر اساس رابطه بالا به عنوان جریان نور یک لومن در داخل زاویه فضایی یک استرادیان تعریف کرد. در عمل، واحد شدت نور را به نحو دیگری تعریف می‌کنند و آن عبارت از $1/60$ شدت نوری است که از یک جسم سیاه (اکسید توریم) به مساحت یک سانتیمتر مربع در دمای معادل نقطه ذوب پلاتین (1753 سانتی‌گراد) در امتداد عمود بر سطح ساطع می‌شود. در قدیم شمع دیگری به عنوان واحد شدت نور تعریف می‌شد که چندان تفاوتی با واحد جدید نداشت.

۲-۲-۶- شدت نور متوسط

در بسیاری موارد شدت نور یک منبع نور در امتدادهای مختلف متفاوت است، لذا برای آن یک شدت نور متوسط تعریف می‌کنند. شدت نور متوسط عبارت است از شدتی فرضی که اگر به طور یکنواخت و در تمام جهات به منبع نسبت داده شود، جریان نور کلی منبع، تغییری نکند. شدت نور متوسط را می‌توان برای تمام فضا، افقی و قائم تعریف کرد. از سوی دیگر شدت نور متوسط را می‌توان برای نیمه بالایی و پایینی چراغ نیز تعریف کرد [۱].

۲-۲-۷- منحنی توزیع نور

اگر یک دستگاه مختصات قطبی به گونه‌ای توجیه شود که در سطح قائمی که از منبع نور عبور می‌کند، قرار گیرد، سپس شدت نور در امتدادهای مختلف در دستگاه مختصات نقل شده و انتهای شعاع‌های قطبی به هم وصل شود، منحنی حاصل را به نام منحنی توزیع نور می‌خوانند (شکل ۲-۲) [۱].



شکل ۲-۲- منحنی توزیع نور [۱]

۲-۲-۸- شدت روشنایی

شدت روشنایی و یا به بیان ساده‌تر روشنایی، به صورت خارج قسمت جریان نوری که بر یک سطح می‌تابد (بر حسب لومن) بر مساحت سطحی که روشن شده است (بر حسب متر مربع) تعریف می‌شود:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (۲-۳)$$

که در آن Φ جریان نور و A مساحت و E شدت روشنایی است.

اگر جریان نور به طور یکنواخت در سطح پخش شود، رابطه بالا روشنایی واقعی سطح را نتیجه می‌دهد. اما اگر این توزیع یکنواخت نباشد، آنچه که از رابطه بالا به دست می‌آید، شدت روشنایی متوسط سطح خواهد بود. واحد شدت روشنایی لوکس است که با lx نشان داده می‌شود و عبارت است از شدت روشنایی‌ای که جریان نور یک لومن در هر متر مربع از سطح تشعشع کند. اگر منبع نوری با شدت نور متوسط I ، سطحی قرار گیرد، شدت روشنایی ناشی از آن منبع در نقطه‌ای درست زیر r در فاصله منبع از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (2-4)$$

مطابق این رابطه، شدت روشنایی با شدت نور نسبت مستقیم و با مجذور فاصله نسبت معکوس دارد و این قانون به نام قانون مجذور فاصله خوانده می‌شود. این رابطه وقتی صادق است که نور به طور عمودی بر سطح بتابد.

برای اندازه‌گیری شدت روشنایی از دستگاه‌هایی موسوم به لوکس متر استفاده می‌کنند که مبنای آن استفاده از سلول‌های فوتوالکتریک است.

۲-۲-۹- ضریب جذب

نسبت جریان نور جذب شده به وسیله یک سطح به جریان نوری که به آن می‌تابد، به نام ضریب جذب آن سطح شناخته می‌شود [۱].

۲-۲-۱۰- ضریب انعکاس

نسبت جریان نور منعکس شده از یک سطح به جریان نوری که به آن می‌تابد، به نام ضریب جذب آن سطح نامیده می‌شود [۱].

۲-۳- طراحی روشنایی معادن

برای آن که میزان روشنایی لازم در نقاط مختلف معدن تامین شود، باید نوع و آرایش چراغ‌ها را به نحو مناسبی طراحی کرد.

ساده‌ترین روش طراحی سیستم روشنایی معادن، روش موسوم به لومن است که ابتدا با استفاده از این شیوه، می‌توان روشنایی متوسط را به دست آورد و سپس با استفاده از روش نقطه به نقطه طراحی دقیق را انجام داد.

۲-۳-۱- طراحی روشنایی به روش لومن

این روش، به نام روش ضریب بهره‌دهی نیز نامیده می‌شود و برای طراحی کلی روشنایی به کار می‌رود. با این روش، روشنایی متوسط سطح مورد نظر در حد مجاز خواهد بود و ممکن است روشنایی در بعضی قسمت‌های آن کمتر و بعضی نقاط بیشتر از حد لزوم باشد. بنابراین ابتدا باید با استفاده از این روش، فاصله چراغ‌ها را به دست آورد و سپس به کمک روش نقطه به نقطه این فواصل را تعدیل کرد. ابتدا باید نوع چراغ را با توجه به شرایط ایمنی و اقتصادی انتخاب کرد. سپس با توجه به استاندارد روشنایی برای محل مورد نظر، شدت روشنایی متوسط در سطح آن محل انتخاب شده و با توجه به ضرایب تصحیحی، فاصله چراغ‌ها با توجه به رابطه زیر محاسبه شود:

$$E = \frac{\phi C_1 C_2 C_3}{xB} \quad (2-5)$$

فرمول (۲-۵) که در آن:

E = روشنایی متوسط در سطح مورد نظر بر حسب لوکس

B = عرض سطح مورد نظر بر حسب متر

x = فاصله چراغها بر حسب متر

ϕ = جریان نور هر چراغ بر حسب لومن

C_1 = ضریب بهره دهی^۷

C_2 = ضریب نگهداری^۸

C_3 = ضریب جذب^۹

⁷ Utilization factor

⁸ Maintenance factor

⁹ Absorption factor

ضریب بهره‌دهی چراغ‌های مختلف را باید از کاتالوگ کارخانه سازنده به دست آورد. ضریب بهره‌دهی تابعی از شاخص فضا^{۱۰} است که آن را با رابطه زیر تعریف می‌کنند:

$$RI = \frac{xy}{(x+y)h} \quad (۶-۲)$$

RI = شاخص فضا

x = عرض سطح مورد بررسی

y = طول سطح مورد بررسی

h = ارتفاع چراغ نسبت به سطح مورد بررسی

در جدول (۱-۲)، ضریب بهره‌دهی چراغ‌های مختلف نسبت به شاخص فضا در حالت‌های متفاوت درج شده است.

جدول ۱-۲- ضریب بهره‌دهی چراغ‌ها نسبت به شاخص فضا در شرایط مختلف

شاخص فضا	حباب با قدرت انعکاس بالا	حباب واگرا	لامپ فلورسنت
۰/۱۶	۰/۱۳۳	۰/۱۱۶	۰/۱۲۳
۰/۱۸	۰/۱۴۰	۰/۱۲۲	۰/۱۲۸
۱	۰/۱۴۵	۰/۱۲۶	۰/۱۳۲
۱/۲۵	۰/۱۴۹	۰/۱۲۹	۰/۱۳۵
۱/۵	۰/۱۵۳	۰/۱۳۲	۰/۱۳۸
۲	۰/۱۵۷	۰/۱۳۶	۰/۱۴۱
۲/۵	۰/۱۶۰	۰/۱۴۰	۰/۱۴۳
۳	۰/۱۶۲	۰/۱۴۳	۰/۱۴۴
۴	۰/۱۶۴	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶
۵	۰/۱۶۶	۰/۱۴۸	۰/۱۴۷

الف- ضریب نگهداری: نوردهی یک چراغ در تمام مدت کار آن یکسان نیست. نوردهی چراغ نیز نظیر هر دستگاه دیگر، به مرور کاهش می‌یابد و باید با نگهداری مداوم و دقیق این آهنگ را کند کرد.

¹⁰ Room index

رسوب گرد و غبار بر روی شیشه چراغ سبب کاهش نوردهی آن می‌شود و نیز با نشستن این ذرات بر سطح حفریات معدنی، قابلیت انعکاس آن‌ها کاهش می‌یابد. در کارهای صنعتی و تحت شرایط معمولی جوی، که حباب چراغ‌ها هر ۶ هفته یک بار به خوبی تمیز می‌شود، ضریب نگهداری را حدود ۰/۸ منظور می‌کنند. به عبارت دیگر، شدت نور حاصل از چراغ را به طور متوسط ۸۰ درصد شدت نور اولیه آن در نظر می‌گیرند.

ب- ضریب جذب: از آن‌جا که هوای معدن دارای مقداری گاز، دود، گرد و غبار است و این امر سبب می‌شود که مقداری از نور در فاصله بین منبع نور و سطح مورد نظر جذب شده و یا پراکنده شود، بنابراین بسته، به فاصله چراغ تا سطح مورد روشنایی و میزان آلودگی‌های موجود در هوای معدن، باید ضریب تصحیحی از این بابت در نظر گرفت. ضریب جذب ۰/۵ برای شرایط برگرد و دود معدن توصیه می‌شود.

با تعیین ضرایب یاد شده و جایگذاری آن‌ها در رابطه (۲-۵)، فاصله چراغ‌ها (χ) به دست می‌آید. در مواردی که به جای چراغ‌های با لامپ منفرد از چراغ‌هایی که چندین لامپ دارند استفاده می‌شود، در (۲-۵) باید به جای Φ ، مجموع جریان نور لامپ‌ها را منظور کرد.

جدول ۲-۲ ضریب نگهداری چراغ‌ها در حالت‌های مختلف

شرایط محیط	زمان تناوب پا کردن چراغ	ضریب نگهداری
خیلی گرد و غباردار	هرماه	۰/۸
	شش ماه یکبار	۰/۶
	سالانه	۰/۴
	فقط هنگام تعویض	۰/۳
گرد و غبار معمولی	هرماه	۰/۹
	شش ماه یکبار	۰/۸
	سالانه	۰/۷
	فقط هنگام تعویض	۰/۶

۲-۳-۲- طراحی روشنایی به روش نقطه به نقطه

در روش لومن فاصله چراغ‌ها به گونه‌ای تعیین می‌شود که روشنایی متوسط در سطح مورد نظر را تامین کند لذا در زیر چراغ و محدوده اطراف آن، روشنایی بیش از حد مندرج در جدول ۲-۳ در کناره‌ها و گوشه کمتر از آن است. برای رفع این مشکل، باید از روش موسوم به روش نقطه به نقطه استفاده کرد. دیواره حفاریات معدنی معمولاً تیره رنگ‌اند و ضریب انعکاس پایینی دارند، بنابراین توصیه می‌شود که نور منعکس شده از سقف و دیوارها (که مقدار آن ناچیز است) در نظر گرفته نشود.

جدول ۲-۳- استاندارد روشنایی برای معادن زیرزمینی

محل	حداقل روشنایی - لوکس
محدوده کف چاه	۶۰
نقاط مهم اطراف چاه	۳۰
تعمیرگاه زیرزمینی	۵۰
راهروهای حمل و نقل	۱۰
کارگاه استخراج	۱۵
نقاط بارگیری	۲۰
محدوده ماشین‌آلات	۲۵
راهروهای عبور افراد	۳۰
پیشروی‌ها	۲۰

مراحل کار در روش نقطه به نقطه به شرح زیر است:

- الف- انتخاب چراغ مناسب:** در این روش نیز مشابه روش لومن، ابتدا چراغ مناسب از نقطه نظر ایمنی، فنی و اقتصادی انتخاب می‌شود. در انتخاب این چراغها، باید تمام ضوابطی را که در قسمت مقررات فنی و ایمنی آمده است، مد نظر قرار داد.
- ب- تعیین فاصله اولیه:** با توجه به نوع چراغ انتخابی و با استفاده از روش لومن، فاصله اولیه چراغها از رابطه (۲-۵) محاسبه می‌شود.

ج- انتخاب نقاط کنترل در سطح مورد بررسی: در سطح مورد بررسی (مثلا کف تونل یا دیواره

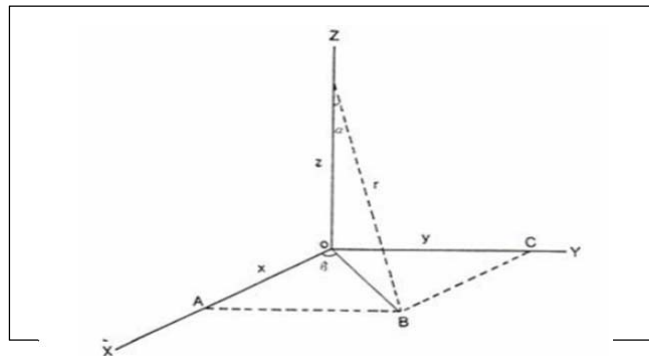
کارگاه استخراج) یک شبکه منظم از نقاط انتخاب می‌شود مانند شکل (۲-۳).



شکل ۲-۳- موقعیت نقاط انتخابی در سطح مورد بررسی

هر چقدر تعداد این نقاط بیشتر باشد، نتایج حاصل از بررسی دقیق‌تر خواهد بود. توصیه می‌شود که فاصله این نقاط معادل ۱/۵ برابر فاصله چراغ‌ها انتخاب شود.

د- تعیین میزان روشنایی در نقاط کنترل: در هر یک از نقاط کنترل، روشنایی حاصل از سه ردیف چراغ‌های دو طرف نقطه محاسبه می‌شود. برای این کار ابتدا باید شدت نور چراغ در امتداد چراغ - نقطه را به دست آورد. بدین منظور با رسم یک دستگاه مختصات سه بعدی (شکل ۲-۴)، زوایای α و β محاسبه می‌شود.



شکل ۲-۴- تعیین زوایای α و β

(۲-۷)

$$\beta = \tan^{-1} \frac{AB}{BC} = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

(۲-۸)

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{OB}{OZ} = \tan^{-1} \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}$$

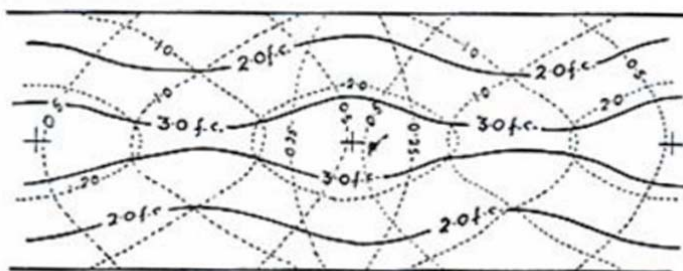
منحنی توزیع شدت نور هر چراغ را باید از کاتالوگ کارخانه سازنده به دست آورد. با نقل زوایای α و β در منحنی توزیع نور چراغ (شکل ۲-۲)، شدت نور چراغ در امتداد چراغ- نقطه به دست می‌آید. یادآوری می‌شود که β زاویه بین نصف‌النهار امتداد مورد نظر و نصف‌النهار مبدا و α زاویه بین مدار مربوط به امتداد مورد نظر و مدار صفر را نشان می‌دهد.

پس از تعیین شدت نور چراغ در امتداد مورد نظر، روشنایی چراغ اول در نقطه کنترل از رابطه (۲-۹) محاسبه می‌شود.

$$E = \frac{I}{h^2} \cos^2 \alpha \quad (2-9)$$

پس از محاسبه روشنایی ناشی از چراغ اول در اولین نقطه کنترل، روشنایی چراغ‌های دیگر نیز که در طرفین نقطه قرار دارند محاسبه می‌شود و از جمع آن‌ها روشنایی کلی اولین نقطه به دست می‌آید و در سایر نقاط کنترل نیز میزان روشنایی باید به همین ترتیب محاسبه شود.

پس از آنکه در تمام نقاط کنترل انتخابی، روشنایی محاسبه شد، آنگاه باید منحنی‌های هم‌روشنایی را رسم کرد که نمونه‌هایی از آن‌ها در شکل (۲-۵) نشان داده شده است:



شکل ۲-۵- منحنی‌های هم‌روشنایی در کف تونلی به ارتفاع ۲/۲ متر و فاصله چراغ‌ها ۵ متر

پس از رسم منحنی‌های هم‌روشنایی، در صورتی که روشنایی در تاریک‌ترین نقاط از حد مورد نظر بیشتر یا مساوی نبود (در اولین مرحله این چنین است)، آنگاه باید یا فاصله چراغ‌ها را کمتر در نظر گرفت و یا لامپ‌های با شدت نور بیشتر را به کار گرفت و محاسبات را تکرار کرد و این مراحل را

آن قدر انجام داد تا سرانجام، روشنایی حداقل لازم در تمام نقاط سطح مورد نظر تامین شود و منحنی‌های هم‌روشنایی به صورت خطوط تقریباً موازی درآیند. طراحی را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهایی که در این مورد وجود دارد نظیر نرم‌افزارهای: CAP ، AGI3 و DIALux انجام داد.

۲-۴- تاریخچه روشنایی در معادن

منابع نوری مصنوعی برای محیط‌های کاری، از زمانی که توماس ادیسون در سال ۱۸۷۹ میلادی نخستین لامپ نئونی را ثبت اختراع کرد تغییر و تحولات بسیاری یافته‌اند و امروز گستره بزرگی را از لامپ‌های نئونی، فلورسنت، بخار جیوه، سدیم و متال هالید در بر می‌گیرند [۲]. در میان محیط‌های کاری مختلف، نورپردازی معادن دیرتر تحول یافت و تا مدت زیادی چراغ‌های شعله‌ای به جای منابع نوری الکتریکی به کار می‌رفت [۲]. در ۱۸۹۴ برای اولین بار لامپ‌های الکتریکی با عنوان «ساسمن»^{۱۱} در معادن انگلستان مورد توجه قرار گرفتند [۳]. در سایر اروپا، نخستین تلاش‌ها برای به کار بردن لامپ‌های نئونی در معدن کاری اوایل ۱۹۰۲ میلادی اتفاق افتاد، اما تا حدود ۲۵ سال بعد از آن، هم‌چنان استفاده از لامپ‌های الکتریکی برای روشن کردن جبهه کار موفقیت‌آمیز نبود [۲]. در آمریکا استفاده از الکتریسیته برای روشنایی معدن، از ۱۸۹۶ مورد توجه قرار گرفت و به کاربردن لامپ‌های نئونی تعبیه شده در کلاه‌های ایمنی آغاز شد [۳].

سال ۱۹۱۱ میلادی، شخص توماس ادیسون علاقمند شد تا لامپ‌هایی الکتریکی توسعه دهد که قابل استفاده برای معدن‌کاران بودند و در ۱۹۱۲ نمونه‌های باتری‌داری را معرفی کرد که در معادن ذغال‌سنگ و آهن فیلادلفیا آزمایش شدند [۳].

در دهه ۱۹۲۰ میلادی، دیگر لامپ‌های قابل حمل باتری‌دار گسترش یافته بودند، اما این لامپ‌ها سنگین بودند، برای معدن‌کار مزاحمت ایجاد می‌کردند و همین‌طور امکان نشت اسید از آن‌ها وجود

¹¹ Sussman

داشت. در تحولات بعدی این نوع چراغ‌ها، هدایت توسعه یافت که در ۱۹۳۵ به اولین و پرآستفاده‌ترین منبع نوری در معادن ذغال سنگ تبدیل شد [۲].

اما در کنار استفاده از منابع قابل حمل، به مرور زمان با وضع قوانین و مقررات متنوع برای معادن اروپا و آمریکا، روشن ساختن فضای کلی معادن با منابع مصنوعی نیز به یک الزام تبدیل شد. برای مثال در سال ۱۹۰۱ میلادی قوه مقننه پنسیلوانیا همه معدن داران را ملزم کرد تا از نور الکتریکی در تمام فضای داخلی معادن استفاده کنند [۳].

در نتیجه این تغییر و تحولات، تأمین روشنایی عمومی معادن امروز انواع متنوعی یافته است. در حال حاضر، چراغ‌های به کار رفته در معدن و فضاهای زیرزمینی را می‌توان در ۳ گروه کلی دسته‌بندی کرد:

۱- چراغ‌های تخلیه گازی پرفشار بخار جیوه چراغ‌های تخلیه گازی پرفشار بخار سدیم

۲- چراغ‌های تخلیه گازی کم فشار جیوه (فلوروسنت)

چراغ‌های بخار جیوه دارای نور سفید رنگ هستند و نسبت به چراغ‌های بخار سدیم ۲ برابر مصرف برق بیشتر و نصف آن‌ها نوردهی دارند. چراغ‌های بخار سدیم دارای نور زرد رنگ هستند. چراغ‌های فلوروسنت مصرف برق پایین، اما تعداد دفعات تعمیر و نگهداری بیشتری دارند [۴].

مشخصات نوری چراغ‌های حال حاضر، با وجود تحولات بسیار در تاریخ روشنایی معادن، هنوز چنان که باید مطلوب نیست و به همین دلیل جستجو برای طراحی و توسعه منابع نوری جدید و مطابق با نیاز معدن کاران و البته شرایط معدن هم‌چنان ادامه دارد.

معادن زیر زمینی به دلیل محدودیت فضا، وجود گرد و غبار، سطوح بازتابنده کم و تضاد بصری کم دشوارترین مکان‌ها برای نورپردازی هستند [۴] و به تناسب این موضوع، انتخاب منابع نوری مناسب و طراحی چیدمان آن‌ها مقوله‌ای بسیار مهم است که مورد توجه تحقیقات جدید حوزه روشنایی قرار گرفته است.

یکی از جدیدترین منابع نوری معرفی شده در جهان، LED ها هستند. ساخت و تولید این نوع از دیودها در سال‌های اخیر به طرز قابل توجهی پیشرفت کرده است، به همین دلیل پیش‌بینی می‌شود به زودی LED ها کاربری گسترده‌ای در حیطه‌های مختلف و از جمله معادن بیابند. طرح مسئله استفاده از LED در روشنایی معدن چنان نوظهور است که هنوز نصب و استفاده از پروژکتورهای LED در معادن رایج نشده است و بیشتر در تحقیقات معدن می‌توان مباحثی نظری پیرامون بررسی LED یافت. اما محققان مؤسسه ملی ایمنی و سلامت شغلی "NIOSH"^{۱۲} پیش‌بینی می‌کنند LED گام جدیدی در تداوم تاریخچه روشنایی معدن خواهد بود و به زودی تحولی عظیم در تأمین نور فضاهای زیرزمینی ایجاد خواهد کرد [۵].

این تحقیق نیز بر همین اساس به دنبال معرفی و آزمایش LED به عنوان یک روش جایگزین برای تأمین نور معدن بوده است و در نتیجه به کارگیری تجهیزات روشنایی LED را از حیث فنی و اقتصادی امکان‌سنجی کرده و قابلیت انطباق این تکنولوژی را با استانداردها و قوانین ایمنی معدن زیرزمینی مورد بررسی قرار داده است.

۲-۱۵ اجزای سیستم‌های روشنایی معدن

سیستم روشنایی معدن مثل همه سیستم‌های روشنایی شامل: منبع نور تابنده (لامپ)، اتصالات پایه، لنز یا حباب، منبع تأمین انرژی و درایور متناسب‌کننده ولتاژ یا منظم‌کننده ولتاژ مقاومت الکتریکی و تجهیزاتی است که در مدار بسته می‌شود.

لامپ‌های هالوژن و رشته‌ای به دلیل استفاده مستقیم از منبع انرژی درایور نیاز ندارند. اما لامپ‌های فلوروسنت و متال هالید نیازمند درایور جهت افزایش ولتاژ در مرحله‌ی اولیه استارت چراغ هستند.

چراغ‌های LED به درایور جهت منظم کردن جریان ولتاژ نیاز دارند [۷].

¹² National Institute of Occupational Safety & Health

۲-۶- ویژگی‌های لامپ‌های مورد استفاده فعلی در معادن

همان‌طور که گفته شد، چراغ‌های مورد استفاده فعلی در معادن و فضاهای زیرزمینی به ۳ دسته کلی

تقسیم می‌شوند:

۱- چراغ‌های تخلیه‌گازی پرفشار بخار جیوه

۲- چراغ‌های تخلیه‌گازی پرفشار بخار سدیم

۳- چراغ‌های تخلیه‌گازی کم فشار جیوه (فلوروسنت)



شکل ۲-۶- مقایسه نور در تونل شنل فرانسه [۴]

مشخصات انواع لامپ‌های مورد استفاده در معادن به صورت جزئی‌تر در جدول ۲-۴ که در ادامه آورده

می‌شود، بیان شده است

جدول ۲-۴- چراغ‌های مورد استفاده فعلی در معادن و فضا‌های زیرزمینی [۴]

توضیحات	درجه حفاظت	جنس مواد	نوع لامپ	تصویر
روشنایی اضطراری دارای باتری و اینورتر	IP67	بدنه: آلومینیوم اکستروود شده قطعات انتهایی: پلی کربنات محافظ: پلی کربنات اکستروود شده	بخار سدیم کم فشار حداکثر 1X36W فلورسنت T5/T8 حداکثر 2X58W فلورسنت فشرده CFL حداکثر 2X55W	
روشنایی اضطراری دارای باتری و اینورتر	IP67	بدنه: آلومینیوم اکستروود شده قطعات انتهایی: آلومینیوم ریخته‌گری شده محافظ: شیشه	فلورسنت T5/T8 حداکثر 2X58W فلورسنت فشرده CFL حداکثر 2X55W	
مقاومت مخصوص در برابر خوردگی دارای اهرم- های قفل شونده سریع	IP65	بدنه: آلومینیوم آنودایز شده اکستروود شده پوشش انتهایی: آلومینیوم ریخته‌گری شده یا پلی‌استر تقویت شده محافظ: شیشه مقاوم شده با گرما یا پلی کربنات رفلکتور: آلومینیوم	بخار سدیم پرفشار حداکثر 2X400W بخار سدیم کم فشار حداکثر 2X131W فلورسنت T5/T8 حداکثر 2X58W فلورسنت فشرده CFL حداکثر 2X55W	
مقاومت مخصوص در	IP65	بدنه: آلومینیوم آنودایز شده اکستروود	بخار سدیم پرفشار حداکثر 1X600W 2X150W	

<p>برابر خوردگی دارای اهرم- های قفل شونده سریع</p>		<p>شده پوشش انتهایی: آلومینیوم ریخته‌گری شده یا پلی استر تقویت شده محافظت: شیشه مقاوم شده با گرما یا پلی کربنات رفلکتور: آلومینیوم</p>	<p>بخار سدیم کم فشار حداکثر 2X36W فلورسنت فشرده CFL حداکثر 2X36W القایی حداکثر 165W</p>	
<p>بازشو از جلو مناس برای ناحیه داخلی با رفلکتور مقارن و همچنین دارای رفلکتور نامقارن ناهم جهت</p>	<p>IP66</p>	<p>بدنه: آلومینیوم دایکاست رنگ شده محافظت: شیشه مقاوم شده با گرما رفلکتور: آلومینیوم</p>	<p>بخار سدیم پرفشار حداکثر 2X400W بخار سدیم کم فشار حداکثر 2X131W فلورسنت T5/T8 حداکثر 2X58W فلورسنت فشرده CFL حداکثر 2X55W</p>	
<p>استنلس استیل بازشو از بیرون، رفلکتور مقارن و نامقارن</p>	<p>IP65</p>	<p>بدنه: استنلس استیل محافظت: شیشه مقاوم شده با گرما رفلکتور: آلومینیوم</p>	<p>بخار سدیم پرفشار حداکثر 1X400W</p>	

۲-۷- معدن کرومیت کوهشاه

کوهشاه شمالی‌ترین نقطه استان هرمزگان به شمار می‌آید که به دلیل واقع شدن در راه ارتباطی کرمان از اهمیت جغرافیایی فراوانی برخوردار است. این منطقه دارای ذخایر معدنی فراوانی است. از جمله می‌توان به معادن کروم و منگنز اشاره کرد. تعداد زیادی از مردم کوهشاه مشغول به کار در این معادن هستند. معادن کوهشاه در سال‌های ۸۰-۸۱ به صورت غیر رسمی فعالیت خود را شروع کردند. اکثریت این معادن در قسمت‌های کوهستانی هستند. در سال‌های دور به علت نبود راه و دستگاه‌های مختلف معدن‌کاری، سهل‌انگاری پیمان‌کاران و ناآگاهی برخی افراد؛ مردم به علت فقر مالی مجبور بودند در این معادن رفته و با دست خود مشغول به کار شوند که متأسفانه سالانه تعداد زیادی از مردم به علت ریزش معدن جان خود را از دست می‌دادند.

این تحقیق در فاز جدید معدن کرومیت کوهشاه انجام شده است. ظرفیت استخراج سالیانه معدن کوهشاه ۵۰۰۰۰ تن با عیار ۴۳ درصد بود. شرکت میهن‌کویر در سال ۱۳۹۰ پس از تشکیل تعاونی روستای کوهشاه و همکاری نیروی بومی شروع به بهره‌برداری از این معدن کرد و در سال ۱۳۹۳ بعد از مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی و افزایش ذخیره قطعی به ۱۰ میلیون تن، جهت افزایش تولید طبق طرح جدید معدن حفر تونل‌های دسترسی فاز ۲ معدن را آغاز نمود. طراحی سیستم روشنایی فاز دوم به دلیل موقعیت خاص منطقه، مشکلات برق شبکه و مشکلات تامین قطعات تعمیر و نگهداری راهکارهای جدید افزایش بهره‌وری با همکاری شرکت آریا روناک پارسه با نام مخفف تِل^{۱۳} آغاز شد.

۲-۸- تشریح تکنولوژی LED

LED مخفف عبارت «Light Emitting Diode» به معنای دیود ساطع‌کننده نور است. دیود زیرگروه نیمه‌هادی‌ها به شمار می‌رود. خاصیتی که LEDها را از سایر نیمه‌هادی‌ها متمایز می‌کند این است که با گذر جریان از آنها مقداری از انرژی به صورت نور ساطع می‌شود [۶].

¹³ Technical & economical evaluation electrical lomu

لامپ‌های معمولی یا همان لامپ‌های رشته‌ای یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش حجم تولید گازهای گلخانه‌ای در جهان هستند؛ بنابراین بسیاری از کشورها، برنامه چند ساله‌ای را برای جایگزینی مدل‌های دیگر لامپ به جای لامپ‌های رشته‌ای تدوین کرده‌اند تا شاید در دراز مدت استفاده از لامپ‌های رشته‌ای و به تبع آن گرمایش زمین را کاهش دهند. به همین دلیل استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف، فلورسنت و ... مرسوم شد و برخی کشورها مردم را ملزم به استفاده از این لامپ‌ها کرده‌اند.

LED در دهه‌های گذشته در الکترونیک برای نمایش خاموش یا روشن بودن نمایشگرها در لوازم مولتی مدیا و نشان‌دهنده لوازم الکتریکی و ماشین آلات مورد استفاده قرار می‌گرفت. اما در حال حاضر LED ها به نحوی ساخته می‌شوند که نور را در جهت خاصی متمرکز می‌کنند و به صورت چیپ‌های کوچکی هستند که به طور معمول داخل یک شیشه گنبدی شکل قرار می‌گیرند و دارای سایز چوب کبریت هستند و به سختی می‌شکنند. بزرگ‌ترین مشکل لامپ‌های LED رنگ آن‌ها بود. اما اکنون به آسانی با تغییر در ساختار فیزیکی و مواد تشکیل‌دهنده LED، نور در رنگ‌ها و شدت‌های مختلف و با طول موج مشخص با رنگ کاملاً خالص تولید می‌شود. به عبارتی LED ها فاقد پرتوهای مادون قرمز و فرابنفشی هستند که سایر صنایع روشنایی ایجاد می‌کنند و به سلامت چشم و محیط آسیب نمی‌رسانند. LED های سفید قابلیت تولید همه رنگ را دارند و علاوه بر آن برای تولید روشنایی از انرژی بسیار کمی در مقایسه با سایر لامپ‌ها و LED های قدیمی استفاده می‌کنند. به همین دلیل روز به روز استفاده از آن‌ها بیشتر شده است. با توجه به مزایای استفاده از لامپ‌های LED پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آینده تحولات عمده‌ای در عرصه محصولات روشنایی رخ دهد.

۲-۹- مزایای لامپ‌های LED

۱- طول عمر: اولین و مهم‌ترین پارامتر، طول عمر لامپ‌های LED است. لامپ‌های LED طول عمری بین ۵۰ هزار تا ۶۰ هزار ساعت دارند. این طول عمر در مقایسه با طول عمر لامپ‌های دیگر بسیار بالاست [۴].

۲- بازده نوری: از دیگر مزیت‌های لامپ‌های LED بازده نوری بالای آنهاست. در حال حاضر لامپ‌های LED بازدهی بین ۷۴ تا ۱۴۰ لومن بر وات^{۱۴} دارند و این در حالی است که این مقدار برای لامپ‌های رشته‌ای ۱۰ تا ۱۵ لومن بر وات، برای لامپ‌های کم‌مصرف ۴۵ تا ۶۵، برای لامپ‌های بخار جیوه ۳۵ تا ۶۰، برای لامپ‌های بخار سدیم ۶۰ تا ۱۱۰ و برای لامپ‌های متال هالید ۷۵ تا ۸۵ لومن بر وات است.

۳- زمان رسیدن به حداکثر نور: لامپ‌های LED به محض رسیدن ولتاژ به آنها روشن می‌شوند، یعنی کمتر از $\pi S 20$ ، ولی به عنوان مثال لامپ‌های متال هالید زمانی بالغ بر ۵ دقیقه لازم دارند تا به حداکثر نور خود برسند، یعنی لامپ‌های LED پانزده میلیون بار سریع‌تر روشن می‌شوند. مشکل دیگر لامپ‌های متال هالید این است که اگر این لامپ‌ها بیش از ۵ دقیقه روشن باشند گرم می‌شوند و بعد از خاموشی دیگر فوراً روشن نمی‌شوند. چرا که سنسور داخل لامپ اجازه روشن کردن مجدد لامپ را تا زمانی که سرد نشده است، نمی‌دهد که حدوداً ۳ دقیقه طول می‌کشد تا این سنسور اجازه ورود ولتاژ را بدهد و بعد از آن ۴ تا ۵ دقیقه زمان لازم است تا لامپ به حداکثر نور خود برسد.

۴- دفعات روشن و خاموش کردن: طول عمر لامپ‌های LED به هیچ وجه تابعی از تعداد دفعات روشن و خاموش شدن نیست، می‌توان لامپ‌های LED را میلیون‌ها بار روشن و خاموش کرد. در واقع طول عمر LED ها تنها به مدت زمان روشن ماندن بستگی دارد. [۴]

¹⁴ Luman/Watt

۵- تنظیم شدت نور: با استفاده از تکنولوژی پی.دبلیو.ام.^{۱۵} که کنترل سطح ولتاژ را به کمک تغییر پهنای پالس امکان‌پذیر می‌کند و در اکثر می‌کروکنترلرها موجود است، می‌توان در لامپ‌های LED شدت نور را تنظیم کرد. [۴]

۶- تنظیم زاویه تابش: در لامپ‌های LED نور در تمام جهات منتشر نمی‌شود و به دلیل موجود بودن لنزهایی با زوایای دلخواه نوری، جهت تابش کاملاً قابل کنترل است. [۵]

۷- جریان راه‌اندازی: همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، لامپ‌های متال هالید ۵ دقیقه زمان نیاز دارند تا به حداکثر نوردهی خود برسند. در این مدت زمان برای یونیزه کردن گاز داخل لامپ نیاز به آمپر بیشتری است. در آزمایش انجام شده مشاهده گردید که در ابتدای روشن شدن لامپ ۴۰۰ وات متال هالید، جریان مصرفی ۲/۷ آمپر بود که این جریان رفته کاهش یافته و پس از ۵ دقیقه به ۵ آمپر رسید. به عبارت دیگر یک لامپ ۴۰۰ وات متال هالید در مدت زمان راه‌اندازی ۱۱۰۰ وات مصرف خواهد داشت یعنی تقریباً ۳ برابر واتی که باید مصرف کند. این عملکرد، تجهیزاتی ۳ برابر قوی‌تر نیاز دارد که پیرو آن هزینه‌های تابلو برق و تجهیزات را افزایش می‌دهد. [۶]

۸- کاهش نور: کلیه لامپ‌ها به جز LED با گذشت زمان دچار افت شدید شدت نور می‌گردند. افت شدت نور لامپ‌های LED در سال کم است. [۶]

۹- منبع تغذیه: LED ها قابلیت تغذیه هم با جریان AC و هم جریان DC با مصرف کم را دارند، لذا می‌توانند از منابع انرژی خورشیدی و یا باطری نیز جهت تأمین نیروی خود استفاده کنند. [۶]

۲-۱۰- تفاوت‌ها و مزایای LED برای استفاده در معادن

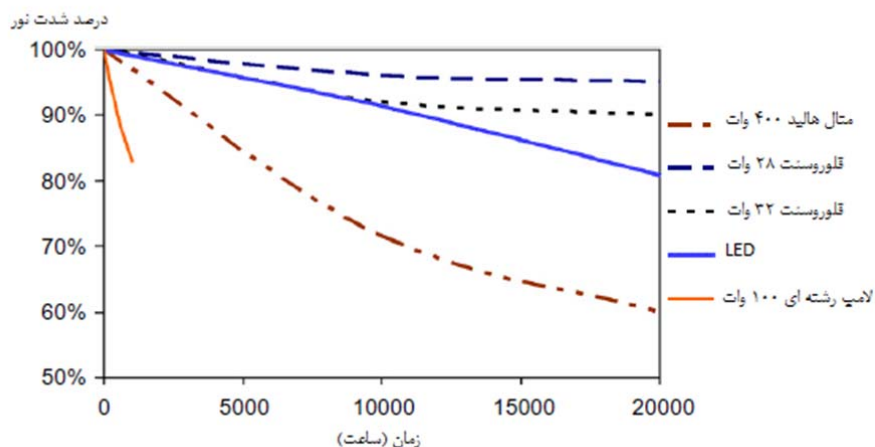
چراغ‌های LED (از نظر نورسنجی و خصوصیات مصرف انرژی) بسیار متفاوت هستند. LED ها به طور متوسط دارای طول عمر بالایی هستند و به همین نسبت نیاز کمتری به تعویض چراغ دارند. طول عمر

¹⁵ PWM: Puls Width Modulation

لامپ به این دلیل اهمیت دارد که تعداد دفعات تعویض و فعالیتهای موردنیاز برای یک سیستم نگهداری را مشخص می‌کند. یک سیستم روشنایی LED با توجه به شرایط ساخت می‌تواند به راحتی عمر مفید بالای ۵۰۰۰ ساعت داشته باشد، در صورتی که عمر یک لامپ رشته‌ای حدود ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ ساعت و عمر یک لامپ متال هالید (القایی) حدود ۷۵۰۰ تا ۲۰۰۰۰ ساعت است.

البته LED تفاوت‌های دیگری هم با تکنولوژی‌های فعلی معادن دارد. ساختار LED در یک بافت رزینی قرار دارد و در آن از هیچ بافت شیشه‌ای استفاده نشده است، بنابراین در صورت خرابی هیچ گونه جرقه‌ای ایجاد نمی‌کند. چراغ‌های LED به یکباره دچار خرابی نمی‌شوند بلکه به صورت تدریجی نور خود را از دست می‌دهند. عمر LED به ساعت‌های روشن بودن آن وابسته است به طوری که قابل محاسبه است که یک LED به ازای هر ساعت کارکرد چه می‌زان از نور خود را از دست می‌دهد. صرف عمل روشن و خاموش کردن LED تأثیری در عمر چراغ ندارد.

در مصارف روشنایی عمومی تا زمانی که LED ۳۰ درصد از روشنایی خود را از دست بدهد از نظر اکثر افراد نور فضای محیطی لامپ قابل قبول است و این آستانه عمر مفید LED را مشخص می‌کند [۶،۷]. همچنین LED مصرف برق کمتری نسبت به چراغ‌های هالوژن و رشته‌ای دارد. مصرف انرژی در وسایل متحرک از این نظر اهمیت دارد که هر چه می‌زان مصرف کاسته شود، از اندازه و وزن منبع تأمین انرژی (باتری یا ژنراتور) نیز کاسته می‌شود [۶]. مصرف انرژی با بازدهی تناسب دارد. بازدهی انواع لامپ‌ها مطابق با جدول ۲-۵ قابل مقایسه است. برای نشان دادن بازدهی انرژی در این لامپ‌ها از لومن بر وات استفاده شده است که نشانگر تقسیم واحد خروجی بر واحد ورودی است.



شکل ۲-۷- نمودار مقادیر روشنایی متناسب با عمر چراغ‌های مختلف مورد استفاده در معدن [۱۰]

جدول ۲-۵- بازدهی انواع لامپ‌ها [۱۰]

بازده نور (Lm/w)	نوع چراغ
۱۰-۱۸	رشته ای
۱۵-۲۰	هالوژن
۳۵-۶۰	فلوروسنت فشرده
۵۰-۱۰۰	فلوروسنت
۵۰-۹۰	متال هالاید
۴۷-۶۴	LED Cool
۲۵-۴۴	LED Warm

۲-۱۱- اجزای پروژکتور LED

الف-دیود: دیود مورد استفاده در این پروژکتورها از نوع تک پاور (وات)، با ولتاژ مصرفی ۲.۳ ولت dc و ۳۵۰ میلی آمپر، با نور دهی ۱۴۰ لومن در ۳۲۰۰k است که در ۲ نوع زردار و بدون زرنر یافت می-شود.

• LED زردار: از آنجا که در مدار (PCB) دیودها به صورت موازی با یکدیگر قرار می‌گیرند، در صورت سوختن هر یک از دیودها مدار چراغ قطع شده و به همین علت در مدار پروژکتورهایی که از تعداد بالای دیود استفاده می‌شود معمولاً از دیودهای زردار استفاده می‌کنند تا دیود در

صورت سوختن نیز جریان الکتریکی را از خود عبور دهد تا کل پروژکتور به دلیل سوختن یک دیود دچار خاموشی کامل نشود و افت نور حاصل از سوختن یک LED تأثیر چندانی بر میزان نور دهی کل پروژکتور نداشته باشد [۷].

درجه کلومین نور LED از ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ قابل انتخاب است، که در بازه ۳۰۰۰ تا ۳۴۰۰ نور چراغ سفید آفتابی، در بازه ۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰ نور چراغ سفید طبیعی، از ۶۰۰۰ تا ۷۵۰۰ نور سفید یخی و از ۷۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ نور چراغ سفید یخی با میل به آبی است.

• LED بدون زنر: اغلب LEDهای موجود بدون زنر هستند. از آنجایی که این مدل دیود قیمت پایین تری به نسبت دیود زنردار دارد، در تولید چراغ‌های LED با وات مصرفی کم بسیار استفاده می‌شود. مثلاً در یک چراغ ۳ وات برای مصرف خانگی از این مدل دیود استفاده می‌شود، زیرا خاموشی یک LED تأثیر زیادی در شدت روشنایی چنین چراغی دارد و یک چراغ خاموش نمای بهتری از یک چراغ نیم‌سوز دارد [۷].

ب- درایور: منبع تغذیه مورد استفاده چراغ‌های LED درایور است که تفاوت‌های قابل توجهی با ترانس دارد. درایور مورد استفاده در چراغ‌های LED متناسب با تعداد و نحوه قرارگیری LEDهای مورد استفاده در مدار انتخاب می‌شود. خصوصیت اصلی درایور، قابلیت تغییر ولتاژ خروجی متناسب با مصرف کننده است. در ترانس‌های مورد استفاده در سایر وسایل الکتریکی ولتاژ خروجی ثابت و آمپر متناسب با نیاز مصرف کننده تغییر می‌کند، ولی در درایور برعکس است و جریان ثابت و متناسب با تعداد LED مورد استفاده در مدار سری ولتاژ خروجی در بازه‌ای خاص تغییر می‌کند [۷].

برای مثال درایوری که دارای مشخصات زیر است، قابلیت دارد ۴ تا LEDV را که به صورت سری روی یک مدار روشن کند:

Input: Ac 85-265V 50/60 Hz
Output: Dc 12-24 V 320 mA +/- 5mA
Tc: 75 TA: 50 c (max)

درایورها در دو مدل عرضه می‌شوند:

۱- درایورهای دارای استاندارد IP ۲- درایورهای فاقد استاندارد IP

دراپورهای دارای استاندارد در ۲ مدل IP۶۷ و IP۵۴ ارائه می‌شوند. در استاندارد IP عدد اول مربوط به درجه حفاظت در مقابل گرد و خاک و عدد دوم مربوط به حفاظت در مقابل نفوذ آب است.

دراپورهای IP۶۷ دارای روکش رزین ضد آب و خاک هستند که از نفوذ رطوبت به مدار دراپور جلوگیری می‌کند. دراپورهای IP۵۴ دارای قاب پلاستیکی هستند.

ج-PCB: همان مدار و محل قرار گیری LED است که معمولاً از جنس آلومینیوم و مس تهیه می‌شود و به صورت سری طراحی و چاپ می‌شود. در پروژکتورهای با توان مصرفی بالاتر از ۲۰ معمولاً PCB دارای ۲ مدار سری است که نسبت بهم موازی هستند.

د- هیت‌سینک^{۱۶}: از آنجایی که حرارت تأثیر زیادی بر عمر مفید LED دارد و در صورتی که حرارت ایجاد شده توسط هر یک از LEDها به درستی از مدار PCB خارج نشود به شدت عمر دیود را کاهش می‌دهد، به همین منظور در پشت PCB از هیت‌سینک استفاده می‌شود. در صورتی که از PCB در داخل قاب استفاده شود، دقت در انتخاب قاب پروژکتوری که دارای هیت‌سینک مناسب باشد، الزامیست [۷].

ه- خمیر سیلیکون: جهت انتقال حرارت از PCB به هیت‌سینک از خمیر یا چسب سیلیکون استفاده می‌شود [۷].

۲-۱۲- معرفی نرم افزار DIALux

دبالوکس^{۱۷} یک نرم افزار حرفه‌ای و رایگان برای محاسبه و طراحی سیستم‌های روشنایی و نورپردازی داخلی و خارجی است (شکل ۲-۸). قابلیت ورود برنامه‌های CAD و خروجی به آن‌ها در این نرم افزار فراهم شده است و دارای محاسبات دقیقی برای تمامی پارامترهای نوری است.

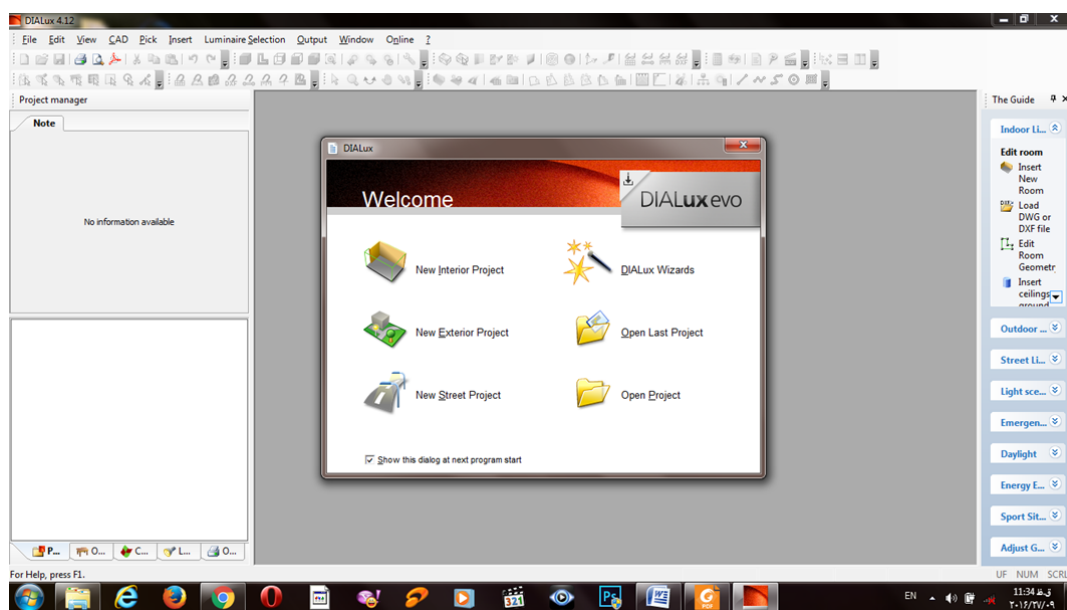
¹⁶ Heatsink

¹⁷ DIALux

این نرم افزار انرژی مورد نیاز برای فضای مورد نظر را محاسبه کرده و از کلیه مقررات بین المللی در زمینه روشنایی پشتیبانی می کند.

امکان شبیه سازی روشنایی برای محیط های داخلی، خارجی و جاده ها وجود دارد. به طور دقیق و حرفه ای تمام پارامترهای روشنایی را برای محیط های داخل، خارج، جاده ها و تونل ها محاسبه و طراحی می کند و نتایج خروجی دقیق و قابل اعتمادی تولید می کند.

طراحان نورپردازی می توانند با توجه به خروجی های نرم افزار محاسبات و طراحی های خود را انجام دهند. امکان انتخاب بین هزاران محصول روشنایی (لامپ، پروژکتورهای LED، چراغ های خیابانی، چراغ های روشنایی سقفی و دیواری و...) از شرکت های معتبر به همراه توضیح کامل و تمام مشخصات تکنیکی و نوری شامل: پترن تشعشعی، توان، شدت و چگالی نور، منحنی های فوتومتریک و دیگران روشنایی در نرم افزار فراهم شده است.



شکل ۲-۸- نرم افزار دیالوکس

۲-۱۲-۱- روش کار نرم افزار DIALux

۱- شبیه سازی محیط: با توجه به ابعاد فضا شامل طول، عرض، ارتفاع و پارامترهایی مانند: جنس،

رنگ و ضرایب انعکاس سطوح (شکل ۲-۹)

۲- انتخاب چراغ: باتوجه به نوع لامپ، کاربری چراغ برای فضای مورد نظر، ابعادچراغ مورد نیاز و

در نظر گرفتن بحث بهینه سازی در مصرف انرژی

در صورتی مشخصات چراغ انتخابی قبلا در کالاتوگ های نرم افزار موجود نباشد، باید جهت تهیه

منحنی پخش نور چراغ توسط نرم افزار، اطلاعات نور سنجی دستی چراغ وارد گردد.

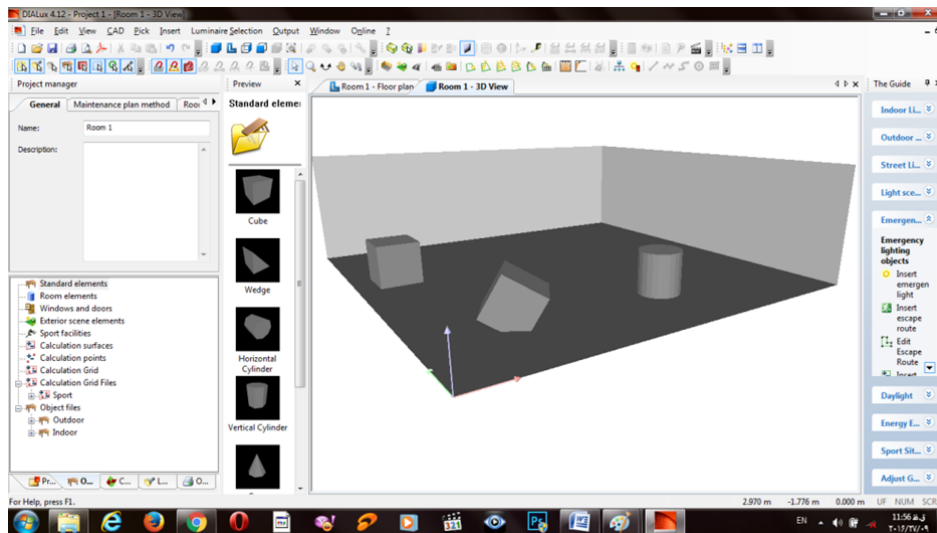
۳- چیدمان چراغ: باتوجه به ابعاد محیط و چیدمان وسایل و تجهیزات و سطوح کارهای مختلف

۴- محاسبات: شروع محاسبات توسط نرم افزار با توجه به منحنی پخش نور، شارش خروجی

چراغ ها و ... انجام می شود و بعد از لحاظ نمودن ضرایب انعکاس سطوح، ضرایب نگهداری و

سایر عوامل موثر در نور پردازی نتایج اعلام می شود.

۵- مسند سازی: گرفتن گزارش طراحی روشنایی.



شکل ۲-۹- شبیه سازی محیط توسط نرم افزار دیالوکس

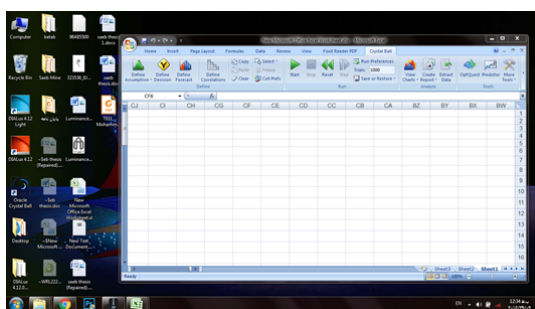
۲-۱۲-۲- مزایای استفاده از نرم افزار DIALux

- ۱- شبیه‌سازی ساده و دقیق با نتایج قابل استناد براساس استانداردهای روز دنیا
 - ۲- امکان ورود فایل نقشه از نرم افزار اتوکد (.Dwg, .Dxf).
 - ۳- امکان ورود فایل سه بعدی با پسوند 3Ds.
 - ۴- امکان ورود فایل سطوح با جنس متفاوت
 - ۵- امکان ورود فایل نور سنجی چراغ های متفرقه
 - ۶- امکان استفاده از نور روز در طراحی روشنایی
 - ۷- امکان طراحی براساس روشنایی هوشمند (کنترل هوشمند چراغ‌های کاربردی)
 - ۸- امکان خروجی گرفتن از محل دقیق چراغ‌ها، میزان شدت روشنایی و... به نرم افزار اتوکد
 - ۹- امکان خروجی گرفتن به صورت عکس از محیط سه بعدی
 - ۱۰- امکان خروجی گرفتن به صورت فیلم با توجه به رنگ نور و میزان شدت روشنایی در هر محیط
 - ۱۱- امکان برآورد میزان شدت نور در کل پروژه
 - ۱۲- امکان تهیه لیست کل چراغ‌های موجود در پروژه به همراه مشخصات کامل هر چراغ برای استفاده در برنامه دوره‌ای تعمیر و نگهداری
 - ۱۳- استفاده از نرم افزار اصلی به صورت رایگان
 - ۱۴- امکان طراحی روشنایی با استفاده از فایل نورسنجی و مشخصات چراغ‌های تولیدکنندگان
- مطرح دنیا
- ۱۵- امکان بروزرسانی کاتالوگ الکترونیکی محصولات سازندگان رسمی ثبت شده در شرکت

DIAL GmbH

۲-۱۳- معرفی نرم افزار Crystal ball

نرم افزار کریستال بال یکی از نرم افزارهای گرافیکی است که در محیط نرم افزار Excel به کاربر در مورد پیش بینی و نیز آنالیز ریسک کمک می کند (شکل ۲-۱۰). به عبارت دیگر با استفاده از این نرم افزار می توان عدم قطعیت های آینده را آنالیز نمود و تصمیمات مدیریتی را بهره ور کرد. با استفاده از شبیه سازی که این نرم افزار انجام می دهد. کاربر می تواند جواب سوالاتی همچون "این پروژه با چه احتمالی در محدوده زمان و هزینه تعریف شده انجام می شود؟" و "احتمال کدام پیش فرض ها بیشتر است و پروژه به کدامیک حساس تر است؟" و... را پیدا کند. با استفاده از نرم افزار کریستال بال کاربر می تواند با اطمینان بیشتر، مؤثرتر و نیز دقیق تر تصمیم سازی و یا تصمیم گیری کند. این نرم افزار نسبت به سایر نرم افزارهای آنالیز ریسک و پیش بینی و همچنین شبیه سازی کاربر پسندتر بوده و می توان به آسانی بر آن مسلط شد. نرم افزار کریستال بال برای مدیران ساخته شده است. طیف وسیعی از کاربران می توانند از آن استفاده کنند و انواع زیادی از صفحه گسترده^{۱۸}ها را پشتیبانی می کند. شما برای استفاده از کریستال بال احتیاج به دانش پیشرفته آمار یا کامپیوتر ندارید. تنها کفایت استفاده از کامپیوتر و مدل سازی با صفحه گسترده ها را بلد باشید.



شکل ۲-۱۰- نرم افزار کریستال بال

Spreadsheet: به صفحات جدول بندی شده که قابلیت انجام محاسبات ریاضی را دارند صفحه گسترده می گویند¹⁸

۲-۱۳-۱- روش کار نرم افزار Crystal ball

در نتیجه فرآیند پایه‌ای استفاده از کریستال بال به این صورت است:

۱- مدل سازی یک سناریو با عدم قطعیت‌ها

۲- شبیه سازی مدل تعریف شده

۳- تحلیل نتایج

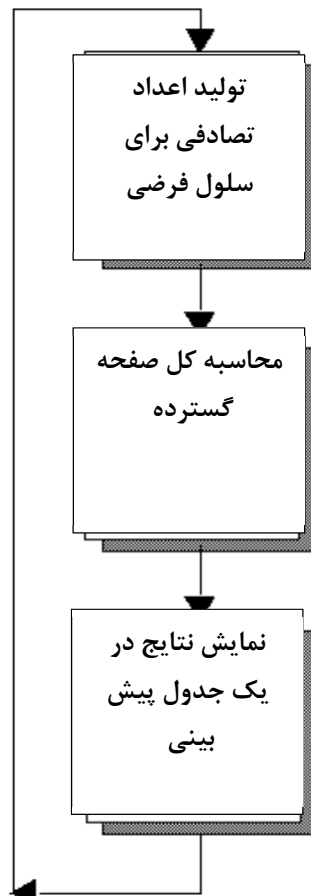
با این که مدل های کریستال بال به سادگی نتایج قوی‌ای را در اختیار می‌گذارند؛ اما نیاز به داده‌ها و هدایت کننده‌هایی هم در این راه هست. کریستال بال بسته به نوع داده‌ها نتایج متفاوتی را تولید می‌کند. برای رسیدن به بهترین نتایج، باید تعدادی از سلول‌های داده را به عنوان فرض تعریف کرده و تعدادی را به عنوان نتایج پیش بینی تعریف کنید. وقتی این سلول‌ها را مشخص نمودید؛ کریستال بال با استفاده از شبیه سازی مونته کارلو می‌تواند یک شبیه‌سازی مطابق با دنیای واقعی و با پیچیدگی‌های واقعی به شما ارائه دهد. [۱۲]

برای تولید هر شبیه سازی، این مراحل طی می‌شود (شکل ۲-۱۱):

۱- به ازای هر سلول حاوی داده‌های پیشفرض، یک عدد تصادفی در بازه تعریف شده تولید می‌شود.

۲- Spreadsheet دوباره محاسبه می‌شود

۳- از هر سلول پیش‌بینی یک عدد استخراج شده و به پنجره پیشفرض‌ها اضافه می‌شود



شکل ۲-۱۱- روش کار کریستال بال [۱۲]

این یک فرآیند بازگشتی است که آن قدر ادامه پیدا می کند تا:

الف- شبیه سازی به یک معیار محدود کننده برخورد کند

ب- خود شما شبیه سازی را متوقف کنید

جدول نهایی پیش بینی ها، مجموع بازه های عدم قطعیت سلول های پیش فرض را به نمایش می گذارد. در نظر داشته باشید که شبیه سازی مونته کارلو، تنها یک نمایش تقریبی از دنیای واقعی است. وقتی مدل ها را شبیه سازی کردید، باید طبیعت مسئله پیش رو را به خوبی بررسی کنید و مجدداً مدل های خود را بهبود بخشید. [۱۲]

۲-۱۳-۲- مزایای استفاده از نرم افزار Crystal ball

صفحه گسترده‌ها دارای دو محدودیت اصلی هستند:

۱- تنها امکان تغییر داده‌های یک سلول در آن واحد وجود دارد. در نتیجه مرور طیف تمامی نتایج ممکن بسیار زمان‌بر و تقریباً غیر ممکن است و شما هرگز نمی‌توانید تمام ریسک‌هایی که بر پروژه‌تان تأثیر می‌گذارند را بررسی کنید.

۲- تحلیل "اگر- آنگاه" به شما نتایج نقطه‌ای می‌دهد که در آن فقط به تخمینی از یک موقعیت می‌رسید. و نمی‌توانید تخمین بزنید که هر موقعیت چقدر امکان وقوع دارد. با اینکه تحلیل‌های نقطه‌ای به شما نشان می‌دهند که چه چیز ممکن است؛ این را مشخص نمی‌کنند که چه چیزهایی محتمل هستند.

کریستال‌بال کمک می‌کند شما بر هر دوی این محدودیت‌ها فائق بیایید:

شما می‌توانید یک محدوده از داده‌ها را به هر سلول دارای عدم قطعیت اختصاص دهید. در واقع هر یک از موقعیت‌های فرضی که تعریف می‌کنید را می‌توانید به طور کامل در یک مرحله بررسی کنید. برای مثال: شما می‌توانید هزینه تلفنتان را در ماه‌های آینده در محدوده \$۲۵۰۰ تا \$۳۵۰۰ در نظر بگیرید به جای اینکه از یک عدد نقطه‌ای مانند \$۳۰۰۰ استفاده کنید. کریستال‌بال کل نتایج را در این محدوده برای شما شبیه سازی خواهد کرد.

با استفاده از فرآیند شبیه سازی مونته کارلو^{۱۹}، کریستال‌بال کل محدوده نتایج ممکن را در یک جدول پیش‌بینی خلاصه کرده و احتمال وقوع هر نتیجه را به نمایش می‌گذارد. [۱۲]

بعلاوه، کریستال‌بال نتایج هر سناریو را برای شما نگه می‌دارد تا بتوانید سناریوهای مختلف را با هم مقایسه کنید. [۱۲]

به طور خلاصه، کریستال‌بال یک ابزار تحلیلی است که به مدیران اجرایی، تحلیل‌گران و دیگران امکان تصمیم‌گیری بر اساس مدل‌سازی‌ها در صفحه گسترده‌ها را می‌دهد. پیش‌بینی‌های حاصل از این شبیه سازی‌ها به کمک ما می‌آیند تا محدوده‌های ریسک را به صورت کمی به نمایش گذاشته و به

¹⁹ Monte Carlo

تصمیم گیران این اجازه را می‌دهند که تمام اطلاعات لازم برای یک تصمیم منطقی را در اختیار داشته باشند.

۲-۱۴- پیشینه تحقیق

همان‌طور که مطرح شد، بحث درباره استفاده از LED در معادن و فضاهای زیرزمینی، سابقه چندانی ندارد. با این حال ارزیابی LED از منظر ایمنی، فنی و اقتصادی و همچنین مقایسه LED با سایر سیستم‌های روشنایی معدن، موضوع مورد مطالعه چند مقاله بوده است.

یکی از مهم‌ترین مباحث پیرامون استفاده از LED در معادن، مسئله اثرگذاری آن بر افزایش ایمنی است. چون جلوگیری از خطر در معدن بر سه مؤلفه «روش‌های امن»، «سیستم‌های نظارت بر ایمنی» و «لوازم امن» استوار است [۸]، روشنایی به عنوان یکی از لوازم کار معدن می‌تواند نقش مؤثری بر کاهش خطرات داشته باشد. به همین دلیل آثار به کار بردن LED در ایمنی ناشی از روشنایی عمومی و فردی در برخی مطالعات مورد توجه قرار گرفته است.

در سال ۲۰۱۰، ینچک^{۲۰} و سامارکو^{۲۱} در مقاله‌ای با عنوان «اثر احتمالی نورپردازی با LED بر کاهش جراحات معدن کاری در زمان عملیات و در زمان تعمیر و نگهداری» نقش LED را بر افزایش ایمنی در معدن بررسی کردند. مطابق با تحقیقات این دو نفر، LED به دلیل آن که به یکباره خاموش نمی‌شود و نور خود را به صورت یک روند کاهشی از دست می‌دهد، در افزایش ایمنی در زمان عملیات بسیار مؤثر است. خاموشی ناگهانی در حین عملیات خطرات فراوانی به همراه دارد و بنابراین هر سیستم روشنایی که ناگهان از کار نیفتد در معادن نقش مهمی ایفا خواهد کرد. از سوی دیگر در این مقاله اشاره شده است که LED به تعمیر و نگهداری کمتری نیاز دارد و در نتیجه خطرات عملیات تعمیر را نیز کاهش می‌دهد [۹].

²⁰ Yenchek

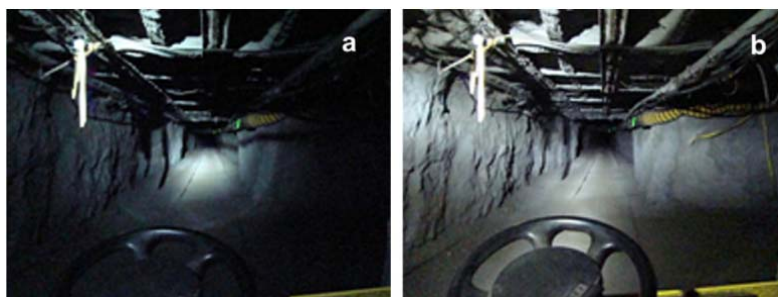
²¹ Sammarco

در مقاله‌ای دیگر با عنوان «اثر نورپردازی LED روی کلاه ایمنی بر کنترل پوسچر و تعادل» که سال ۲۰۱۲ منتشر شد، محققان اثرات LED به عنوان یک شیوه روشنایی فردی را مورد بحث قرار داده‌اند [۸]. در واقع محوریت این مقاله نیز بررسی ایمنی است، چرا که پوسچر از یکسو بر سلامت فردی معدن‌کار اثر بسیاری دارد و از سوی دیگر تعادل، تمرکز و حرکات فرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در ایجاد یا جلوگیری از خطر حائز اهمیت است.

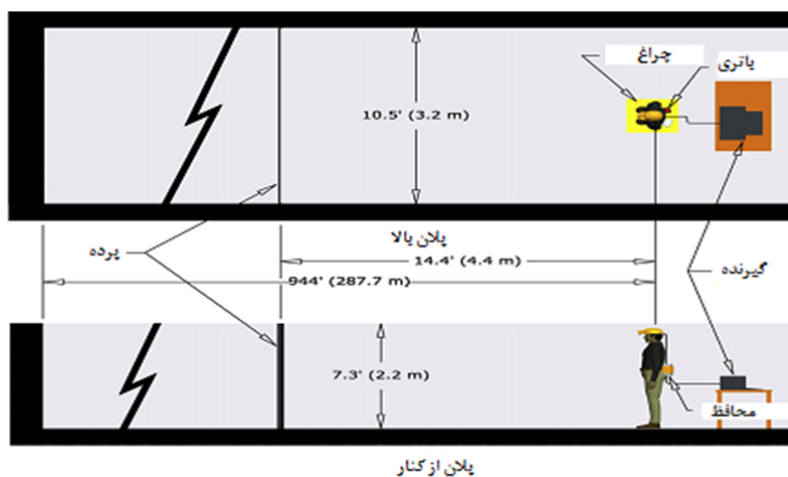
در این مقاله بررسی‌های سازمان ایمنی و بهداشت معدن آمریکا (MSHA)^{۲۲} از تصادف‌های موجود گزارش شده است. با استخراج میزان و ماهیت تصادفات مربوط به زمان تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی بین سال ۲۰۰۲ و ۲۰۰۶ مشخص شده است ۱۴۰ مورد حادثه در زمان انجام تعمیر و نگهداری در معادن آمریکا اتفاق افتاده که در نتیجه آن ۳۶۶۸ روزکاری از بین رفته و ۹۲۵ روز محدودیت فعالیت ایجاد شده است. گزارش این حوادث بررسی شده‌اند تا مشخص شود آیا نورپردازی با LED شدت و تعداد آن‌ها را کاهش می‌دهد و بر اساس این بررسی‌ها چراغ‌های هدایت طراحی مجدد شده‌اند تا مورد آزمایش قرار گیرند [۸].

مطابق با نتایج این مقاله، استفاده از چراغ‌های LED به دلیل ایجاد شدت روشنایی مطلوب، جلوگیری از ایجاد خیرگی و کاهش اندازه و وزن تجهیزات روشنایی فردی (حذف کابل برق اتصال باتری از کمر کارگر تا چراغ متصل روی کلاه) می‌تواند نقش مؤثری در ایجاد فضایی امن داشته باشد. چراغ LED شعاع نوری قابل تنظیمی در اختیار قرار می‌دهد و با تنظیم نور، از ایجاد خیرگی در فضاهای تاریک معدنی جلوگیری می‌کند. بنابراین با استفاده از این چراغ‌ها، ایمنی کارگران به میزان قابل ملاحظه‌ای ارتقا می‌یابد (شکل ۲-۱۲ و ۲-۱۳) [۸]. در بخش نتیجه‌گیری این مقاله آمده است که در بلند مدت و یک بازه‌ی ۵ ساله، استفاده از چراغ‌های LED سبک و کم مصرف به افزایش ایمنی در معدن کمک می‌کند [۸].

²² Mine Safety & Health Administration



شکل ۲- ۱۲- مقایسه و نمایش نور حاصل از دو نوع چراغ LED تعبیه شده در کلاه ایمنی [۸]



شکل ۲- ۱۳- اندازه‌گیری دید نزدیک و دور حاصل از LED تعبیه شده در کلاه ایمنی [۸]

اما در حالیکه این دو مقاله با محوریت ایمنی LED را مورد بررسی قرار داده‌اند، در مقاله‌ای دیگر با عنوان «ارزیابی فنی و اقتصادی نورپردازی LED و فلوروسنت معدن کاری زیرزمینی»، LED از منظر مشخصات فنی و ترجیحات اقتصادی تحلیل شده است. این مقاله که در سال ۲۰۱۵ منتشر شده است، برای برنامه‌ریزی و طراحی سیستم روشنایی فاز جدید پیش‌روی در معدن کودلکو^{۲۳}، بزرگترین معدن مس زیرزمینی در جهان، LED را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. تمایل به بررسی استفاده از LED در این معدن متأثر از آن بوده که شیلی دارای رتبه سیزدهم گران‌ترین قیمت انرژی (به طور متوسط ۱۵۰ دلار بر مگاوات ساعت) در جهان است و به همین دلیل افزایش بهره‌وری مصرف در این کشور اهمیت بالایی دارد [۱۰].

²³ CODELCO

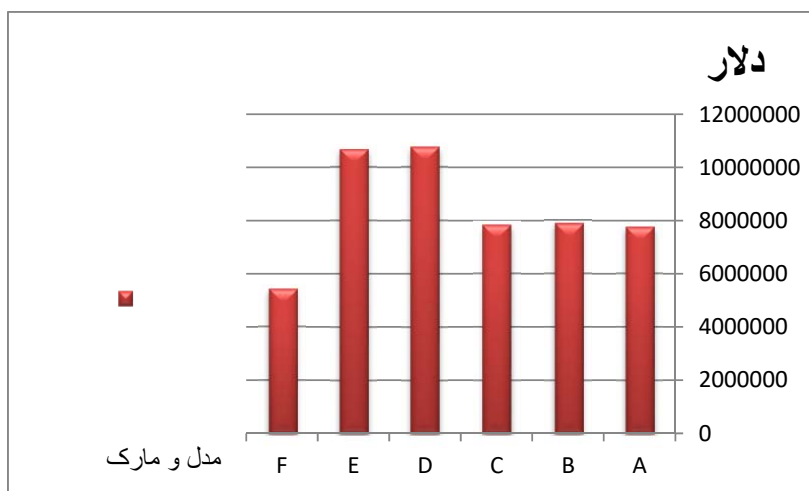
بر این اساس در این مقاله ابتدا ۳ برند LED و ۳ برند فلوروسنت برای آزمایش انتخاب شده‌اند و نورپردازی فضای معدن با DIALux ارزیابی شده است. جدول ۲-۶ نتایج ارزیابی فنی ۶ چراغ مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۶- نتایج ارزیابی اولیه مقایسه LED و فلوروسنت در تحقیقات معدن کودلکو [۱۰]

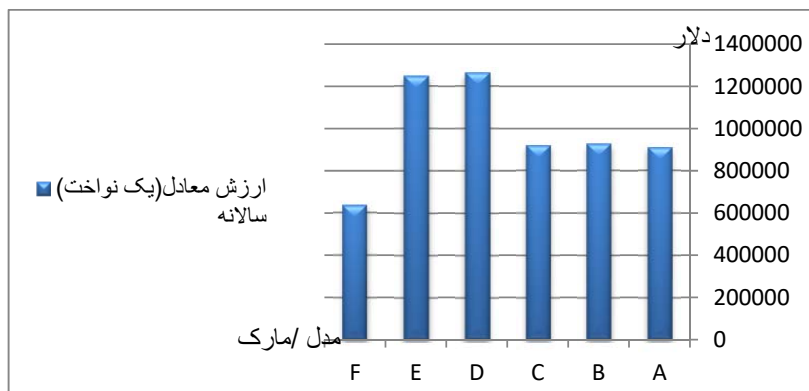
مارک / برند	شدت نور (lm)	توان مصرفی (W)	بازده نوری (lm/w)	عمر مقید	قیمت (دلار)
فلوروسنت					
A	۴۲۱۴	۷۹	۵۳	۱۲۰۰۰-۲۰۰۰۰	۶۳
B	۴۵۶۷	۷۹	۵۸	۱۲۰۰۰-۱۸۰۰۰	۷۹
C	۴۸۷۱	۷۹	۶۲	۱۲۰۰۰-۱۸۰۰۰	۷۱
LED					
D	۳۷۱۴	۴۰	۹۳	۵۰۰۰۰	۳۸۳
E	۳۳۱۹	۵۳	۶۳	۱۰۰۰۰۰	۵۲۷
F	۳۵۵۶	۳۸	۹۴	۶۰۰۰۰	۱۳۴

ارزیابی فنی این مقاله مشخص کرده است که چراغ‌های فلوروسنت نسبت به چراغ‌های LED شدت روشنایی بیشتری دارند، ولی مصرف برق چراغ‌های LED کمتر است. در این مقاله معیاری با تقسیم شدت روشنایی بر وات مصرفی جهت مقایسه تعریف شده است که در نهایت با در نظر گرفتن آن و توجه به عمر چراغ‌ها، LED از لحاظ فنی مطلوب‌تر اعلام شده است [۱۰].

در ارزیابی اقتصادی، محققان مقاله هزینه و ارزش زمان حال (PVC) و هزینه سالانه (EAC) را مقایسه کرده‌اند (شکل ۲-۱۴ و ۲-۱۵).



شکل ۲-۱۴- نمودار مقایسه هزینه زمان حال LED (D,E,F) و فلوروسنت (A,B,C) در تحقیقات معدن کودلکو [۱۰]



شکل ۲-۱۵- نمودار مقایسه هزینه معادل سالانه LED (D,E,F) و فلوروسنت (A,B,C) در تحقیقات معدن کودلکو [۱۰] بر طبق نتایج ارزیابی اقتصادی مقاله مذکور، تنها یکی از برندهای LED قابلیت رقابت با فلوروسنت را از حیث سرمایه‌گذاری داشته است، با این حال این برند LED در نهایت با در نظر گرفتن هزینه‌های سرمایه اولیه، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری و برق مصرفی، بر فلوروسنت ترجیح اقتصادی داشته است. محاسبات انجام شده این مقاله نشان می‌دهد که کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری و برق مصرفی برند F از میان LED های مورد نظر پس از یک دوره ۲۰ ساله مبلغ ۵۴۳۰۱۳۵ دلار خواهد بود، در حالیکه این مقدار در صورت استفاده از لامپ های فلوروسنت مبلغ ۷۷۶۸۴۴۴ دلار می‌شود. مطابق شکل ۲-۱۶.



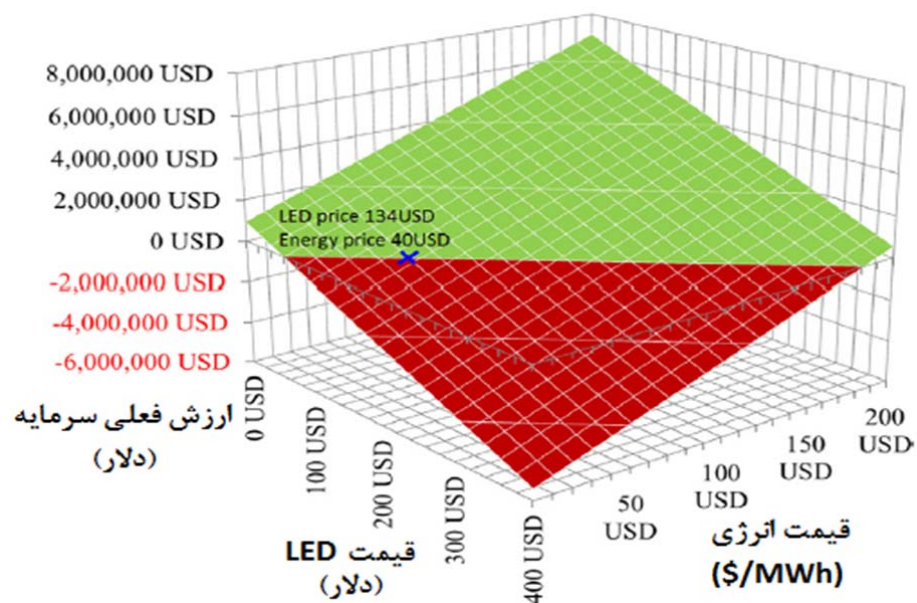
شکل ۲-۱۶- نمودار مقایسه هزینه سالانه LED برند F و فلوروسنت در طول ۲۰ سال در تحقیقات معدن کودلکو [۱۰]

با وجود اختلاف بارز هزینه سالانه LED و فلوروسنت در تحقیقات بر روی معدن کودلکو، تحلیل حساسیت این دو نوع چراغ از منظر اقتصادی نتیجه داده است که تصمیم‌گیری برای استفاده از LED بسیار حساس است. در این تحلیل حساسیت برند F با نمونه‌های فلوروسنت مقایسه شده است. نمودارهای تحلیل حساسیت که یکبار با استفاده از پارامترهای «هزینه انرژی»، «هزینه خرید اولیه» و «PVC» (شکل ۲-۱۷) و یکبار با توجه به پارامترهای «عمر مفید»، «PVC» و «هزینه خرید اولیه» (شکل ۲-۱۸) رسم شده‌اند نشان می‌دهند که به کار بردن چراغ‌های LED در مرز حساسی قرار دارد و می‌بایست به تناسب هر پروژه و هر معدن مجزا مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد [۱۰].

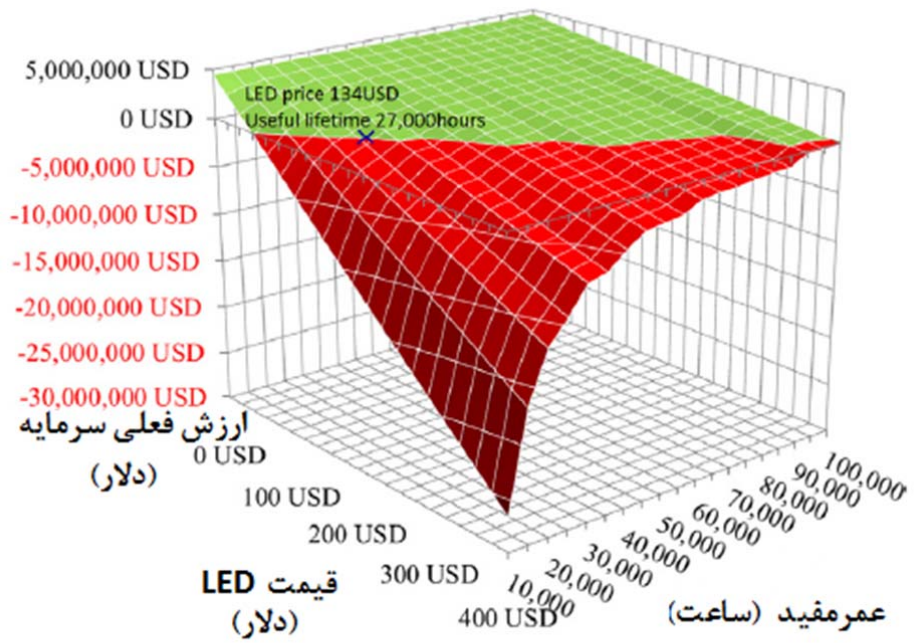
بنابراین می‌توان گفت با وجود آن‌که تکنولوژی LED به سرعت در حال رشد است، به طور مشخص مزایایی چون مصرف انرژی کم، عمر طولانی و نرخ نگهداری کم دارد و می‌تواند در برخی پروژه‌های صنعتی و ساختمانی یک راه حل اقتصادی و مقرون به صرفه باشد، هم‌چنان به دلایل اقتصادی یک راه حل قطعی برای روشنایی همه معادن نیست و در برخی موارد ممکن است استفاده از لامپ‌های فلوروسنت همچنان مقرون به صرفه‌تر باشد.

بر همین اساس برای هر معدن جدید شبیه سازی فضای نورپردازی و انجام محاسبات و تجزیه و تحلیل ضروری است. تحقیق حاضر نیز در این راستا ارزیابی فنی (بررسی میزان نور، طول عمر مفید،

چیدمان و تعداد و فواصل و ... و اقتصادی (صرفه اقتصادی و هزینه‌ها) استفاده از LED را برای معدن کرومیت بندرعباس موضوع پژوهش قرار داده است.



شکل ۲-۱۷- نمودار تحلیل حساسیت استفاده از LED در معدن کودلکو با پارامترهای «هزینه انرژی»، «هزینه خرید اولیه» و «PVC» [۱۰]



شکل ۲-۱۸- نمودار تحلیل حساسیت استفاده از LED در معدن کودلکو با پارامترهای «عمر مفید»، «PVC» و «هزینه خرید اولیه» [۱۰]

فصل سوم

روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

این تحقیق با نام اختصاری تل "TELL" به دنبال آن است که استفاده از LED را به عنوان یکی از شیوه‌های روشن کردن فضای داخلی معادن مورد ارزیابی قرار دهد. برای این ارزیابی، «معدن کرومیت بندرعباس» به عنوان فضای نمونه انتخاب شده است. آزمایش‌های لازم در تونل‌های جدید احداث شده معدن و کارگاه‌های استخراجی انجام گرفته‌اند. تونل‌های این معدن دارای مقطع نعلی شکل، ارتفاع ۵ متر و عرض ۵ متر هستند و کارگاه‌های استخراجی مقطعی مستطیلی و ارتفاع ۵ متر و عرض ۶ متر دارند. در این تونل‌ها و کارگاه‌ها، توانایی LED در تأمین نور استاندارد و دوام نوردهی آن در گذر زمان اندازه‌گیری شده و ارزش خرید LED بر مبنای قیمت اولیه و هزینه‌های تأمین انرژی و تعمیر و نگهداری محاسبه شده است. بنابراین بررسی‌های تحقیق حاضر بر روی LED، از دو منظر اصلی «دوام نور» و «مقرون به صرفه بودن» صورت گرفته است. در این فصل، روش انجام آزمایش‌های لازم برای بررسی این دو مؤلفه، تحت عناوین «ارزیابی فنی» و «ارزیابی اقتصادی» به طور دقیق و گام به گام شرح داده شده است. آنچه در پی می‌آید نتایج فازهای تحقیقاتی ارزیابی فنی به تفکیک و چیدمان شبیه‌سازی شده متأثر از آن و هم‌چنین اطلاعات بدست آمده از مقایسه و ارزیابی‌های اقتصادی سه‌گانه گرید نمونه LED است.

۳-۲- فرضیه‌ها

بر اساس اهداف و مرور تحقیقات پیشین، در نهایت این فرضیه‌ها برای آغاز تحقیق مطرح شده‌اند:

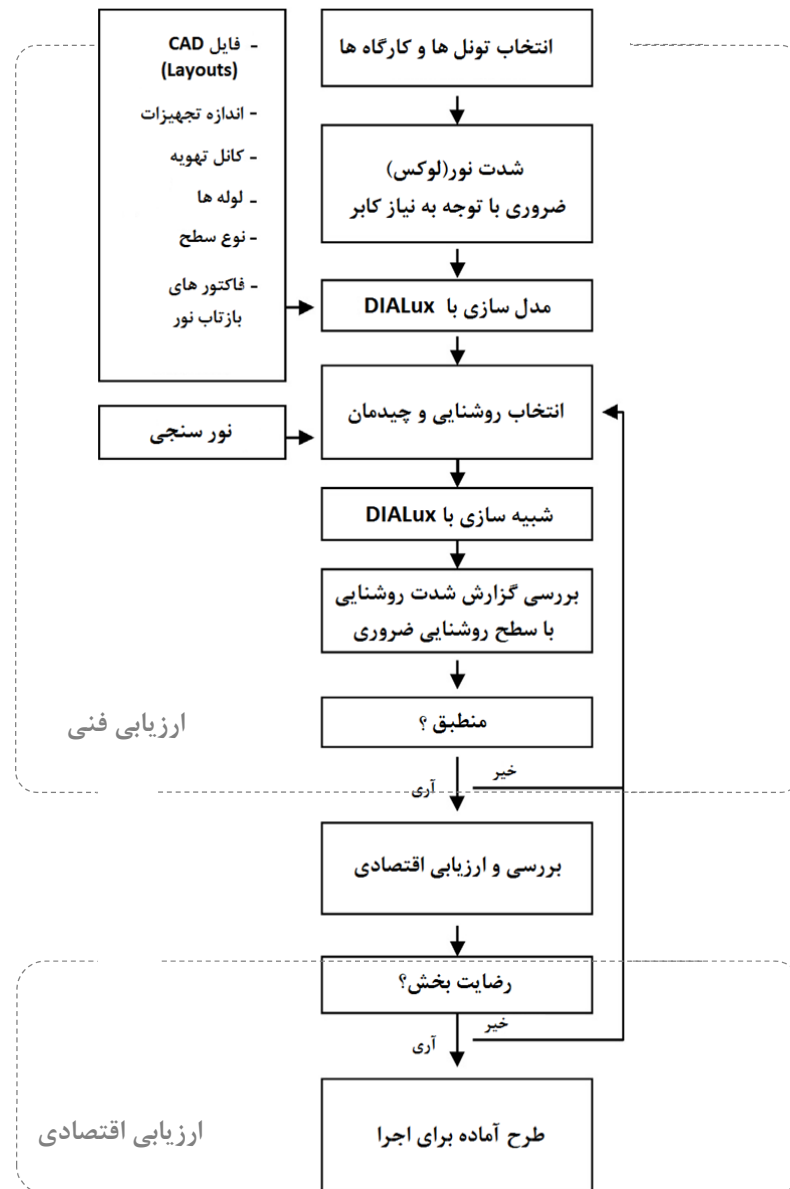
۱- پروژکتورهای LED می‌توانند روشنایی استاندارد مورد نظر معدن را تأمین کنند.

۲- هزینه‌های مصرف انرژی و تعمیر و نگهداری پروژکتورهای LED کمتر از سایر سیستم‌های روشنایی معدن است و در نتیجه قیمت بالاتر خرید LED را جبران می‌کند.

۳- با توجه به داشتن شرایط شدت نور و مقرون به صرفه بودن، LED ها گزینه مناسب‌تری را برای برنامه ریزی نورپردازی معدن در اختیار قرار می‌دهند و می‌توان از مزایای مختلف آن‌ها بدون نگرانی از نتایج بهره‌مند شد.

۳-۳- فرآیند و مراحل ارزیابی

نخستین گام تحقیق، اندازه‌گیری میزان نور حاصل از تعداد قابل قبولی LED در فضای معدن بود تا داده‌های لازم برای مقایسه نوردهی LED با شرایط استاندارد فراهم شود. پس از این آزمایش، دوام نور LED ها در طول زمان ۱۴ ماه مورد ارزیابی قرار گرفت و در مرحله آخر LED ها از منظر اقتصادی بررسی شدند. همان‌طور که در شکل ۳-۱ مشخص است، چیدمان و انتخاب LED ها چنان صورت گرفت تا در نهایت بر اساس تحقیقات با شرایط معدن تطابق داشته باشند. این نمودار مراحل اصلی تحقیق را به طور دقیق نمایش می‌دهد. به طور کلی این مراحل زیر مجموعه‌هایی از دو روش اصلی ارزیابی فنی و ارزیابی اقتصادی هستند که در ادامه تشریح می‌شوند.



شکل ۳-۱- فرآیند تحقیقات [۱۰]

۳-۴- روش ارزیابی فنی

ارزیابی فنی از یکسو برای بررسی تطابق LED با شدت روشنایی ضروری و از سوی دیگر برای جمع‌آوری داده‌های لازم جهت انتخاب روشنایی و طراحی چیدمان مناسب منابع نور معدن صورت گرفت.

به این منظور، تحقیقات در دو فاز انجام شدند:

- فاز اول، شبیه‌سازی کامپیوتری و استفاده از DIALux: آزمایش‌های فنی نورسنجی که در شرایط شبیه‌سازی شده صورت گرفت و تهیه منحنی نوری پروژکتور و استفاده از نرم افزار برای تست توانایی

از لحاظ تأمین شدت نور مطابق با استانداردها.

- فاز دوم، نورسنجی در شرایط واقعی و در طول زمان: آزمایش‌های فنی که در شرایط کارگاهی با هدف تست استقامت پروژکتور در شرایط واقعی (دما، فشار و رطوبت) معدن صورت گرفت و محاسبه افت نور و دفعات تعمیر و نگهداری.

بنابراین ارزیابی فنی هم بر اساس آزمایش‌های تجربی و هم بر اساس شبیه‌سازی با برنامه صورت گرفت. نتایج حاصل بررسی شد تا از هر دو فاز تحقیقاتی در شبیه‌سازی نهایی و طراحی چیدمان LEDها استفاده شود.

۳-۴-۱- شبیه‌سازی کامپیوتری و استفاده از DIALux:

برای طراحی روشنایی اغلب از روش‌های تجربی استفاده می‌شود، اما مهم است که قبل و حین ساخت از یک روش سازگار دیگر نیز برای برنامه ریزی و پیش‌بینی و ارزیابی استفاده شود. بر این اساس، در این تحقیق برای طراحی و انطباق سیستم روشنایی LED، از نرم افزار DIALux استفاده شد. DIALux یک نرم‌افزار مطرح در زمینه محاسبات روشنایی است که تحت حمایت مجموعه بزرگی از شرکت‌های تولیدکننده چراغ و لامپ، به صورت رایگان و بدون محدودیت ارائه می‌شود. توسط این

نرم افزار می توان شدت روشنایی متوسط تولید شده توسط یک سیستم روشنایی را برای رسیدن به یک مقدار خاص در محیط منتخب با توجه به استانداردها و یا نیاز کاربر محاسبه کرد. این نرم افزار جهت محاسبه شدت روشنایی در فضای داخلی ساختمان از روش لومن استفاده می کند. در واقع DIALux به گونه ای نورسنجی هر نقطه و آنگاه میانگین را محاسبه می کند که گویی به صورت عملی اقداماتی برای نورسنجی انجام شده باشد. میانگین روشنایی سطح فضا با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$E_S = \frac{F \times n \times N \times UF \times LLF}{A} \quad (1-3)$$

در این فرمول E میانگین روشنایی سطح، F شدت روشنایی اولیه هر LED بدون لنز برحسب لومن، n تعداد LED در هر پروژکتور، N تعداد پروژکتور، UF ضریب سطح و LLF ضریب افت نور و A مساحت فضاست.

LLF یا ضریب افت نور که در این فرمول استفاده شده است، خود از روش زیر محاسبه می شود:

$$LLF = LLD \times LMF \times RSMF \quad (2-3)$$

در این فرمول LLD ضریب افت نور بر اساس مدت زمان کارکرد پروژکتور، LMF ضریب نگهداری پروژکتور (تمیز 0.9، معمولی 0.8 و کثیف 0.7) و RSMF ضریب سطحی تونل (0.75) هستند. برای قراردادن داده های موردنیاز در این فرمولها و انجام محاسبات و شبیه سازی توسط DIALux، ابتدا مشخصات تونل اندازه گیری شد و از نرم افزار AutoCAD برای ترسیم و شبیه سازی فضای تونل استفاده شد.

۲۰ متر از فضای تونل راه اصلی به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفت. برای ترسیم تونل فضایی با ارتفاع ۵ متر، عرض ۵ متر و به طول ۲۰ متر مطابق پلان شبیه سازی شد.

از نقشه‌های ترسیم شده در نرم افزار DIALux استفاده شد تا بخشی از داده‌های موردنیاز برای ترسیم منحنی توزیع نوری و پراکندگی نوری پروژکتور LED فراهم گردد و سپس شبیه‌سازی چیدمان نور صورت پذیرد.

۳-۴-۲- نورسنجی در شرایط واقعی و در طول زمان

برای این فاز از ارزیابی ابتدا ۳ مدل پروژکتور LED در سه گرید A و B و C با کیفیت و قیمت تمام شده متفاوت تولید شد. پروژکتورهای گرید A حداکثر کیفیت و عمر را داشتند و محدودیتی برای قیمت تمام شده آن‌ها در نظر نبود. تولید پروژکتورهای گرید B به گونه‌ای صورت گرفت که حداکثر کیفیت را به تناسب قیمت تمام شده داشته باشند. تولید پروژکتورهای گرید C با هدف کمترین قیمت تمام شده صورت گرفت. از هر گرید، یک نمونه ۶ وات، یک نمونه ۲۰ وات و یک نمونه ۳۰ وات برای بررسی‌های بعدی ساخته شد.

پس از ساخت، این پروژکتورها جهت آزمایش فنی در تونل‌های اصلی، فرعی و تونل‌هایی با مقاطع مختلف و متناسب با وات مصرفی پروژکتور در شرایط مساوی (فشار ۰.۹ اتمسفر، دمای ۳۰-۴۰ درجه سانتی گراد و رطوبت ۴۵-۷۰ درصد) به مدت ۱۰۰۰۰ ساعت یا ۱۴ ماه به صورت شبانه روزی و بدون خاموشی قرار گرفتند و در روزهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵ هر ماه برای نورسنجی پروژکتور از فاصله یک متری آن اقدام شد. نورسنجی به کمک Lux Meter صورت گرفت.

جدول ۱-۳ تقویم آزمایش‌های صورت گرفته بر روی پروژکتورهای تولید شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- تقویم آزمایش‌های صورت گرفته در فرآیند تحقیقات (بررسی‌های فنی و اقتصادی)

ماه آزمایش	تاریخ	تعداد روز آزمایش	تعداد ساعات کارکرد پروژکتور
ماه ۱	دی ۱۳۹۳	۳۰	۷۲
ماه ۲	بهمن ۱۳۹۳	۳۰	۱۴۴۰
ماه ۳	اسفند ۱۳۹۳	۲۸	۲۱۶۰
ماه ۴	فروردین ۱۳۹۴	۳۱	۲۸۳۲
ماه ۵	اردیبهشت ۱۳۹۴	۳۱	۳۵۷۶
ماه ۶	خرداد ۱۳۹۴	۳۲	۴۳۲۰
ماه ۷	تیر ۱۳۹۴	۳۱	۵۰۶۴
ماه ۸	مرداد ۱۳۹۴	۳۱	۵۸۰۸
ماه ۹	شهریور ۱۳۹۴	۳۱	۶۵۵۲
ماه ۱۰	مهر ۱۳۹۴	۳۰	۷۲۹۶
ماه ۱۱	آبان ۱۳۹۴	۳۰	۸۰۱۶
ماه ۱۲	آذر ۱۳۹۴	۳۰	۸۷۳۶
ماه ۱۳	دی ۱۳۹۴	۳۰	۹۴۵۶
ماه ۱۴	بهمن ۱۳۹۴	۳۰	۱۰۱۷۶

با توجه به عملیات نورسنجی پروژکتورهای داخل تونل در مدت زمان ۱۰۰۰۰ ساعت نمودارهای نورسنجی آن ترسیم گردید، از آنجایی که چراغ‌های LED افت شدت نور دارند، تا ۳۰ درصد افت شدت نور (عمر مفید) از آن‌ها استفاده شد و بعد از آن، نسبت به تعویض و تعمیر پروژکتور اقدام شد. چون عمر مفید پروژکتورهای LED افت نور ۷۰٪ است، مادامی که میزان نوردهی پروژکتور در این محدوده عمر مفید قرار داشت، قبل از نورسنجی سطح شیشه‌ای چراغ تمیز شد و سپس نسبت به عمل نورسنجی اقدام گردید. در صورتی که پروژکتوری خاموش شده بود، مقدار صفر جهت روشنایی آن منظور می‌گشت و در بازه‌ای ۵ روزه تا نورسنجی بعدی، تعمیر و در محل قبلی نصب می‌شد. علل سوختگی پروژکتورها با دقت توسط متخصص بررسی شد و گزارش آن ثبت گردید. در نهایت نتایج نورسنجی‌ها بررسی شد تا مشخص شود کدام گریدهای LED برای شبیه‌سازی نهایی مناسب هستند.

۳-۴-۳- انتخاب روشنایی و چیدمان

بعد از گذشت ۶ ماه از آزمایش، پروژکتورهای مناسب برای سایر آزمایش‌های فنی انتخاب شدند. مشخصات این نوع از پروژکتور وارد فرآیند شبیه‌سازی شد. منحنی توزیع نورسنجی آن‌ها توسط نرم افزار DIALux محاسبه گردید و با استفاده از فایل CAD تهیه شده از فضای تونل راه اصلی و کارگاه استخراجی و با توجه به مقادیر نورسنجی شبیه سازی شده، توانایی این گرید پروژکتور بررسی گردید. از آنجایی که چراغ‌های مورد استفاده فعلی (پروژکتورهای بخار سدیم، بخار جیوه، هلیوم و فلوروسنت) از لحاظ شدت نور خروجی توانسته‌اند استانداردهای لازم کسب و نیاز معادن را برطرف کنند، فقط به مقایسه اطلاعات فنی استخراج شده از دفاتر تعمیر و نگهداری معدن و مطالعات گذشته در این خصوص و اطلاعات نورسنجی مستقیم آن‌ها با پروژکتورهای LED در خصوص پارامترهای (شدت روشنایی، توان مصرفی، بازده نوری خروجی) می‌پردازیم و در نهایت با تخمین عمر مفید چراغ‌های معدن شرایط را جهت ارزیابی اقتصادی فراهم می‌کنیم.

۳-۵- یافته‌های ارزیابی فنی

با توجه به روش تحقیق ارائه شده در فصل سوم نتایج ارزیابی فنی به شرح زیر است.

۳-۵-۱- نتایج نورسنجی LEDها در گذر زمان

همان‌طور که در روش تحقیق به تفصیل توضیح داده شد، سه گرید پروژکتور LED برای انجام آزمایش‌های فنی در معدن نمونه تولید شدند و به مدت ۱۰۰۰۰ ساعت یا ۱۴ ماه در شرایط واقعی و یکسان فشار ۱۰/۹ اتمسفر، دمای ۳۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۵-۷۰ درصد مورد بررسی قرار گرفتند. گریدهای این LEDها بر اساس کیفیت و قیمت بدین صورت تعریف شده بودند:

- گرید A: بالاترین کیفیت صرف نظر از قیمت تمام شده

- گرید B: بالاترین کیفیت ممکن به تناسب و با توجه به قیمت تمام شده

- **گرید C:** پایین‌ترین قیمت تمام شده صرف نظر از کیفیت

از هر گرید، سه نوع LED با وات‌های مصرفی ۶، ۲۰ و ۳۰ مورد مطالعه بودند.

در جدول زیر (۲-۳) شدت روشنایی اولیه این پروژکتورها مشخص شده و کمترین شدت روشنایی عمر مفید (L70) آن‌ها محاسبه شده است.

جدول ۲-۳- شدت روشنایی اولیه و کمترین شدت روشنایی عمر مفید پروژکتورهای نمونه

L70	شدت روشنایی اولیه	پروژکتور	توان مصرفی
۵۲۵	۷۵۰	P6w-A	۶ وات
۵۲۹	۷۵۶	P6w-B	
۵۳۱	۷۵۹	P6w-C	
۹۹۸	۱۴۲۷	P20w-A	۲۰ وات
۱۰۰۴	۱۴۳۵	P20w-B	
۹۹۸	۱۴۲۷	P20w-C	
۱۵۵۶	۲۲۲۴	P30w-A	۳۰ وات
۱۵۶۱	۲۲۳۰	P30w-B	
۱۵۴۸	۲۲۱۲	P30w-C	

برای بررسی افت نور و دوام، میزان نوردهی این پروژکتورها از تاریخ ۵ دی سال ۹۳ تا تاریخ ۳۰ بهمن ۹۴ توسط دستگاه Lux Meter در فاصله ۱ متری از هریک اندازه‌گیری شده است. نتایج این نورسنجی‌ها در جداول ۳-۳ تا ۱۶-۳ آمده است. مواردی که در جداول با رنگ تیره‌تر مشخص شده‌اند، افت نور پایین‌تر از L70 را نمایش می‌دهند. در این شرایط که شدت روشنایی پروژکتور از مقدار L70 کمتر بود، پروژکتور به کارگاه نت (نگهداری و تعمیر) ارسال می‌شد و پیش از نورسنجی بعدی پروژکتور تعمیرشده نصب می‌گردید. در صورتی که چراغ به دلیل ضربه، نفوذ آب و یا نوسان جریان برق دچار سوختگی می‌شد، مقدار شدت روشنایی صفر برای آن منظور می‌گردید و به کارگاه نت (نگهداری و تعمیر) ارسال می‌شد.

جدول ۳-۳- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در دی ماه ۱۳۹۳

زمان های نور سنجی	۱۳۹۳/۱۰/۱۵	۱۳۹۳/۱۰/۱۰	۱۳۹۳/۱۰/۰۵	۱۳۹۳/۱۰/۲۰	۱۳۹۳/۱۰/۲۵
ساعت کاری	۱۲۰	۲۴۰	۲۶۰	۴۸۰	۶۰۰
P _{۶w} -A	۷۵۰	۷۵۴	۷۵۲	۷۵۱	۷۵۰
P _{۶w} -B	۷۵۶	۷۵۲	۷۵۲	۷۵۰	۷۵۱
P _{۶w} -C	۷۵۹	۷۴۵	۷۴۱	۷۴۲	۷۴۰
P _{۲۰w} -A	۱۴۲۷	۱۴۲۰	۱۴۲۸	۱۴۲۵	۱۴۲۴
P _{۲۰w} -B	۱۴۲۵	۱۴۲۱	۱۴۲۰	۱۴۲۲	۱۴۲۹
P _{۲۰w} -C	۱۴۲۷	۱۴۰۱	۱۳۴۵	۱۳۱۶	۱۲۶۷
P _{۲۰w} -A	۲۲۲۴	۲۲۱۲	۲۲۰۱	۲۲۰۷	۲۲۱۶
P _{۲۰w} -B	۲۲۳۰	۲۲۲۸	۲۲۱۷	۲۲۰۴	۲۲۰۰
P _{۲۰w} -C	۲۲۱۲	۲۱۸۹	۲۱۰۱	۲۰۵۶	۱۹۶۷

پس از گذشت ۶۰۰ ساعت، همان طور که در طبق جدول ۳-۳ مشاهده می شود، در ماه اول آزمایش نورسنجی هیچ گونه خاموشی برای پروژکتورهای LED ثبت نشد است و همچنین مقادیر شدت نور به جز گرید C تغییر محسوسی ندارد.

جدول ۴-۳- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در بهمن ماه ۱۳۹۳

زمان های نور سنجی	۱۳۹۳/۱۱/۱۵	۱۳۹۳/۱۱/۱۰	۱۳۹۳/۱۱/۰۵	۱۳۹۳/۱۱/۲۰	۱۳۹۳/۱۱/۲۵
ساعت کاری	۸۴۰	۹۶۰	۱۰۸۰	۱۲۰۰	۱۳۲۰
P _{۶w} -A	۷۵۶	۷۵۵	۷۴۹	۷۴۸	۷۴۴
P _{۶w} -B	۷۴۸	۷۴۲	۷۴۱	۷۴۴	۷۴۷
P _{۶w} -C	۷۳۷	۷۳۵	۷۳۹	۵۶۷	۷۴۰
P _{۲۰w} -A	۱۴۲۰	۱۴۲۶	۱۴۲۹	۱۴۲۱	۱۴۲۵
P _{۲۰w} -B	۱۴۲۰	۱۴۱۹	۱۴۱۷	۱۴۲۸	۱۴۲۰
P _{۲۰w} -C	۱۱۸۹	۱۰۶۷	۱۰۱۴	۹۹۰	۱۴۲۳
P _{۲۰w} -A	۲۱۹۸	۲۱۸۵	۲۱۷۳	۲۱۶۷	۲۱۵۷
P _{۲۰w} -B	۲۱۹۷	۲۱۸۵	۲۱۶۳	۲۱۶۱	۲۱۵۷
P _{۲۰w} -C	۱۸۹۸	۱۸۰۱	۱۷۲۳	۱۶۵۲	۱۵۷۸

پس از گذشت ۱۳۲۰ ساعت از شروع آزمایش نورسنجی مطابق جدول ۴-۳ در ماه دوم نیز همچنان هیچ خاموشی ثبت نشد ولی افت شدت نور پروژکتورهای ۶وات و ۲۰وات گرید C و در ساعت کاری

۱۲۰۰ ساعت از سطح مجاز کمتر شد که نسبت به تعویض LED و دیگر اقلام مورد نیاز اقدامات لازم را انجام دادیم.

جدول ۳-۵- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در اسفند ماه ۱۳۹۳

زمان های نور سنجی	۱۳۹۳/۱۲/۵	۱۳۹۳/۱۲/۱۰	۱۳۹۳/۱۲/۱۵	۱۳۹۳/۱۲/۲۰	۱۳۹۳/۱۲/۲۵
	۱۵۶۰	۱۶۸۰	۱۸۰۰	۱۹۲۰	۲۰۴۰
P۶W-A	۷۴۶	۷۵۱	۷۴۸	۷۴۷	۷۴۳
P۶W-B	۷۴۱	۷۳۷	۷۳۱	۷۳۵	۷۳۰
P۶W-C	۷۳۵	۷۳۷	۷۳۱	۷۲۹	۷۱۸
P۲۰W-A	۱۴۲۴	۱۴۲۸	۱۴۱۸	۱۴۱۷	۱۴۲۱
P۲۰W-B	۱۴۱۲	۱۴۱۰	۱۴۱۳	۱۴۰۹	۱۴۰۷
P۲۰W-C	۱۳۹۷	۱۳۶۴	۱۳۵۶	۱۳۴۱	۱۳۰۳
P۲۰W-A	۲۱۳۴	۲۱۴۵	۲۱۳۲	۲۱۲۴	۲۱۲۰
P۲۰W-B	۲۱۵۲	۲۱۴۵	۲۱۴۸	۲۱۳۷	۲۱۲۵
P۲۰W-C	۱۵۱۲	۲۲۴۱	۲۲۰۱	۲۱۶۷	۲۰۹۸

پس از گذشت ۲۰۴۰ ساعت از آزمایش نور سنجی مطابق جدول ۳-۵- در ماه سوم آزمایش همچنان خاموشی ثبت نشده است ولی شدت روشنایی پروژکتور LED ۳۰ وات گرید C پس از ۱۵۶۰ ساعت از سطح مجاز کمتر شد که نسبت به تعویض LED و دیگر لوازم مورد نیاز آن اقدامات لازم را انجام دادیم.

جدول ۳-۶- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در فروردین ماه ۱۳۹۴

زمان های نور سنجی	۱۳۹۴/۱/۵	۱۳۹۴/۱/۱۰	۱۳۹۴/۱/۱۵	۱۳۹۴/۱/۲۰	۱۳۹۴/۱/۲۵
۲۰۴۰	۲۲۵۶	۲۳۷۶	۲۴۹۶	۲۶۱۶	۲۷۳۶
P۶W-A	۷۴۱	۷۴۵	۷۵۴	۷۵۷	۷۵۰
P۶W-B	۷۲۱	۷۲۴	۷۲۷	۷۱۷	۷۱۹
P۶W-C	۶۹۹	۶۵۶	۶۴۸	۰	۷۵۳
P۲۰W-A	۱۴۱۹	۱۴۲۵	۱۴۲۰	۱۴۱۵	۱۴۱۸
P۲۰W-B	۱۳۹۸	۱۳۸۵	۱۳۸۷	۱۳۸۱	۱۳۷۶
P۲۰W-C	۱۲۶۷	۱۲۳۱	۱۱۹۷	۱۱۸۳	۰
P۲۰W-A	۲۱۱۹	۲۱۲۰	۲۰۵۶	۲۰۸۵	۲۰۳۷
P۲۰W-B	۲۱۰۰	۲۰۸۶	۲۰۷۵	۲۰۴۶	۲۰۳۲
P۲۰W-C	۲۰۱۲	۱۹۴۲	۱۸۷۸	۱۸۰۱	۱۷۶۷

همان طور که در جدول ۳-۶ مشاهده می‌شود، در ماه چهارم آزمایش ۲ خاموشی ثبت شد که متعلق به پروژکتورهای گرید C ۶وات پس از ۲۶۱۶ ساعت کاری و ۲۰ وات پس از ۲۷۳۶ ساعت کاری است. که اقدامات لازم جهت تعمیر آن تا قبل از نور سنجی یعدی انجام شد.

جدول ۳-۷- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

زمان های نور سنجی	۱۳۹۴/۱/۱۵	۱۳۹۴/۱/۱۰	۱۳۹۴/۱/۱۵	۱۳۹۴/۱/۲۰	۱۳۹۴/۱/۲۵
	۲۲۵۶	۲۳۷۶	۲۴۹۶	۲۶۱۶	۲۷۳۶
P۶W-A	۷۴۱	۷۴۵	۷۵۴	۷۵۷	۷۵۰
P۶W-B	۷۲۱	۷۲۴	۷۲۷	۷۱۷	۷۱۹
P۶W-C	۶۹۹	۶۵۶	۶۴۸	۰	۷۵۳
P۲۰W-A	۱۴۱۹	۱۴۲۵	۱۴۲۰	۱۴۱۵	۱۴۱۸
P۲۰W-B	۱۳۹۸	۱۳۸۵	۱۳۸۷	۱۳۸۱	۱۳۷۶
P۲۰W-C	۱۲۶۷	۱۲۳۱	۱۱۹۷	۱۱۸۳	۰
P۲۰W-A	۲۱۱۹	۲۱۲۰	۲۰۵۶	۲۰۸۵	۲۰۳۷
P۲۰W-B	۲۱۰۰	۲۰۸۶	۲۰۷۵	۲۰۴۶	۲۰۳۲
P۲۰W-C	۲۰۱۲	۱۹۴۲	۱۸۷۸	۱۸۰۱	۱۷۶۷

همان طور که در جدول ۳-۷ مشاهده می‌شود، در ماه پنجم آزمایش پروژکتور گرید C ۶وات بعد از گذشت ۳۴۸۰ ساعت از شروع آزمایش به علت نقص فنی خاموش شد و شدت روشنایی پروژکتور ۳۰وات از سطح مجاز کمتر شد که نسبت به تعمیر هر دو پروژکتور تا قبل از زمان نورسنجی بعدی اقدامات لازم انجام شده است. سایر پروژکتورهای گرید A و گرید B تا ماه پنجم دچار مشکل نشده‌اند.

جدول ۳-۸- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در خرداد ماه ۱۳۹۴

۱۳۹۴/۲/۲۵	۱۳۹۴/۲/۲۰	۱۳۹۴/۲/۱۵	۱۳۹۴/۲/۱۰	۱۳۹۴/۲/۵	زمان های نور سنجی
۳۴۸۰	۳۳۶۰	۳۲۴۰	۳۱۲۰	۳۰۰۰	
۷۲۹	۷۳۱	۷۴۰	۷۴۴	۷۴۸	P۶W-A
۷۰۷	۷۰۱	۷۰۲	۷۰۸	۷۰۵	P۶W-B
۰	۷۴۲	۷۴۵	۷۴۸	۷۵۱	P۶W-C
۱۴۲۰	۱۴۱۸	۱۴۱۳	۱۴۲۴	۱۴۲۰	P۲۰W-A
۱۳۵۶	۱۳۶۰	۱۳۶۱	۱۳۶۵	۱۳۶۹	P۲۰W-B
۱۰۳۱	۱۰۵۷	۱۰۸۶	۱۱۰۲	۱۱۲۳	P۲۰W-C
۱۹۹۸	۲۰۱۲	۲۰۲۵	۲۰۳۴	۲۰۴۳	P۲۰W-A
۱۷۹۳	۱۸۳۶	۱۸۸۱	۱۹۴۶	۱۹۸۴	P۲۰W-B
۲۲۳۱	۱۵۰۱	۱۵۸۶	۱۶۴۲	۱۷۲۱	P۲۰W-C

اولین کاهش شدت روشنایی کمتر از سطح مجاز پروژکتور های گرید B طبق جدول ۳-۸ در ماه ششم آزمایش متعلق به پروژکتور ۲۰ وات میباشد که پس از ۳۸۶۴ ساعت از شروع آزمایش اتفاق افتاده است، و کاهش شدت روشنایی کمتر از سطح مجاز پروژکتور های گرید C ۲۰ وات و ۳۰ وات نیز به ترتیب پس از گذشت ۳۹۸۴ و ۴۲۲۴ ساعت اتفاق افتاد که جهت تعمیر پروژکتورها اقدامات لازم تا قبل از زمان نورسنجی بعدی انجام شده است.

جدول ۳-۹- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در تیر ماه ۱۳۹۴

۱۳۹۴/۳/۲۵	۱۳۹۴/۳/۲۰	۱۳۹۴/۳/۱۵	۱۳۹۴/۳/۱۰	۱۳۹۴/۳/۵	زمان های نور سنجی
۴۲۲۴	۴۱۰۴	۳۹۸۴	۳۸۶۴	۳۷۴۴	
۷۲۴	۷۲۷	۷۲۵	۷۲۳	۷۲۸	P۶W-A
۷۰۹	۵۴۶	۷۰۱	۷۰۳	۷۰۹	P۶W-B
۷۲۵	۷۲۴	۷۲۳	۷۲۸	۷۲۷	P۶W-C
۱۴۱۲	۱۴۱۰	۱۴۱۵	۱۴۱۲	۱۴۱۷	P۲۰W-A
۱۳۱۷	۱۳۲۴	۱۳۲۲	۸۴۵	۱۳۴۰	P۲۰W-B
۱۴۰۱	۱۴۳۳	۹۹۸	۱۰۰۱	۱۰۱۱	P۲۰W-C
۱۹۶۵	۱۹۷۱	۱۹۶۷	۱۹۹۴	۱۹۹۷	P۲۰W-A
۱۴۷۹	۱۵۹۳	۱۶۳۴	۱۶۸۱	۱۷۷۸	P۲۰W-B
۱۹۸۵	۲۰۱۲	۲۰۸۷	۲۱۰۲	۲۱۸۷	P۲۰W-C

همان طور که در جدول ۳-۹ مشاهده می‌شود، در ماه هفتم آزمایش هیچ گونه خاموشی و یا افت شدت نور کمتر از سطح مجاز ثبت نشده‌است.

جدول ۳-۱۰- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در مرداد ماه ۱۳۹۴

۱۳۹۴/۵/۲۵	۱۳۹۴/۵/۲۰	۱۳۹۴/۵/۱۵	۱۳۹۴/۵/۱۰	۱۳۹۴/۵/۵	زمان های نور سنجی
۵۷۱۲	۵۵۹۲	۵۴۷۲	۵۳۵۲	۵۲۳۲	
۷۱۹	۷۲۳	۷۲۱	۷۱۸	۷۱۷	P _{۶W} -A
۶۷۸	۶۷۵	۶۸۱	۶۹۱	۶۸۳	P _{۶W} -B
۷۰۳	۷۰۷	۷۰۹	۷۱۱	۷۱۵	P _{۶W} -C
۱۴۰۶	۱۴۰۱	۱۴۰۵	۱۴۱۴	۱۴۱۱	P _{۲۰W} -A
۱۲۳۵	۱۲۴۰	۱۲۴۱	۱۲۵۴	۱۱۵۳	P _{۲۰W} -B
۱۲۱۲	۱۲۳۸	۱۲۵۷	۱۲۸۴	۱۳۱۰	P _{۲۰W} -C
۱۸۹۴	۱۸۹۹	۱۹۰۲	۱۹۲۰	۱۹۱۸	P _{۲۰W} -A
۱۹۶۵	۱۹۶۲	۲۰۲۴	۲۰۶۳	۲۰۸۵	P _{۲۰W} -B
۲۱۰۱	۲۱۴۲	۲۱۸۹	۲۲۴۱	۱۵۰۱	P _{۲۰W} -C

در ماه هشتم آزمایش نورسنجی مطابق جدول ۳-۱۰ شدت روشنایی پروژکتور ۳۰ وات گرید C پس از ۵۲۳۲ ساعت از شروع آزمایش از سطح مجاز کمتر شد که نسبت به تعمیر پروژکتور اقدام لازم تا قبل از زمان نورسنجی بعدی انجام شده است.

جدول ۳-۱۱- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در شهریور ماه ۱۳۹۴

۱۳۹۴/۶/۲۵	۱۳۹۴/۶/۲۰	۱۳۹۴/۶/۱۵	۱۳۹۴/۶/۱۰	۱۳۹۴/۶/۵	زمان های نور سنجی
۶۴۵۶	۶۳۳۶	۶۲۱۶	۶۰۹۶	۵۹۷۶	
۶۹۲	۶۹۷	۷۰۱	۷۰۶	۷۰۴	P _{۶W} -A
۶۶۰	۶۷۸	۶۷۲	۶۷۱	۶۷۳	P _{۶W} -B
۷۵۱	۰	۶۸۱	۶۸۹	۶۷۸	P _{۶W} -C
۱۴۰۳	۱۴۰۲	۱۴۰۹	۱۴۰۸	۱۴۰۷	P _{۲۰W} -A
۱۲۱۸	۱۲۲۰	۱۲۲۸	۱۲۲۱	۱۲۲۶	P _{۲۰W} -B
۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۳	۱۳۸۹	۰	P _{۲۰W} -C
۱۸۷۳	۱۸۸۴	۱۸۸۲	۱۸۸۶	۱۸۹۱	P _{۲۰W} -A
۱۸۷۷	۱۸۷۶	۱۹۰۱	۱۹۱۲	۱۹۳۶	P _{۲۰W} -B
۱۸۶۱	۱۹۲۳	۱۹۶۷	۲۰۱۳	۲۰۹۰	P _{۲۰W} -C

در ماه نهم آزمایش نورسنجی مطابق جدول ۳-۱۱ پروژکتورهای ۲۰ وات و عوات گرید C دچار نقص قنی شد که نسبت به تعمیر پروژکتور اقدام لازم تا قبل از زمان نورسنجی بعدی انجام شده است.

جدول ۳-۱۲- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در مهر ماه ۱۳۹۴

۱۳۹۴/۷/۲۵	۱۳۹۴/۷/۲۰	۱۳۹۴/۷/۱۵	۱۳۹۴/۷/۱۰	۱۳۹۴/۷/۵	زمان های نور سنجی
۷۱۷۶	۷۰۵۶	۶۹۳۶	۶۸۱۶	۶۶۹۶	
۶۷۲	۶۷۰	۶۷۱	۶۷۳	۶۸۵	P۶W-A
۶۳۹	۶۴۵	۶۵۷	۶۶۱	۶۷۲	P۶W-B
۷۲۱	۷۲۴	۷۲۰	۷۳۱	۷۴۰	P۶W-C
۱۴۰۱	۱۴۰۶	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۵	P۲۰W-A
۱۱۲۴	۱۱۷۵	۱۱۸۲	۱۱۹۷	۱۱۹۵	P۲۰W-B
۱۱۷۲	۱۱۸۳	۱۲۰۳	۱۲۷۶	۱۳۰۱	P۲۰W-C
۱۸۳۷	۱۸۴۰	۱۸۳۸	۱۸۴۸	۱۸۵۵	P۲۰W-A
۱۷۹۱	۱۸۰۱	۱۸۱۲	۱۸۳۱	۱۸۴۵	P۲۰W-B
۱۵۶۷	۱۶۱۲	۱۶۸۹	۱۷۴۱	۱۸۰۱	P۲۰W-C

در ماه دهم آزمایش مطابق با جدول ۳-۱۲ هیچ گونه کاهش شدت روشنایی کمتر از سطح مجاز و خاموشی ثبت نشد.

جدول ۳-۱۳- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در آبان ماه ۱۳۹۴

۱۳۹۴/۸/۲۵	۱۳۹۴/۸/۲۰	۱۳۹۴/۸/۱۵	۱۳۹۴/۸/۱۰	۱۳۹۴/۸/۵	زمان های نور سنجی
۷۸۹۶	۷۷۷۶	۷۶۵۶	۷۵۳۶	۷۴۱۶	
۶۴۱	۶۴۳	۶۴۷	۶۵۹	۶۶۰	P۶W-A
۶۰۷	۶۱۹	۶۲۳	۶۲۷	۶۳۰	P۶W-B
۶۹۱	۶۹۸	۶۹۶	۷۰۳	۷۱۲	P۶W-C
۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۳۹۸	۱۴۰۲	۱۴۰۰	P۲۰W-A
۱۰۵۳	۱۰۹۱	۱۱۰۲	۱۱۳۱	۱۱۵۷	P۲۰W-B
۱۰۳۴	۱۰۶۳	۱۱۰۰	۱۱۳۱	۱۱۶۳	P۲۰W-C
۱۸۰۰	۱۸۰۹	۱۸۱۲	۱۸۱۸	۱۸۳۱	P۲۰W-A
۱۷۳۸	۱۷۴۷	۱۷۶۵	۱۷۷۴	۱۷۸۳	P۲۰W-B
۲۰۷۹	۲۱۳۵	۲۱۹۸	۲۲۳۱	۰	P۲۰W-C

در ماه یازدهم آزمایش نور سنجی همان طور که در جدول ۳-۱۳ مشاهده می‌شود ، پروژکتور گرید C ۳۰ وات به دلیل نقص فنی دچار خاموشی شد که نسبت به تعمیر پروژکتور اقدام لازم تا قبل از زمان نورسنجی بعدی انجام شده است.

جدول ۳-۱۴- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در آذر ماه ۱۳۹۴

۱۳۹۴/۹/۲۵	۱۳۹۴/۹/۲۰	۱۳۹۴/۹/۱۵	۱۳۹۴/۹/۱۰	۱۳۹۴/۹/۵	زمان های نور سنجی
۸۶۱۶	۸۴۹۶	۸۳۷۶	۸۲۵۶	۸۱۳۶	
۶۲۱	۶۲۳	۶۲۱	۶۲۸	۶۲۱	P۶W-A
۵۸۵	۰	۵۹۹	۶۰۸	۶۱۰	P۶W-B
۷۲۱	۷۲۵	۷۳۰	۷۴۹	۰	P۶W-C
۱۳۹۳	۱۳۹۸	۱۳۹۵	۱۳۹۱	۱۳۹۵	P۲۰W-A
۱۴۰۷	۱۴۲۷	۱۴۳۰	۹۸۰	۱۰۳۷	P۲۰W-B
۱۴۰۰	۱۴۲۷	۹۶۵	۱۰۰۱	۱۰۱۲	P۲۰W-C
۱۷۶۶	۱۷۷۲	۱۷۸۲	۱۷۸۵	۱۷۹۷	P۲۰W-A
۱۶۸۱	۱۶۹۴	۱۷۰۷	۱۷۰۱	۱۷۲۱	P۲۰W-B
۰	۱۸۴۶	۱۹۰۱	۱۹۷۶	۲۰۱۲	P۲۰W-C

در ماه دوازدهم آزمایش همانطور که در جدول ۳-۱۴ مشاهده می‌شود ۳ پروژکتور به دلیل نقص فنی دچار خاموشی و ۲ پروژکتور به دلیل افت شدت روشنایی کمتر از سطح مجاز به واحد تعمیر و نگهداری ارجاع داده شد که نسبت به تعمیر پروژکتورها اقدام لازم تا قبل از زمان نورسنجی بعدی انجام شده است.

جدول ۳-۱۵- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در دی ماه ۱۳۹۴

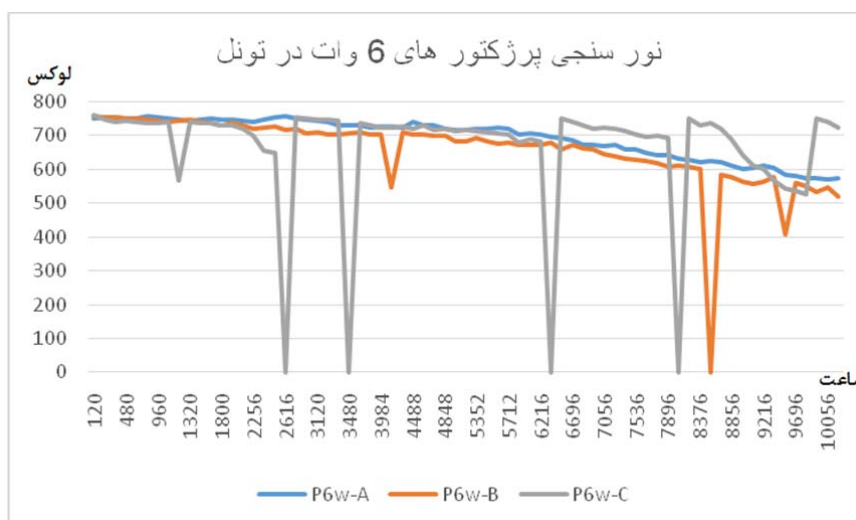
۱۳۹۴/۱۰/۲۵	۱۳۹۴/۱۰/۲۰	۱۳۹۴/۱۰/۱۵	۱۳۹۴/۱۰/۱۰	۱۳۹۴/۱۰/۵	زمان های نور سنجی
۹۳۳۶	۹۲۱۶	۹۰۹۶	۸۹۷۶	۸۸۵۶	
۶۰۴	۶۱۰	۶۰۳	۶۰۱	۶۱۲	P۶W-A
۵۷۶	۵۶۲	۵۵۸	۵۶۳	۵۷۶	P۶W-B
۵۶۷	۶۰۱	۶۱۲	۶۴۳	۶۹۰	P۶W-C
۱۳۸۷	۱۳۹۴	۱۴۰۱	۱۳۹۴	۱۳۸۹	P۲۰W-A
۱۳۹۸	۱۴۱۱	۱۴۰۷	۱۴۰۱	۱۴۱۵	P۲۰W-B
۱۱۹۵	۱۲۰۳	۱۲۵۲	۱۳۰۱	۱۳۳۱	P۲۰W-C
۱۷۲۶	۱۷۵۳	۱۷۵۲	۱۷۶۰	۱۷۶۳	P۲۰W-A
۲۲۱۵	۱۵۴۰	۱۵۸۵	۱۵۹۸	۱۶۴۳	P۲۰W-B
۱۸۸۱	۱۹۶۷	۲۰۵۶	۲۱۲۱	۲۲۳۱	P۲۰W-C

در ماه سیزدهم همانطور که در جدول ۳-۱۵ مشاهده می‌شود، فقط یک مورد افت نور کمتر از سطح مجاز متعلق به پروژکتور گرید C ۳۰ وات ثبت شد که نسبت به تعمیر پروژکتورها اقدام لازم تا قبل از زمان نورسنجی بعدی انجام شده است.

جدول ۳-۱۶- میزان نور پروژکتور هر گرید و وات مصرفی بر حسب لوکس در بهمن ماه ۱۳۹۴

۱۳۹۴/۱۱/۳۰	۱۳۹۴/۱۱/۲۵	۱۳۹۴/۱۱/۲۰	۱۳۹۴/۱۱/۱۵	۱۳۹۴/۱۱/۱۰	۱۳۹۴/۱۱/۵	زمان های نور سنجی
۱۰۱۷۶	۱۰۰۵۶	۹۹۳۶	۹۸۱۶	۹۶۹۶	۹۵۷۶	
۵۷۴	۵۷۱	۵۷۲	۵۷۵	۵۸۱	۵۸۵	P۶w-A
۵۲۰	۵۴۸	۵۳۴	۵۵۱	۵۵۹	۴۰۷	P۶w-B
۷۲۳	۷۴۱	۷۵۰	۵۲۵	۵۳۷	۵۴۲	P۶w-C
۱۳۷۱	۱۳۸۲	۱۳۷۳	۱۳۷۸	۱۳۷۶	۱۳۸۰	P۲۰w-A
۱۳۸۴	۱۳۷۹	۱۳۷۴	۱۳۸۹	۱۳۸۱	۱۳۹۳	P۲۰w-B
۱۴۲۱	۹۸۵	۱۰۳۴	۱۰۹۶	۱۱۳۱	۱۱۶۸	P۲۰w-C
۱۶۸۹	۱۷۰۵	۱۷۱۲	۱۷۲۹	۱۷۳۵	۱۷۴۱	P۲۰w-A
۲۱۴۳	۲۱۵۶	۲۱۶۷	۲۱۷۹	۲۱۹۶	۲۲۰۱	P۲۰w-B
۲۲۳۱	۱۵۱۱	۱۵۷۸	۱۶۳۲	۱۷۰۰	۱۷۹۸	P۲۰w-C

نتایج نورسنجی به تفکیک وات در شکل‌های ۳-۲ تا ۳-۴ مشخص شده است. در این نمودارها می‌توان افت نور هر پروژکتور را مشاهده و نتایج نور گریدهای مختلف را مقایسه کرد.



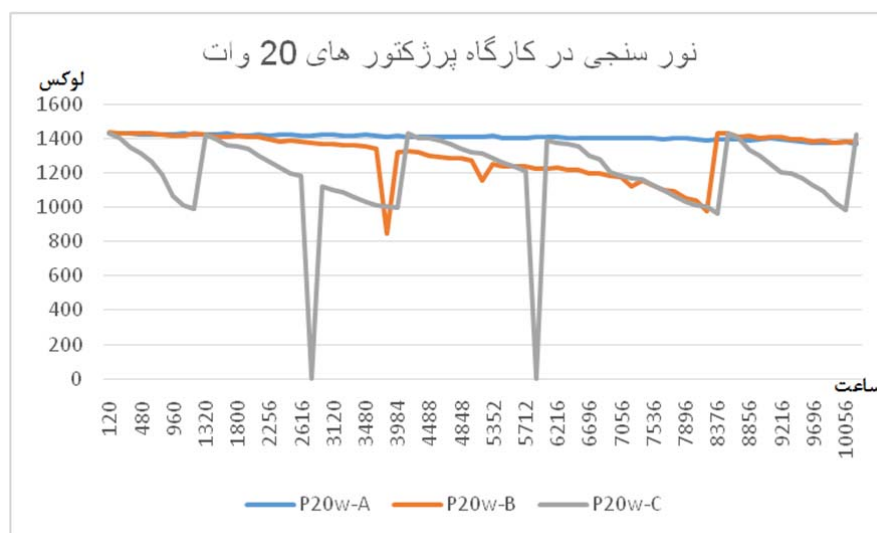
شکل ۳-۲- نمودار مقایسه‌ای نورسنجی پروژکتورهای ۶ وات در طول زمان

مطابق با شکل ۳-۲ نورسنجی پروژکتورهای ۶ وات، پروژکتور گرید A در مدت زمان ۱۰۰۰۰ ساعت بدون خاموشی و افت شدت نور بیشتر از ۳۰ درصد بوده است. پروژکتور گرید B ۲ بار با افت نور بیشتر از ۳۰ درصد، از محدوده عمر مفید (L۷۰) خارج شده و یک بار به دلیل نفوذ آب به داخل چراغ به طور کامل دچار سوختگی و آسیب شده است.

همان طور که در شکل ۳-۲ آمده است پروژکتور عوات گرید C هر ۳۰۰۰ ساعت دچار افت نور یا خاموشی می شدند که این ساعت کارکرد به عنوان عمر آن منظور شده است.

مطابق با شکل ۳-۲ پروژکتور عوات گرید B هر ۴۰۰۰ ساعت دچار افت نور یا خاموشی می شدند که این زمان به عنوان عمر این پروژکتور منظور شده است.

مطابق با شکل ۳-۲ پروژکتور عوات گرید A اصلا دچار خاموشی و یا افت شدت نور کمتر از ۷۰٪ نور اولیه نشدند ولی با توجه به شیب نمودار بعد از گذشت ۱۵۰۰۰ ساعت شدت روشنایی از سطح مجاز کمتر شده که این میزان را به عنوان عمر مفیر این پروژکتور منظور شده است.



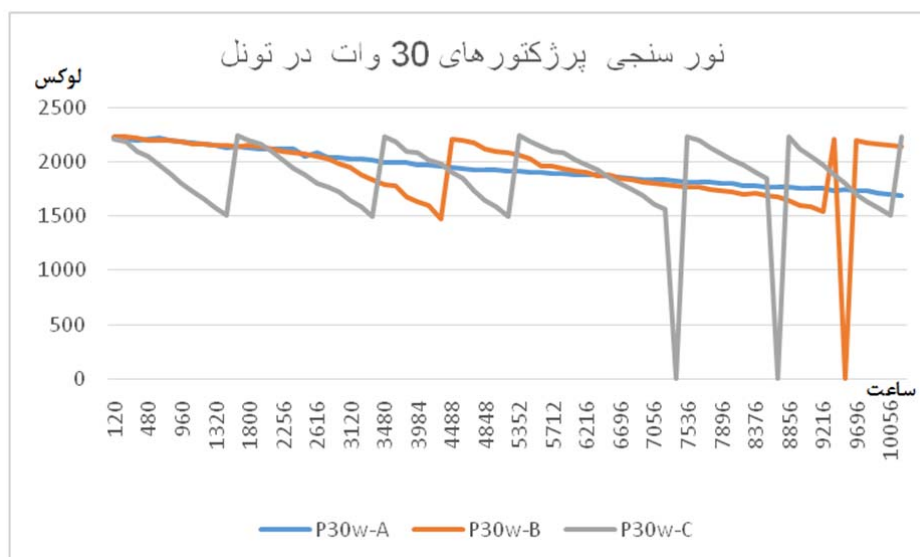
شکل ۳-۳- نمودار مقایسه ای نورسنجی پروژکتورهای ۲۰ وات در طول زمان

مطابق با شکل ۳-۳ نورسنجی پروژکتورهای ۲۰ وات، پروژکتور گرید A در مدت زمان ۱۰۰۰۰ ساعت بدون خاموشی و افت شدت نور بیشتر از ۳۰ درصد بوده است. پروژکتور گرید B یک بار با افت نور بیشتر از ۳۰ درصد، از محدوده عمر مفید (L۷۰) خارج شده و یک بار نیاز به تعویض LED و PCB و لوازم جانبی داشت.

همان طور که در شکل ۳-۳ آمده است پروژکتور ۲۰وات گرید C هر ۲۵۰۰ ساعت دچار افت نور یا خاموشی می‌شدند که این ساعت کارکرد، به عنوان عمر آن منظور شده است.

مطابق با شکل ۳-۳ پروژکتور ۲۰وات گرید B هر ۴۰۰۰ ساعت دچار افت نور یا خاموشی می‌شدند که این زمان، به عنوان عمر این پروژکتور منظور شده است.

مطابق با شکل ۳-۳ پروژکتور ۲۰وات گرید A اصلاً دچار خاموشی و یا افت شدت نور کمتر از ۷۰٪ نور اولیه نشدند ولی با توجه به شیب نمودار بعد از گذشت ۱۵۰۰۰ ساعت شدت روشنایی از سطح مجاز کمتر شد و این میزان به عنوان عمر مفید این پروژکتور منظور شده است.



شکل ۳-۴- نمودار مقایسه‌ای نورسنجی پروژکتورهای ۳۰ وات در طول زمان

مطابق با شکل ۳-۴ نورسنجی پروژکتورهای ۳۰ وات، پروژکتور گرید A در مدت زمان ۱۰۰۰۰ ساعت بدون خاموشی و افت شدت نور بیشتر از ۳۰ درصد بوده است. پروژکتور گرید B ۲ بار با افت نور بیشتر از ۳۰ درصد، از محدوده عمر مفید (L70) خارج شده و یک بار نیاز به تعویض LED و PCB و تعویض لوازم جانبی داشت.

همچنین در جدول زیر (۴-۱۶) تعداد دفعات خاموشی و تعداد دفعات افت شدت نور به کمتر از ۷۰ درصد مقدار اولیه برای هر پروژکتور ذکر شده است.

همان طور که در شکل ۳-۴ آمده است پروژکتور ۳۰ وات گرید C هر ۲۵۰۰ ساعت دچار افت نور یا خاموشی می‌شدند که این ساعت کارکرد، به عنوان عمر آن منظور شده است.

مطابق با شکل ۳-۴ پروژکتور ۳۰ وات گرید B هر ۴۰۰۰ ساعت دچار افت نور یا خاموشی می‌شدند که این زمان به عنوان عمر این پروژکتور منظور شده است.

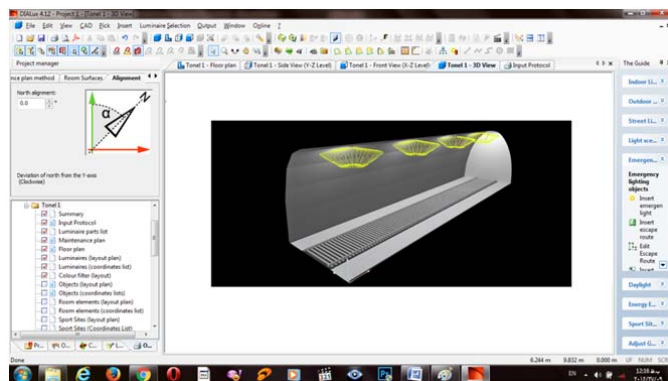
مطابق با شکل ۳-۴ پروژکتور ۳۰ وات گرید A اصلاً دچار خاموشی و یا افت شدت نور کمتر از ۷۰٪ نور اولیه نشدند ولی با توجه به شیب نمودار بعد از گذشت ۱۵۰۰۰ ساعت شدت روشنایی از سطح مجاز کمتر شد و این میزان به عنوان عمر مفید این پروژکتور منظور شده است.

جدول ۳-۱۷- تعداد دفعات خاموشی و افت نور خارج از محدوده عمر مفید برای هر پروژکتور نمونه

تعداد دفعات افت نور بیشتر L70	تعداد دفعات خاموشی	پروژکتور
0	0	P6w-A
1	2	P6w-B
1	4	P6w-C
0	0	P20w-A
1	1	P20w-B
2	2	P20w-C
0	0	P30w-A
2	0	P30w-B
4	2	P30w-C

۳-۵-۲- نتایج شبیه‌سازی فضا و نمودارهای توزیع نور

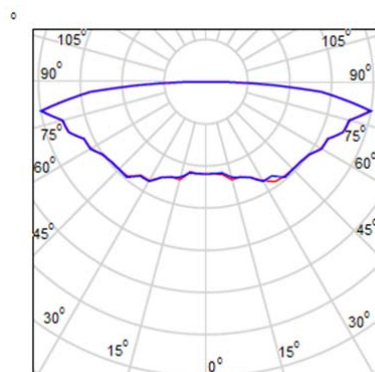
۲۰ متر از فضای تونل راه اصلی به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفت (۳-۵)، برای روشنایی مطابق شکل ۳-۶ از ۴ پروژکتور ۲۰ وات با روشنایی ۱۵۰۰ لومن استفاده شد. مطابق با مرحله دوم آزمایش فنی، شدت روشنایی نقاط مختلف تونل مطابق شکل ۳-۸ محاسبه شده‌است.



شکل ۳-۵- شبیه‌سازی فضای تونل

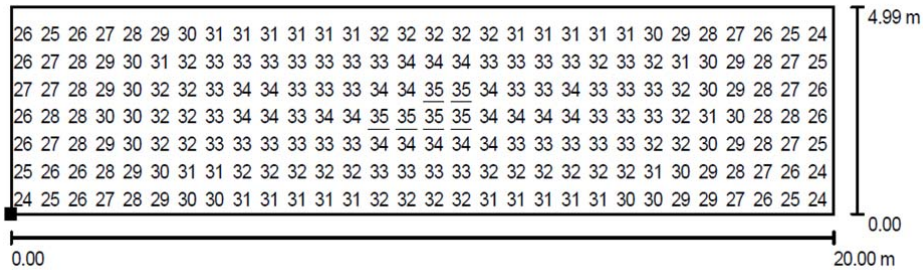


شکل ۳-۶- پلان طراحی شده قرارگیری روشنایی‌ها در فضای تونل



شکل ۳-۷- نمودار توزیع نور پروژکتور ۲۰ وات

همانطور که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود توسط نرم افزار دیالوکس و نورسنجی های انجام شده نمودار توزیع نوری پروژکتور ۲۰ وات ترسیم شده است.

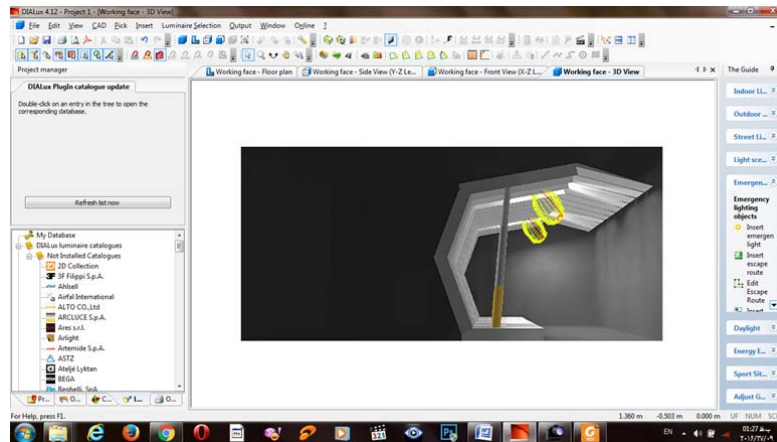


Grid: 330 x 90 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
31	23	35	0.760	0.663

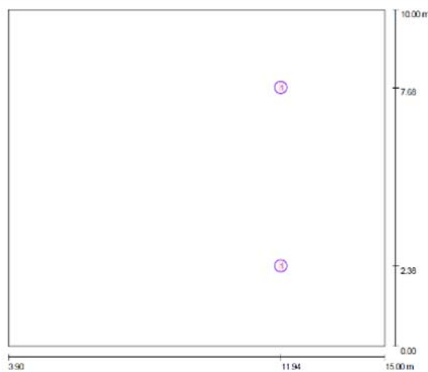
شکل ۳-۸- نورسنجی فضای تونل بر اساس طراحی شبیه سازی شده

برای شبیه‌سازی کارگاه استخراجی به ارتفاع ۶ متر، سینه کار ۱۰ متر و عرض ۵ متر صورت گرفته است که برای آن از پروژکتورهای ۳۰ وات با شدت روشنایی ۲۲۰۰ لومن که در ارتفاع ۳/۴ متر قرار دارند استفاده شد.

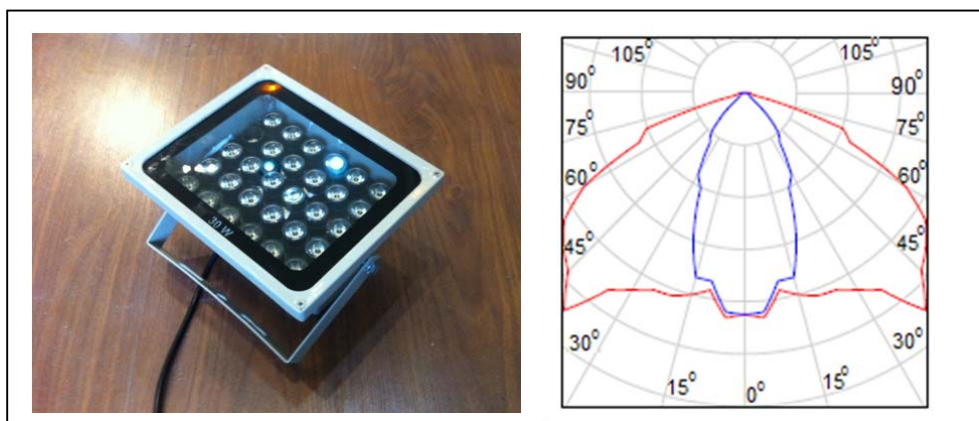


شکل ۳-۹- شبیه سازی فضای کارگاه استخراجی در نرم افزار DIALux

طبق شکل ۳-۹ کارگاه استخراجی شبیه سازی شده است، که قطعا برای درک بهتر بصری از افکت‌هایی استفاده شده است.

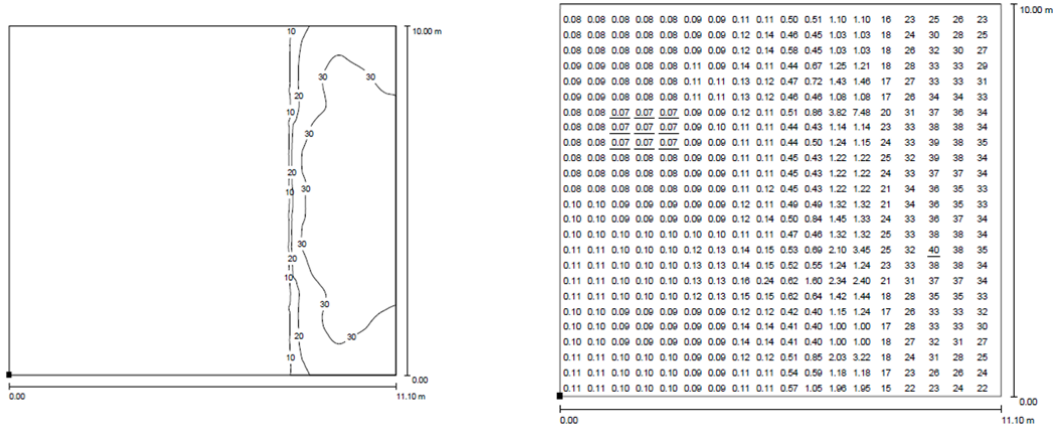


شکل ۳-۱۰- پلان طراحی شده قرارگیری روشنایی‌ها در فضای کارگاه استخراجی



شکل ۳-۱۱- نمودار توزیع نور و تصویر پروژکتور ۳۰ وات

همانطور که در شکل ۳-۱۱ مشاهده می‌شود توسط نرم افزار دیالوکس و نورسنجی های انجام شده نمودار توزیع نوری پروژکتور ۳۰ وات ترسیم شده است.



Grid: 128 x 128 Points

E_{av} [lx] E_{min} [lx] E_{max} [lx] $u0$ E_{min} / E_{max}
 8.52 0.07 40 0.009 0.002

شکل ۳-۱۲- نورسنجی فضای کارگاه بر اساس طراحی شبیه سازی شده

چون در فرآیند تحقیق و ارزیابی های دیگر گرید A مناسب ترین شناخته شد و ۳۰ وات بهترین میزان نور را تأمین می کرد، فقط نتایج پروژکتور ۳۰ وات گرید A با استاندارد روشنایی معدن مقایسه شد تا مشخص شود برای استفاده در معدن مناسب است یا خیر (جدول ۳-۱۸).

جدول ۳-۱۸ نتایج مقایسه ای حداقل روشنایی استاندارد و نورسنجی پروژکتور LED گرید A ۲۰ وات در قسمت های مختلف معدن

حداقل روشنایی پروژکتور LED بر حسب لوکس	حداکثر روشنایی پروژکتور LED بر حسب لوکس	میانگین روشنایی پروژکتور LED بر حسب لوکس	حداقل روشنایی استاندارد بر حسب لوکس	
۲۳*	۳۵*	۳۱	۱۰	راه رو های حمل و نقل
۲۳*	۳۵*	۳۱	۳۰	راه رو های عبوری افراد
۰.۰۷**	۴۰**	۸.۵۲	۱۵	کارگاه های استخراج

*: جهت روشنایی فضا از پروژکتور های LED ۲۰ وات استفاده شده است.
 **: جهت روشنایی فضا از پروژکتور های LED ۳۰ وات استفاده شده است.

از آن جایی که پروژکتور متال هالید، بخار سدیم، بخار جیوه و گاز هلیوم و همچنین چراغ های فلوروسنت به صورت گسترده در معادن استفاده می شوند اطلاعات زمان های تعمیر و نگهداری و

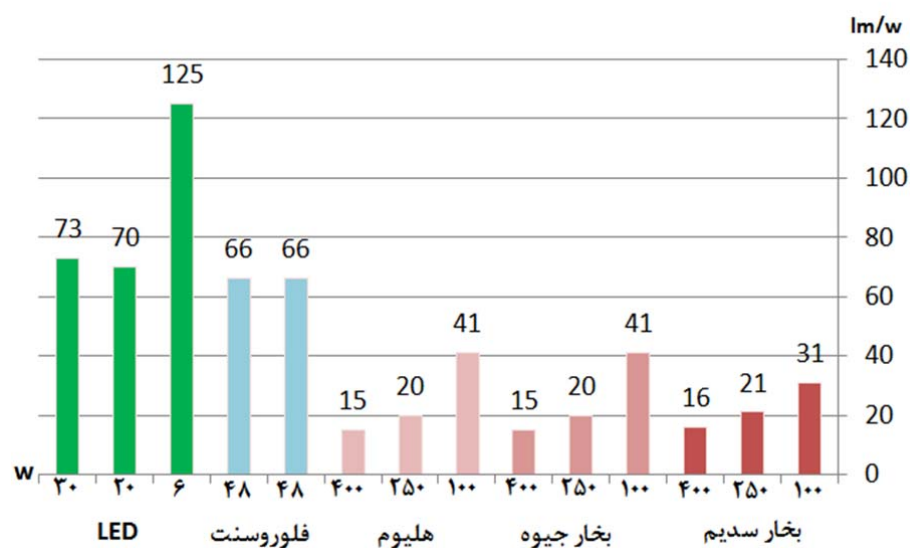
هزینه‌های آن قبلاً در دفاتر معدن ثبت شده بود که با استفاده از این اطلاعات ثبت شده عمر چراغ و اطلاعات اقتصادی آن بدست آمد، با نورسنجی توسط دستگاه و مطابقت آن، نورسنجی‌های ثبت شده در دفتر معدن و همچنین اطلاعات آزمایش‌های فنی چراغ‌های LED جدول مقایسه‌ای حاصل شده‌است که اطلاعات آن در جدول ۳-۱۹ آمده‌است.

جدول ۳-۱۹- بازده نوری پروژکتورهای فعلی مورد استفاده در معدن کوهشاهه

پروژکتور	رنگ نور	درجه کلوین (K)	توان مصرفی (w)	شدت نور (lm)	بازده نوری (lm/w)	عمر (ساعت)
بخار سدیم	زرد	۱۸۰۰	۱۰۰	۳۱۸۹	۳۱	۴۵۰۰
	زرد	۱۸۰۰	۲۵۰	۵۳۴۱	۲۱	۴۵۰۰
	زرد	۱۸۰۰	۴۰۰	۶۶۷۴	۱۶	۴۵۰۰
بخار جیوه	یخی مایل به آبی	۷۵۰۰	۱۰۰	۴۱۶۳	۴۱	۲۹۰۰
	یخی مایل به آبی	۷۵۰۰	۲۵۰	۵۰۷۲	۲۰	۲۹۰۰
	یخی مایل به آبی	۷۵۰۰	۴۰۰	۶۱۵۴	۱۵	۲۹۰۰
هلیوم	سفید یخی	۶۵۰۰	۱۰۰	۴۱۶۲	۴۱	۳۰۰۰
	سفید یخی	۶۵۰۰	۲۵۰	۵۲۴۳	۲۰	۳۰۰۰
	سفید یخی	۶۵۰۰	۴۰۰	۶۲۹۵	۱۵	۳۰۰۰
فلوروسنت	سفید آفتابی	۲۸۰۰	۴۸	۳۱۷۷	۶۶	۱۰۰۰۰
	سفید یخی	۶۵۰۰	۴۸	۳۱۸۷	۶۶	۱۰۰۰۰
LED	سفید طبیعی گرید A	۴۵۰۰	۶	۷۵۰	۱۲۵	۱۵۰۰۰
	سفید طبیعی گرید A	۴۵۰۰	۲۰	۱۴۰۰	۷۰	۱۵۰۰۰
	سفید طبیعی گرید A	۴۵۰۰	۳۰	۲۲۰۰	۷۳	۱۵۰۰۰

در جدول ۳-۱۹ بازده نوری پروژکتورها از تقسیم شدت روشنایی بر توان مصرفی بدست آمده‌است که بیشترین آن مربوط به پروژکتور LED ۶ وات گرید A به میزان 125 lm/w است و کمترین آن مربوط به پروژکتور بخار جیوه ۴۰۰ وات به میزان 15 lm/w است. درجه کلوین نوری نشانگر رنگ نور است که از ۲۲۰۰ تا ۳۲۰۰ سفید آفتابی، از ۴۰۰۰ تا ۴۷۰۰ سفید طبیعی (Nachral)، از ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ سفید یخی و ۷۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سفید یخی مایل به آبی است.

مطابق جدول ۴-۱۸ عمر پروژکتورهای بخار سدیم ۴۵۰۰ ساعت (حدود یک سال و نیم به صورت تک شیفت ۸ساعت)، عمر پروژکتورهای بخار جیوه ۲۹۰۰ ساعت (حدود یکسال به صورت تک شیفت) و عمر پروژکتورهای LED ۱۵۰۰۰ ساعت که بیش از ۳ برابر پروژکتورهای بخار سدیم و ۵ برابر پروژکتورهای بخار جیوه است.



شکل ۳-۱۳-مقایسه مشخصات فنی پروژکتورهای فعلی مورد استفاده در معدن کوهشاه با پروژکتورهای LED مورد آزمایش

مطابق شکل ۳-۱۳ بازده نوری لامپ های گازی با افزایش توان مصرفی کاهش میابد، البته این بدان معنا نیست که با افزایش توان مصرفی افزایش شدت روشنایی ایجاد نمی شود، بلکه بدان معناست که با افزایش توان مصرفی شدت روشنایی نیز افزایش دارد ولی متناسب توان مصرفی افزایش نمی یابد. با توجه به نمودار ۳-۱۳ فقط چراغ های فلوروسنت از لحاظ بازده نوری قابل رقابت با پروژکتورهای LED هستند.

۳-۶- روش ارزیابی اقتصادی

ارزیابی اقتصادی به منظور استخراج هزینه‌های حال و آتی پروژکتورهای LED تولید شده صورت گرفت تا به صرفه‌ترین نوع آن‌ها برای استفاده در معدن نمونه مشخص شود و همچنین به طور کلی محاسبه گردد که آیا این پروژکتورها برای نورپردازی این معدن مناسب هستند.

همان‌طور که گفته شد در فرآیند تحقیق ۳ گرید پروژکتور LED تولید شد. از هر گرید، یک نمونه ۶ وات، یک نمونه ۲۰ وات و یک نمونه ۳۰ وات برای بررسی‌های بعدی ساخته شد. بنابراین به طور کلی ۹ نمونه پروژکتور مورد مطالعات فنی و اقتصادی بود.

برای ارزیابی اقتصادی از روش‌های NPV و EUAC استفاده شد.

۳-۶-۱- روش ارزش خالص فعلی

روش ارزش خالص فعلی یا NPV روش ارزش خالص فعلی یکی از روش‌های استاندارد ارزیابی طرح‌های اقتصادی است که در آن درآمدها و هزینه‌ها بر پایه زمان وقوع به نرخ روز تنزیل می‌شود. یعنی مفهوم آن چنین است که مقدار پول مشخص بسته به این‌که در چه زمانی در اختیار یک فرد قرار گیرد، ارزش متفاوتی دارد. NPV مجموع کل هزینه‌های قبل از شروع پروژه را مد نظر قرار می‌دهد، یعنی بر اساس جمع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اندازه‌گیری و بازگرداندن هزینه‌های بهره برداری، تعمیر و نگهداری و ارزش اسقاط به زمان سرمایه‌گذاری محاسبه می‌شود [۱۱].

۳-۶-۲- روش معادل (یکنواخت) سالانه

روش معادل (یکنواخت) سالانه یا $EUAC^{24}$ ، که در این روش کلیه هزینه‌ها مرتبط با هر پروژه به یک سری یکنواخت سالانه (یا ماهانه) تبدیل می‌کند.

²⁴ Net Future Value

محاسبات این دو روش با کمک فرمول‌های زیر انجام می‌شود [۱۱]:

$$F=P(1+i)^n \quad (۳-۳)$$

$$P=F/(1+i)^n \quad (۴-۳)$$

$$P=A((1+i)^n-1)/(i(1+i)^n) \quad (۵-۳)$$

$$A=Pi(1+i)^n/((1+i)^n-1) \quad (۶-۳)$$

در این فرمول‌ها "P" سرمایه اولیه یا ارزش فعلی سرمایه است، "F" اصل و فرع و ارزش آینده سرمایه نامیده می‌شود که مجموع اصل سرمایه به همراه سود آن را در زمان مورد نظر محاسبه می‌کند، "i" نرخ بهره براساس زمان انجام محاسبات است، "A" هزینه یا درآمد مساوی یکنواخت نام دارد که مقدار سود را برای هر ماه نشان می‌دهد و "n" تعداد دوره استفاده از سرمایه را وارد محاسبه می‌کند [۱۱].

در این تحقیق پس از استعلام بانکی و مشخص شدن نرخ سود ۲۴ درصد سالیانه معادل ۲ درصد ماهیانه در سال ۹۴، با توجه به ارزش زمانی پول، محاسبات PW و EUAC با استفاده از فرمول‌های مذکور انجام شد. همه هزینه‌های بعدی (مثل تعمیر و نگهداری) محاسبه و بر اساس نرخ بهره سال ۹۴ به ماه اول یعنی زمان خرید پروژکتور بازگردانده شد و مجموع این هزینه‌ها و هزینه خرید اولیه مبنای مقایسه اقتصادی پروژکتورها قرار گرفت.

بنابراین روش ارزیابی اقتصادی تحقیق حاضر را می‌توان چنین خلاصه نمود:

- ۱- محاسبه قیمت تمام شده هر پروژکتور LED با جمع کردن قیمت اجزا
- ۲- استخراج قیمت تمام شده پروژکتورهای بخار سدیم، بخار جیوه، هلیومو فلوروسنت و هزینه‌های

تعمیر و نگهداری از دفاتر ثبت هزینه‌های معدن

۳- اندازه‌گیری هزینه برق مصرفی در هر ماه آزمایش پروژکتورهای LED

۴- محاسبه هزینه‌های برق مصرفی پروژکتورهای بخار سدیم، بخار جیوه، هلیوم و فلوروسنت

۵- محاسبه هزینه‌های تعمیر و نگهداری بر اساس در نظر گرفتن هزینه تعویض یا تعمیر قطعات

خراب شده (مثل تعویض لنز افتاده، درایور سوخته، LED دچار افت نور شده، PCB سولفاته شده، قاب پروژکتور)

۶- محاسبه ارزش فعلی هزینه‌ها و معادل سالانه پروژکتورهای LED و متال هالید

۷- تحلیل حساسیت هزینه‌ها با استفاده از نرم افزار کریستال بال

۳-۷- یافته‌های ارزیابی اقتصادی

جهت ارزیابی اقتصادی ۳ مدل پروژکتور LED با وات‌های مصرفی 6w/h و 20w/h و 30w/h که در مدت ۱۴ ماه به صورت شبانه روزی (۲۴ ساعته) در معدن نمونه روشن بوده‌اند، مورد آزمایش قرار گرفتند. مدت زمان استفاده از این پروژکتورها مجموعاً در پایان ۱۴ ماه ۱۰۱۷۶ ساعت بوده است.

۳-۷-۱- نتایج حاصل از محاسبه ارزش فعلی هزینه و ارزش معادل سالانه

در نخستین مرحله ارزیابی اقتصادی، قیمت تمام شده هر کدام از این پروژکتورها بر حسب ریال بر اساس اجزا محاسبه شده است که در جدول ۴-۱۹ مشخص است.

جدول ۳-۲۰- قیمت اجزا و قیمت تمام شده هر پروژکتور نمونه (بر حسب ریال)

وات مصرفی	گرید	قیمت قاب	قیمت درایور	قیمت واحد LED*	قیمت مجموع LED	قیمت PCB	هزینه جانبی و لنز	قیمت تمام شده
۶	A	۱۵۰۰۰۰	۹۰۰۰۰	**۱۱۰۰۰	۶۶۰۰۰	۶۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۹۶۰۰۰
	B	۱۲۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۹۰۰۰	۵۴۰۰۰	۶۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۳۴۰۰۰
	C	۱۰۰۰۰۰	***۵۰۰۰۰	۵۰۰۰	۳۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۴۰۰۰۰
۲۰	A	۲۵۰۰۰۰	۱۷۰۰۰۰	**۱۱۰۰۰	۲۲۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰
	B	۲۳۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۹۰۰۰	۱۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۶۴۰۰۰۰
	C	۲۰۰۰۰۰	***۹۰۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۴۶۰۰۰۰
۳۰	A	۳۵۰۰۰۰	۲۲۰۰۰۰	**۱۱۰۰۰	۳۳۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۰۴۰۰۰۰
	B	۳۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۹۰۰۰	۲۷۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۹۳۰۰۰۰
	C	۳۰۰۰۰۰	**۱۵۰۰۰۰	۵۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰

*در پروژکتورهای ساخته شده، وات مصرفی هر LED، w1 است و بنابراین برای مثال در پروژکتورهای ۶ وات، از LED۶ و در ۲۰ وات از LED۲۰ استفاده شده است.

**LEDهای مورد استفاده در گرید B و گرید C فاقد زهر هستند که در صورت سوختن به دلیل سری بودن مدار، کل مدار قطع شده و پروژکتورهای آنها خاموش می‌شوند.

***درایورهای مورد استفاده در گرید C پروژکتورها غیر IP بوده که در صورت نفوذ آب اتصالی کرده و می‌سوزند.

مطابق جدول ۳-۲۰ با توجه به قیمت‌های تمام شده مشخص است که تفاوت قیمت بین گرید A و C که یکی صرف نظر از قیمت و یکی صرف نظر از کیفیت تولید شده‌اند چه میزان است: در پروژکتورهای ۶ وات این دو گرید اختلاف ۵۶۰۰۰ ریالی، در نمونه‌های ۲۰ وات اختلاف ۲۹۰۰۰۰ ریالی و در نمونه‌های ۳۰ وات اختلاف ۳۴۰۰۰۰ ریالی وجود دارد.

در مرحله بعد، هزینه‌های برق مصرفی پروژکتورها در طول مدت تحقیق اندازه‌گیری شده است که در جداول ۴-۲۱، ۴-۲۲، ۴-۲۳ و ۴-۲۴ مشخص است. هزینه برق در هر روز ۱۸.۷۲۲ ریال است. از آنجایی که هزینه برق مصرفی گریدهای مختلف پروژکتورها متفاوت نیست معیاری قابل استنادی برای مقایسه بین پروژکتورها نیست.

جهت مقایسه قیمت تمام شده پروژکتورهای LED با سایر پروژکتورهای مورد استفاده در معادن با استفاده از دفاتر ثبت هزینه معدن و همچنین استعلام قیمت از بازار هزینه تمام شده سایر چراغ‌های مورد استفاده در جدول ۴-۲۰ آمده است.

جدول ۳-۲۱- قیمت تمام شده پروژکتورهای مورد استفاده فعلی در معدن

پروژکتور	توان مصرفی (W)	قیمت لامپ (ریال)	قیمت قاب (ریال)	قیمت ترانس (ریال)	قیمت استارت (ریال)	قیمت تمام شده (ریال)
بخار سدیم	۱۰۰	۳۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۰۷۰۰۰۰
	۲۵۰	۳۲۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۲۵۰۰۰۰
	۴۰۰	۳۵۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۴۴۰۰۰۰
بخار جیوه	۱۰۰	۲۵۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۰۲۰۰۰۰
	۲۵۰	۲۹۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۲۲۰۰۰۰
	۴۰۰	۳۱۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰
هلیوم	۱۰۰	۲۲۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۹۹۰۰۰۰
	۲۵۰	۲۷۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰
	۴۰۰	۲۹۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۳۸۰۰۰۰
فلوروسنت	آفتابی ۴۸	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰
	یخی ۴۸	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰

همانطور که جدول ۳-۲۱ مشاهده می‌شود، قیمت تمام شده پروژکتور بخار سدیم ۱۰۰ وات ۱۰۷۰۰۰۰ ریال است، این در حالیست که قیمت تمام شده پروژکتور فلوروسنت ۷۴۰۰۰۰ ریال است. به طور کلی با توجه با جدول ۳-۲۱ و مقایسه آن با جدول ۳-۲۰ از لحاظ قیمت تمام شده به جز پروژکتورهای فلوروسنت هیچ یک از پروژکتورهای متال هالید حتی قابل رقابت با پروژکتورهای LED گردید A که از لحاظ قیمتی در رتبه گرانتری قرار دارند نیز نیستند.

جدول ۳-۲۲ هزینه برق هر پروژکتور LED در ۷ ماه اول آزمایش (بر حسب ریال)

هزینه هر ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
روزکارکرد ماهانه	۳۰	۳۰	۳۰	۲۸	۳۱	۳۱	۳۱
هزینه برق یک روز	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲
P۶w-A	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۱۴۵.۲۹۶	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲
P۶w-B	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۱۴۵.۲۹۶	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲
P۶w-C	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۱۴۵.۲۹۶	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲
P۲۰w-A	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۰۴۸۴.۲۲	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴
P۲۰w-B	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۰۴۸۴.۲۲	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴
P۲۰w-C	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۰۴۸۴.۲۲	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴
P۳۰w-A	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۵۷۲۶.۴۸	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶
P۳۰w-B	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۵۷۲۶.۴۸	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶
P۳۰w-C	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۵۷۲۶.۴۸	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶

جدول ۳-۲۳ - هزینه برق هر پروژکتور LED در ۷ ماه دوم آزمایش (بر حسب ریال)

هزینه هر ماه	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
روزکارکرد ماهانه	۳۱	۳۱	۳۱	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
هزینه برق یک روز	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲
P۶w-A	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶
P۶w-B	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶
P۶w-C	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۴۸۲.۲۹۲	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶	۲۲۶۹.۹۶
P۲۰w-A	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲
P۲۰w-B	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲
P۲۰w-C	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۶۰۷.۶۴	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲	۱۱۲۳۲.۲
P۳۰w-A	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸
P۳۰w-B	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸
P۳۰w-C	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۷۴۱۱.۴۶	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸	۱۶۸۴۹.۸

با استفاده از اطلاعات ثبت شده در دفتر معدن در خصوص هزینه‌های برق مصرفی و استخراج هزینه برق مصرفی به ازای هر روز (۲۴ ساعت) و با توجه به تغییر تعداد روزهای ماه در سال جداول ۳-۲۴ و ۳-۲۵ تهیه شده است.

جدول ۳-۲۴- هزینه برق پروژکتورهای مورد استفاده فعلی درمعدن، ۷ ماه اول آزمایش (بر حسب ریال)

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
روزکارکرد ماهانه	۳۰	۳۰	۳۰	۲۸	۳۱	۳۱	۳۱
توان مصرفی لهزینه برق یک روز	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲
بخار سدیم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
بخار جیوه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
هلیوم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
فلوروست	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸
یخی	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸

جدول ۳-۲۵- هزینه برق پروژکتورهای مورد استفاده فعلی درمعدن، ۷ ماه دوم آزمایش (بر حسب ریال)

ماه	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
روزکارکرد ماهانه	۳۱	۳۱	۳۱	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
توان مصرفی لهزینه برق یک روز	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲	۱۸.۷۲۲
بخار سدیم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
بخار جیوه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
هلیوم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
فلوروست	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸
یخی	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸

جدول ۳-۲۶- هزینه برق مصرفی پروژکتور در مدت زمان ۱۴ ماه به صورت شبانه روزی

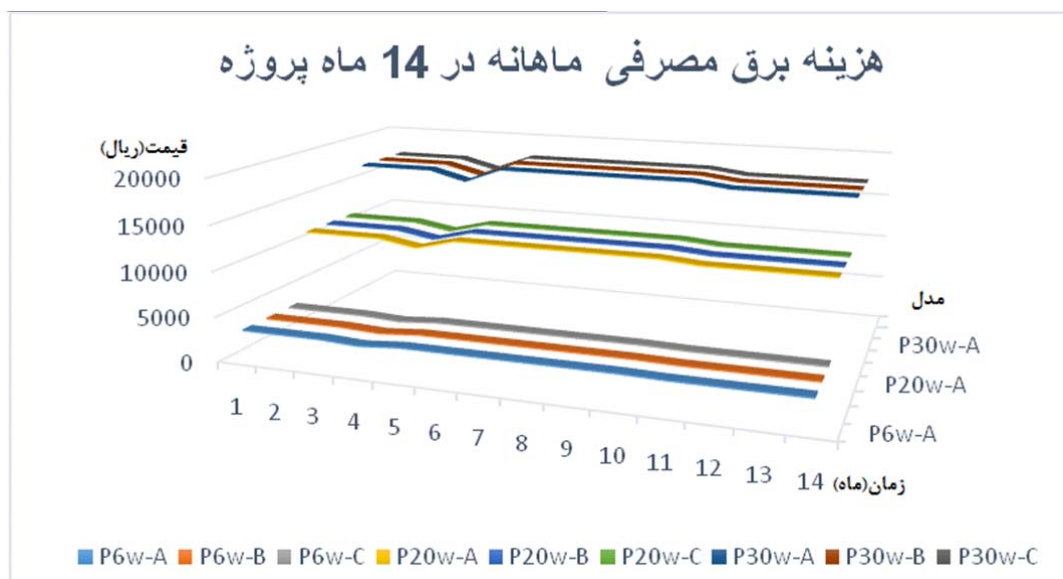
نوع پروژکتور	توان مصرفی (W)	هزینه برق مصرفی ۱۴ ماه شبانه روزی
بخار سدیم	۱۰۰	ریال ۷۱۱,۰۳۳
	۲۵۰	ریال ۱,۷۷۷,۵۸۳
	۴۰۰	ریال ۲,۸۴۴,۱۳۳
بخار جیوه	۱۰۰	ریال ۷۱۱,۰۳۳
	۲۵۰	ریال ۱,۷۷۷,۵۸۳
	۴۰۰	ریال ۲,۸۴۴,۱۳۳
هلیوم	۱۰۰	ریال ۷۱۱,۰۳۳
	۲۵۰	ریال ۱,۷۷۷,۵۸۳
	۴۰۰	ریال ۲,۸۴۴,۱۳۳
فلوروسنت	آفتابی ۴۸	ریال ۳۴۱,۲۹۶
	یخی ۴۸	ریال ۳۴۱,۲۹۶
LED گرید A	۶	ریال ۴۲,۶۶۲
	۲۰	ریال ۱۴۲,۲۰۷
	۳۰	ریال ۲۱۳,۳۱۰

در جدول ۳-۲۶ هزینه برق مصرفی پروژکتورها با استفاده از فرمول ارزش فعلی و نرخ سود ۱۸ درصد سالیانه (۱.۵ درصد ماهیانه) محاسبه شده است.

همانطور که در جدول ۳-۲۶ مشاهده می شود، اختلاف هزینه برق مصرفی پروژکتورهای LED با پروژکتورهای بخار سدیم، بخار جیوه و هلیوم از ۳ برابر نیز بیشتر است و از این لحاظ فقط فلوروسنت قابل رقابت با LED است.

باید توجه داشت که این پروژکتورها به صورت شبانه روزی (۳ شیفت ۸ ساعته) روشن بوده اند، و در حال عادی این هزینه در ۳ سال و نیم اتفاق می افتد.

شکل ۳-۱۴ مقایسه برق مصرفی همه پروژکتورهای LED مورد آزمایش را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۴- نمودار مقایسه هزینه برق مصرفی پروژکتورهای LED نمونه در مدت آزمایش

در مرحله سوم هزینه‌های تعمیر و نگهداری در مدت آزمایش ثبت شده‌اند که در جدول ۴-۲۶ نتایج این ثبت به طور مجزا مشخص است.

طبق جدول ۳-۲۷ گزارش خرابی قطعات هر پروژکتور در مدت آزمایش که موجب در نظر گرفتن هزینه تعمیر بوده است، به شرح زیر است:

پروژکتور ۶وات گرید B (P6w-B)

- ۱- اولین هزینه در ماه ۶ به دلیل افتادن لنزها ناشی از عدم کیفیت آن
- ۲- دومین هزینه در ماه ۱۲ به دلیل نفوذ آب به داخل چراغ و در نتیجه سوختن درایور و تحمیل هزینه‌های جانبی
- ۳- سومین هزینه در ماه ۱۴ به دلیل افت نور تعدادی از LEDها بیشتر از ۷۰ درصد و نفوذ نم و سولفات‌شدن PCB

پروژکتور ۶۰وات گرید C، (P6w-C)

- ۱- اولین هزینه در ماه ۲ به دلیل افتادن و تغییر شکل ظاهری لنزها، افت نور LED به دلیل عدم انتقال حرارت توسط قاب
- ۲- دومین هزینه در ماه ۴ به دلیل نفوذ آب و سوختن درایور و LED
- ۳- سومین هزینه در ماه ۶ به دلیل نفوذ اندکی نم و سولفات شده شدن PCB
- ۴- چهارمین هزینه در ماه ۹ به دلیل نفوذ آب و در نتیجه سوختن درایور و LED و PCB
- ۵- پنجمین هزینه در ماه ۱۲ به دلیل بلا استفاده شدن قاب و نیاز به تعویض قاب و بازسازی کامل
- ۶- ششمین هزینه در ماه ۱۴ به دلیل افت نور بیشتر از ۷۰ درصد تمام LED ها

پروژکتور ۲۰وات گرید B، (P20w-B)

- ۱- اولین هزینه در ماه ۶ به دلیل هزینه‌های جزئی و افتادن لنزها
- ۲- دومین هزینه در ماه ۱۲ به دلیل افت نور بیشتر از ۷۰ درصد تمام LED ها و هزینه‌های جانبی

پروژکتور ۲۰وات گرید C، (P20w-C)

- ۱- اولین هزینه در ماه ۲ به دلیل افت نور بیشتر از ۷۰ درصد تمام LED ها و هزینه جانبی تعمیر
- ۲- دومین هزینه در ماه ۴ به دلیل سوختن درایور ناشی از نوسان جریان برق شبکه
- ۳- سومین هزینه در ماه ۶ به دلیل نفوذ آب و سوختن تمام LED ها و درایور و PCB
- ۴- چهارمین هزینه در ماه ۹ به دلیل نفوذ آب و سوختن درایور و PCB و تعدادی از LED ها
- ۵- پنجمین هزینه در ماه ۱۲ به علت غیر قابل استفاده شدن قاب ناشی از تعمیرات زیاد و افت نور بیشتر از ۷۰ درصد LED ها

پروژکتور ۳۰ وات گرید B، (P30w-B)

- ۱- اولین هزینه در ماه ۶ به دلیل افت نور تعدادی از LED ها
- ۲- دومین هزینه در ماه ۱۲ به دلیل افت نور بیشتر از ۷۰ درصد LED ها و نیاز به PCB جدید

پروژکتور 30 وات گرید C، (P30w-C)

- ۱- اولین هزینه در ماه ۲ به دلیل افت نور بیشتر از ۷۰ درصد LED ها
- ۲- دومین هزینه در ماه ۵ به دلیل افت نور بیشتر از ۷۰ درصد LED ها
- ۳- سومین هزینه در ماه ۸ به دلیل افت نور بیشتر از ۷۰ درصد LED ها و نیاز به PCB جدید
- ۴- چهارمین هزینه در ماه ۱۱ به دلیل نفوذ آب و سوختن کامل LED ها و درایور
- ۵- پنجمین هزینه در ماه ۱۲ به دلیل نیاز به تعویض قاب در اثر عدم مقاومت در برابر ضربه و هزینه جانبی آن
- ۶- ششمین هزینه در ماه ۱۴ به دلیل افت بیشتر از ۷۰ درصد LED ها و نیاز به تعویض آنها

جدول ۲۷-۳ هزینه تعمیر و نگهداری پروژکتورها نمونه در مدت زمان آزمایش (ریال)

ارزش اسقاطی	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	هزینه اولیه
-350000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	396000
-300000	70000	-	80000	-	-	-	-	-	30000	-	-	-	-	-	334000
-200000	30000	-	190000	-	-	130000	-	-	80000	-	80000	-	30000	-	240000
-530000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	750000
-600000	-	-	200000	-	-	-	-	-	30000	-	-	-	-	-	640000
-450000	90000	-	310000	-	-	180000	-	-	160000	-	90000	-	10000	-	460000
-700000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1040000
-840000	-	200000	-	-	-	-	-	-	40000	-	-	-	-	-	930000
-670000	150000	-	150000	300000	-	-	230000	-	-	150000	-	-	150000	-	700000

با استفاده از اطلاعات بدست آمده از ارزیابی فنی در تعیین عمر پروژکتورها و هزینه های ثبت شده (مطابق جدول ۳-۲۸) در خصوص هزینه خرید اولیه و تعمیر و نگهداری، جهت مقایسه اقتصادی با توجه تفاوت عمر پروژکتورها ک.م.م عمر پروژکتورها محاسبه شده و جدول ۴-۲۸ تکمیل شده است.

جدول ۳-۲۸ قیمت تمام شده پروژکتورهای گازی بخار سدیم، بخار جیوه، هلیوم و فلوروسنت

پروژکتور	توان مصرفی (W)	قیمت لامپ (ریال)	قیمت قاب (ریال)	قیمت ترانس (ریال)	قیمت استارت (ریال)	قیمت تمام شده (ریال)
بخار سدیم	۱۰۰	۳۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۰۷۰۰۰۰
	۲۵۰	۳۲۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۲۵۰۰۰۰
	۴۰۰	۳۵۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۴۴۰۰۰۰
بخار جیوه	۱۰۰	۲۵۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۰۲۰۰۰۰
	۲۵۰	۲۹۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۲۲۰۰۰۰
	۴۰۰	۳۱۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰
هلیوم	۱۰۰	۲۲۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۹۹۰۰۰۰
	۲۵۰	۲۷۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰
	۴۰۰	۲۹۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۳۸۰۰۰۰
فلوروسنت	۴۸ آفتابی	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰
	یخی ۴۸	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰

جدول ۳-۲۹ هزینه های تعمیر و نگهداری پروژکتورهای مورد استفاده در معدن و محاسبه NPV و EUAC

EUAC	NPV	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم	سال ششم	سال هفتم	سال هشتم	سال نهم	سال دهم	سال یازدهم	سال دوازدهم	ساعت کاری
		۲۵۰	۵۰۰	۷۵۰	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۷۵۰	۲۰۰۰	۲۲۵۰	۲۵۰۰	۲۷۵۰	۳۰۰۰	
بخار سدیم		۱۰۷۰۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۴۲۸۰۰۰	۱۰۰
		۱۲۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۲۵۰
		۱۴۴۰۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	۴۰۰
بخار جیوه		۱۰۲۰۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۴۰۸۰۰۰	۱۰۰
		۱۲۲۰۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۴۸۸۰۰۰	۲۵۰
		۱۴۰۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۵۶۰۰۰۰	۴۰۰
هلیوم		۹۹۰۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۳۹۶۰۰۰	۱۰۰
		۱۲۰۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۲۵۰
		۱۳۸۰۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۵۵۲۰۰۰	۴۰۰
فلوروسنت		۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۴۸ آفتابی
		۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۷۴۰۰۰۰	۴۸ یخی
LED		۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۲۰
		۱۰۴۰۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۸۳۲۰۰۰	۳۰

مطابق با جدول ۴-۲۸ هر ۲۵۰۰ ساعت عمر پروژکتور معادل یک سال در نظر گرفته شده است، باتوجه به این موضوع ارزیابی اقتصادی و محاسبه ارزش فعلی سرمایه NPV با استفاده از نرخ سود بانکی ۱۸ درصد محاسبه شده است. EUAC (هزینه معادل سالانه) هر پروژکتور نیز محاسبه شده است.

از آنجایی که در آزمایشات فنی پروژکتورهای LED ۲۰ وات و ۳۰ وات توانستند از لحاظ شدت روشنایی استانداردهای محیطهای معدنی را تامین کنند درجدول مقایسه اقتصادی ۴-۲۸ فقط از این مدل پروژکتورهای LED استفاده شده است.

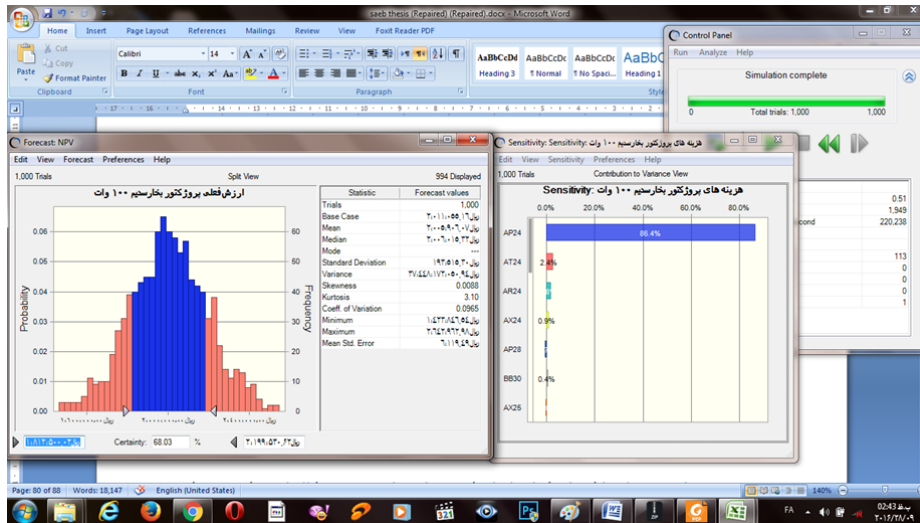
با توجه به جدول ۴-۲۸ فقط پروژکتورهای فلوروسنت و LED کمترین هزینه‌ها را دارند و قابل رقابت با یکدیگر هستند.

۳-۷-۲- نتایج حاصل از شبیه سازی در نرم افزار کریستال بال

با استفاده از نرم افزار کریستال بال حساسیت و درصد احتمال تغییر هزینه‌های محاسبه شده طبق توضیح نرمال بررسی کردیم (شکل ۴-۱۴) و نتایج هر پروژکتور در تصاویر ۴-۱۵ تا ... آمده است.

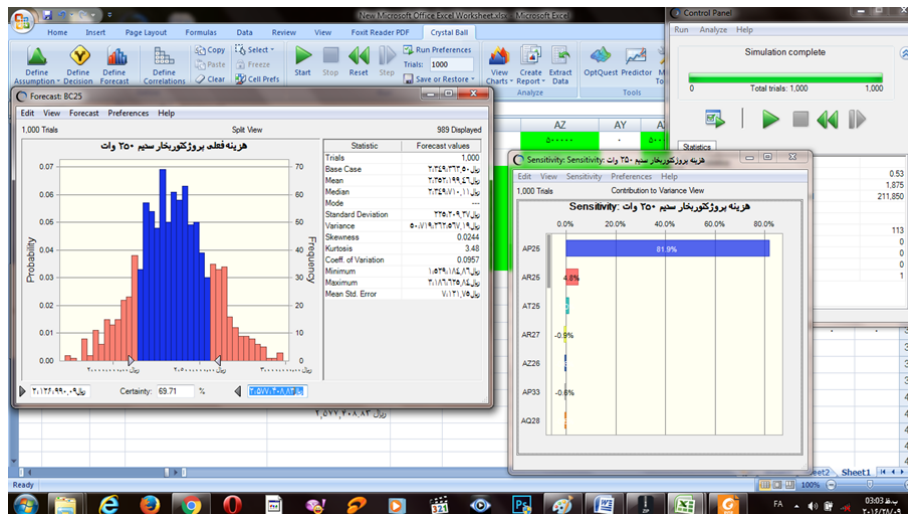
AN37	BC	BB	BA	AZ	AY	AX	AW	AV	AU	AT	AS	AR	AQ	AP	AO	AN
NPV	۲,۰۰۱,۰۵۵.۲۴	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	۱۰۰	بخار سرد
۲۰ وات	۲,۳۳۱,۳۳۴.۵۰	۵۰۰,۰۰۰	-	۵۰۰,۰۰۰	-	۵۰۰,۰۰۰	-	۵۰۰,۰۰۰	-	۵۰۰,۰۰۰	-	۵۰۰,۰۰۰	-	۵۰۰,۰۰۰	۴۵۰	۲۰ وات
۳۰ وات	۲,۳۶۱,۳۳۴.۹۵	۵۷۰,۰۰۰	-	۵۷۰,۰۰۰	-	۵۷۰,۰۰۰	-	۵۷۰,۰۰۰	-	۵۷۰,۰۰۰	-	۵۷۰,۰۰۰	-	۵۷۰,۰۰۰	۴۰۰	۳۰ وات
۴۸ وات	۲,۳۷۵,۳۵۵.۲۴	۶۰۰,۰۰۰	-	۶۰۰,۰۰۰	-	۶۰۰,۰۰۰	-	۶۰۰,۰۰۰	-	۶۰۰,۰۰۰	-	۶۰۰,۰۰۰	-	۶۰۰,۰۰۰	۱۰۰	بخار جیوه
LED	۲,۵۵۹,۰۲۲.۳۳	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	۴۵۰	۲۰ وات
فلوروسنت	۲,۰۰۱,۰۵۵.۲۴	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	۴۰۰	۳۰ وات
فلوروسنت ۴۸ وات	۲,۵۵۹,۰۲۲.۳۳	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	-	۲۸۸,۰۰۰	۴۵۰	۲۰ وات
LED	۲,۰۰۱,۰۵۵.۲۴	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	۴۰۰	۳۰ وات
LED	۲,۰۰۱,۰۵۵.۲۴	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	-	۲۲۸,۰۰۰	۴۰۰	۳۰ وات

شکل ۳-۱۵ تعریف مسئله برای نرم افزار کریستال بال



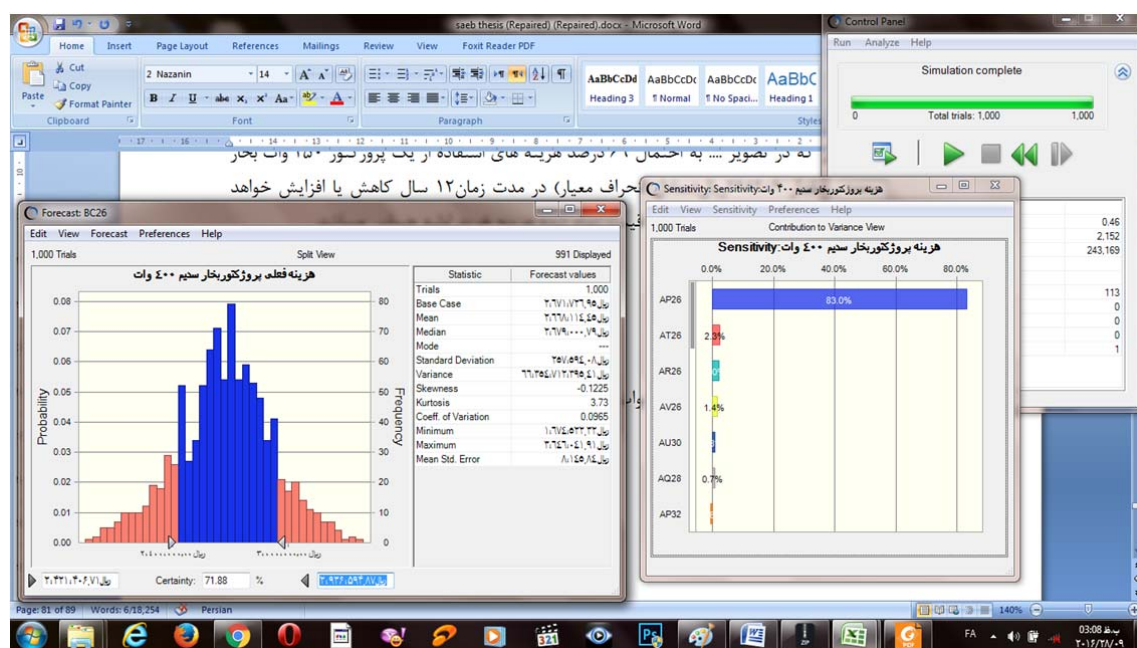
شکل ۳-۱۶- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژه کتور بخار سیدیم ۱۰۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۱۶ به احتمال ۶۸ درصد هزینه های استفاده از یک پروژه کتور ۱۰۰ وات بخار سیدیم به مقدار ۱۹۳۵۱۵ ریال (معادل انحراف معیار) در مدت زمان ۱۲ سال کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۴ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



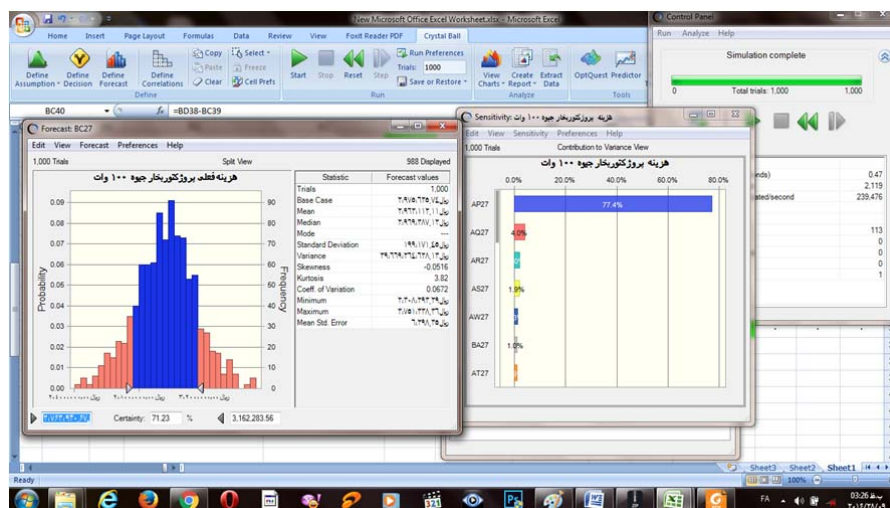
شکل ۳-۱۷- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژه کتور بخار سیدیم ۲۵۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۱۷ به احتمال ۶۹ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور ۲۵۰ وات بخار سدیم در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۲۲۵۲۰۹ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۰ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



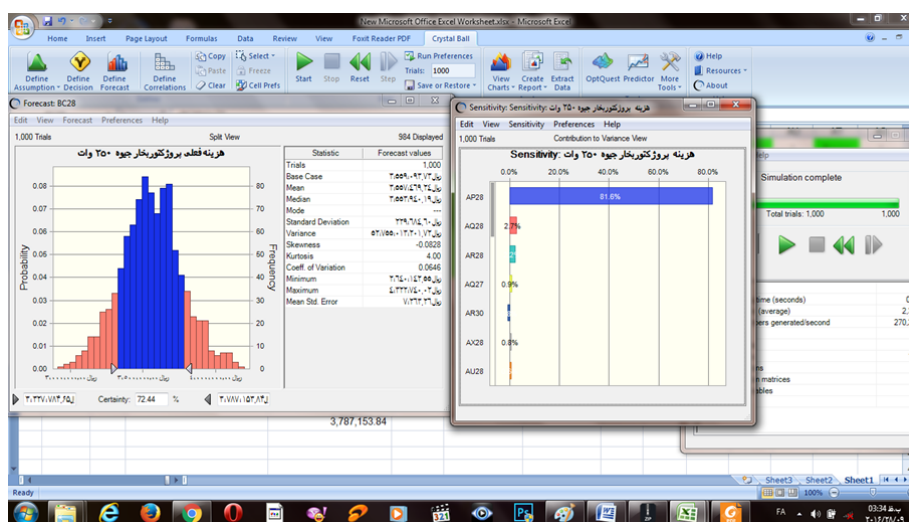
شکل ۳-۱۸ نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور بخار سدیم ۲۵۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۱۸ به احتمال ۷۲ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور ۲۵۰ وات بخار سدیم در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۲۵۷۵۹۴ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۳ درصد نسبت به قیمت تمام شده (هزینه خرید اولیه) حساس است.



شکل ۳-۱۹ نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژه تگور بخار جیوه ۱۰۰ وات

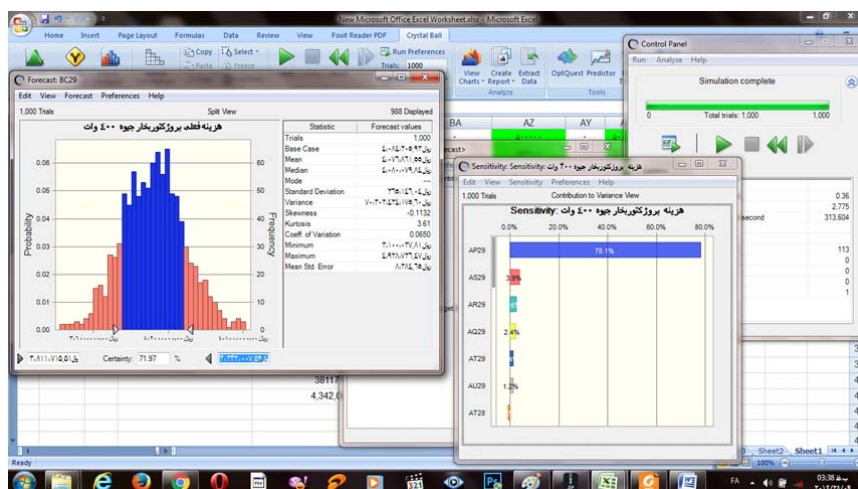
همان طور که در تصویر ۳-۱۹ به احتمال ۷۱ درصد هزینه های استفاده از یک پروژه تگور ۱۰۰ وات بخار جیوه در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۱۹۹۱۷۱ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۷۷ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



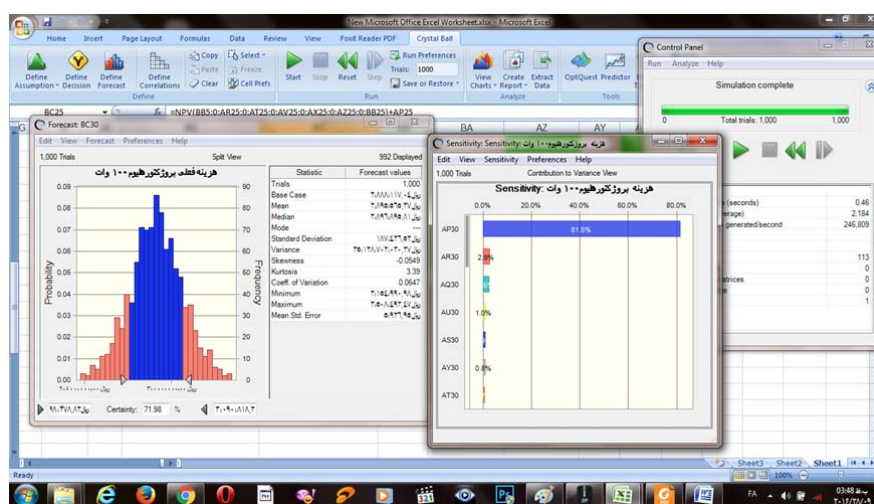
شکل ۴-۱۹ نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژه تگور بخار جیوه ۲۵۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۲۰ به احتمال ۷۲ درصد هزینه های استفاده از یک

پروژکتور ۲۵۰ وات بخار جیوه در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۲۲۹۶۸۴ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۱ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.

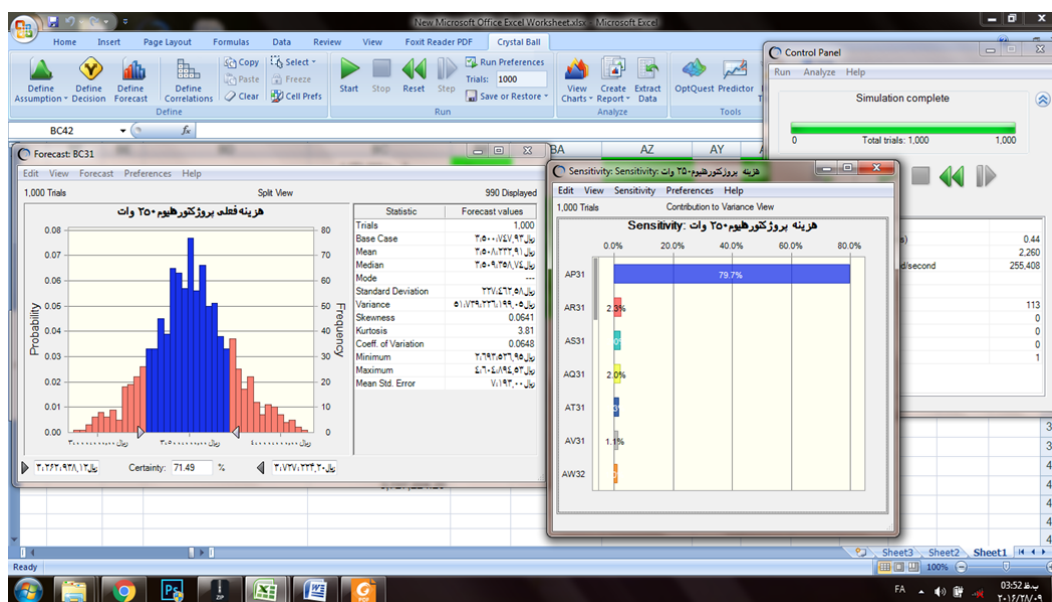


شکل ۳-۲۱- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور بخار جیوه ۴۰۰ وات همان طور که در تصویر ۴-۲۰ به احتمال ۷۲ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور ۴۰۰ وات بخار جیوه در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۲۶۵۱۴۶ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۷۸ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



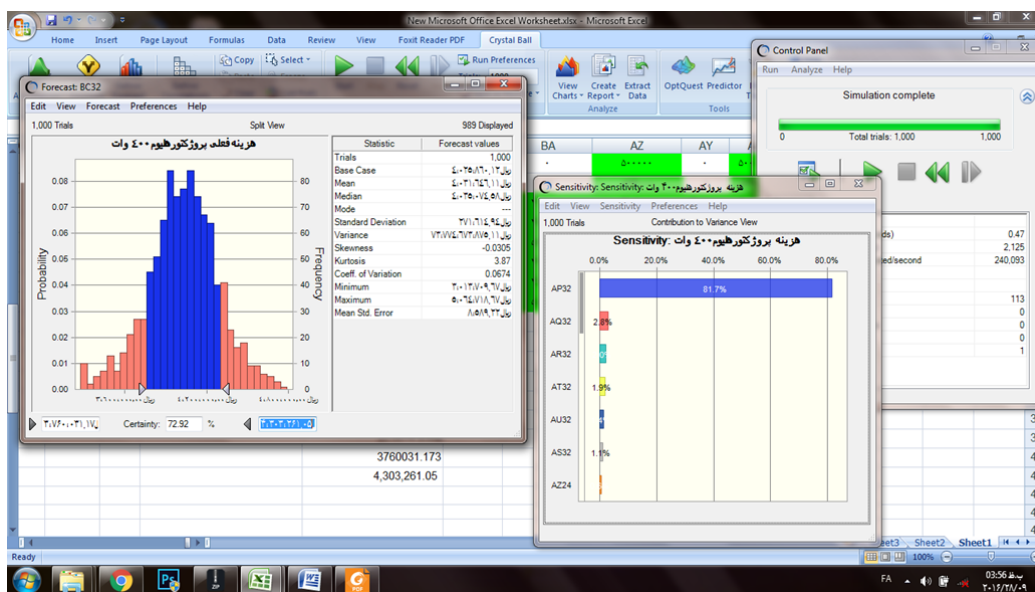
شکل ۳-۲۲- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور هلیوم ۱۰۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۲۲ به احتمال ۷۲ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور ۱۰۰ وات هلیوم در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۱۹۶۱۶۹ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۱ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



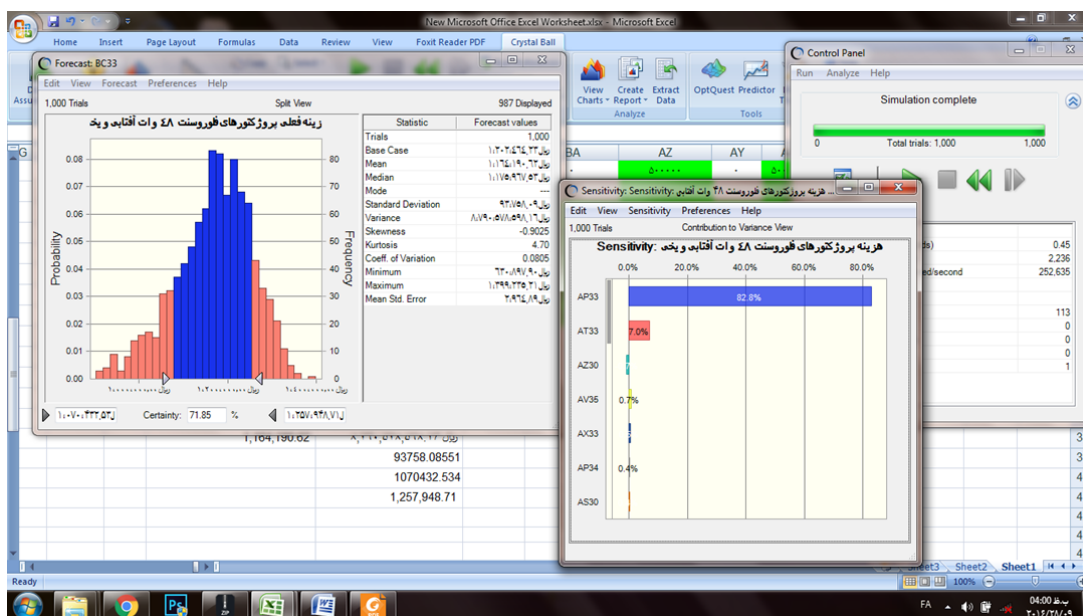
شکل ۳-۲۳- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور هلیوم ۲۵۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۲۳ به احتمال ۷۱ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور ۲۵۰ وات هلیوم در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۲۳۲۱۴۳ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۷۹ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



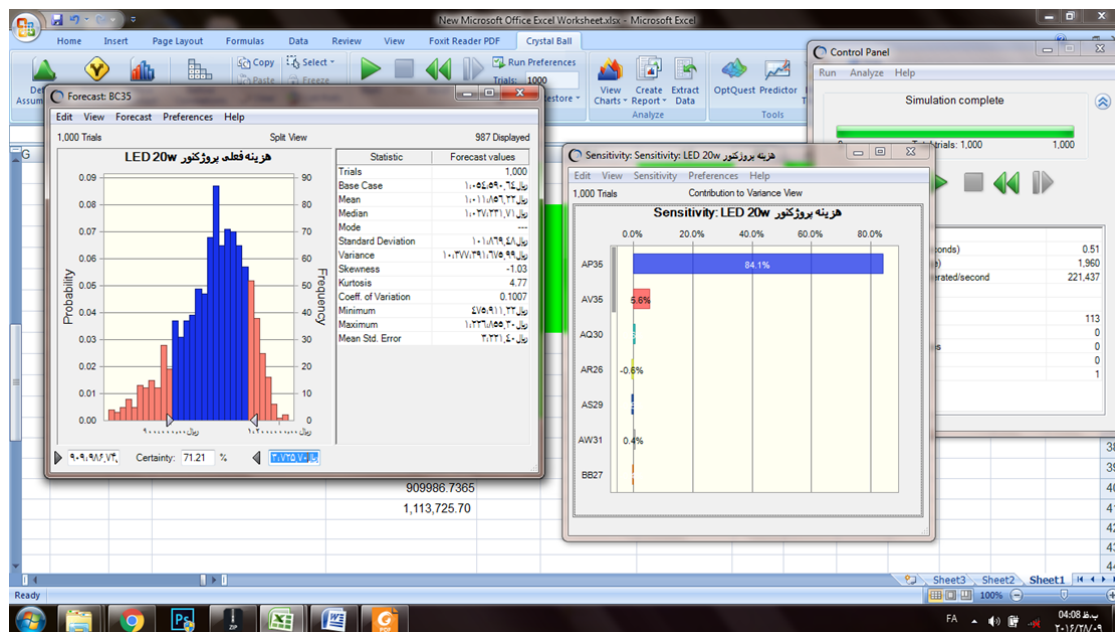
شکل ۳-۲۴- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور هلیوم ۴۰۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۲۴ به احتمال ۷۳ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور ۴۰۰ وات هلیوم در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۲۷۱۶۱۴ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۱ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



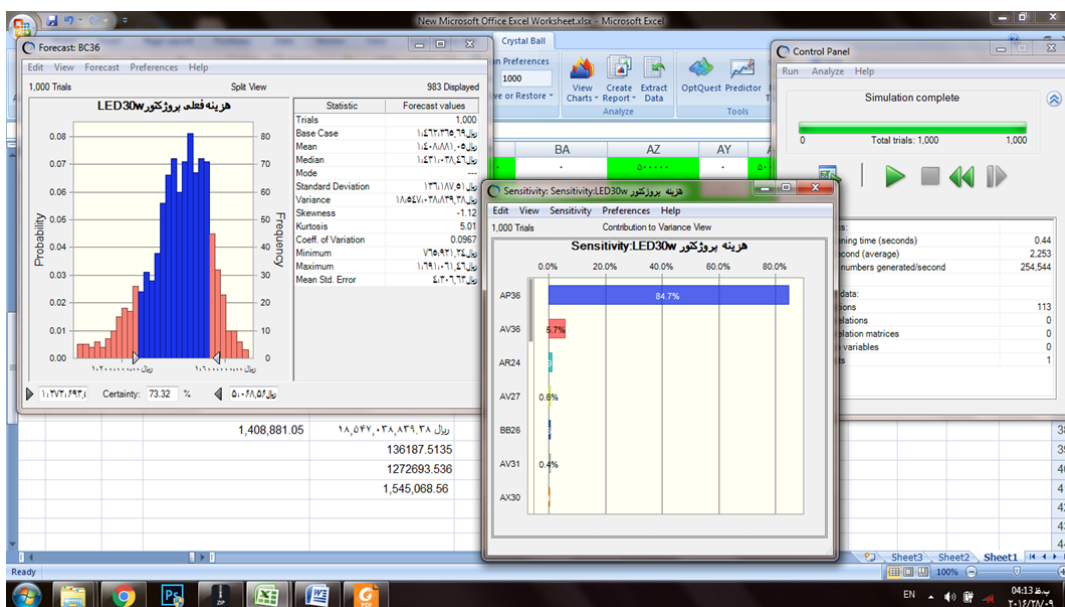
شکل ۳-۲۵- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور فلوروست ۴۸ وات آفتابی و یخی

همان طور که در تصویر ۳-۲۵ به احتمال ۷۲ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور فلوروست ۴۸ وات آفتابی و یخی در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۹۳۷۵۸ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۲ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



شکل ۳-۲۶- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور LED ۲۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۲۶ به احتمال ۷۲ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور LED ۲۰ وات در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۱۰۱۸۶۹ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۴ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.



شکل ۳-۲۷- نتایج تحلیل حساسیت هزینه های پروژکتور پروژکتور LED ۳۰ وات

همان طور که در تصویر ۳-۲۷ به احتمال ۷۳ درصد هزینه های استفاده از یک پروژکتور LED ۳۰ وات در مدت زمان ۱۲ سال به مقدار ۱۳۶۱۸۷ ریال (معادل انحراف معیار) کاهش یا افزایش خواهد داشت و به میزان ۸۴ درصد نسبت به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه حساس است.

با توجه به تحلیل حساسیت انجام شده در خصوص هزینه های پروژکتورهای مورد استفاده فعلی و همچنین پروژکتورهای LED مورد بررسی نتایج حاصل نشان می دهد که این هزینه ها بسیار به هزینه خرید اولیه پروژکتورها حساس هستند. با توجه به این موضوع که هزینه خرید اولیه پروژکتورهای LED از سایر پروژکتورهای مورد استفاده در معادن کمتر بوده به نظر راه حل مقرون به صرفه تری است.

فصل چهارم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۴-۱- نتیجه‌گیری

پروژکتورهای LED مزایایی دارند که موجب می‌شود جایگزینی مناسب برای سیستم‌های روشنایی محیط‌های کاری به نظر آیند. قابلیت‌های تنظیم شدت و زاویه تابش، نداشتن خاموشی ناگهانی، بازده بالای نور، کم مصرف بودن، زمان کوتاه رسیدن به حداکثر نور، ایجاد گرمای کمتر، قابلیت استفاده از منابع تغذیه متنوع و طول عمر زیاد از یکسو و قابلیت انطباق و طراحی آسان مجموعه متشکل از آن متناسب با نیاز فضای مورد نظر از سوی دیگر، LED را برای نورپردازی معادن نیز مطرح ساخته است. در مطالعات جدید حوزه روشنایی معدن، تمایلاتی به بررسی LED شکل گرفته است. در تحقیقات اندک مرتبط با این مقوله، بکارگیری LED در معدن از نظر ایمنی، فنی و اقتصادی ارزیابی شده است و به طور کلی LED یک راه حل مقرون به صرفه برای روشنایی پروژه‌های صنعتی و ساختمانی شناخته شده است که می‌تواند ایمنی را نیز افزایش دهد و بسیاری از مشکلات و خطرات را از میان ببرد. پیش بینی می‌شود LED به طور کامل و حتی بالاتر از سطح استاندارد پاسخگوی نیاز روشنایی معادن باشد، اما به ویژه چون در گریدهای مختلف LED موضوع طول عمر تاثیر بسیار زیادی در کاهش شدت روشنایی دارد، باید برای هر معدن پیش از استفاده قطعی از LED بررسی‌های دقیق‌تری صورت بگیرد.

به علاوه نمونه‌هایی چون فلوروسنت نیز می‌توانند مقرون به صرفه باشند و بنابراین به تناسب هر معدن و محاسبات اقتصادی، تصمیم برای استفاده یا عدم استفاده از LED متفاوت می‌شود.

بر این اساس تحقیق حاضر بار دیگر LED را از منظر فنی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار داده است تا بکارگیری آن را در فاز جدید معدن کرومیت بندرعباس بررسی کند. فرضیه‌های اصلی تحقیق، توانایی پروژکتورهای LED در تأمین روشنایی استاندارد مورد نظر معدن و صرفه اقتصادی استفاده از آن‌ها به واسطه کمتر بودن هزینه‌های مصرف انرژی و تعمیر و نگهداری LED ها بوده است. بنابراین این تحقیق در نهایت به بررسی نمونه‌هایی پرداخته است تا در صورت اثبات وجود شدت نور لازم در LED و مقرون به صرفه بودن آن، یک روش بسیار مناسب جدید برای نورپردازی معدن معرفی کند و امکان استفاده از مزایای مختلف LED را فراهم سازد.

در این راستا نخست می‌بایست اقلامی از LED مقایسه می‌شدند. راه حل رایج برای مقایسه اقلامی با طول عمر، هزینه اولیه و هزینه تعمیر و نگهداری متفاوت استفاده از روش محاسبه کوچکترین مخرج مشترک برای عمر مفید است که بر اساس آن می‌توان با توجه به ارزش زمانی سرمایه و پول NPV هر کالا را حساب نمود و پیش بینی کرد که کدام کالا دارای هزینه کمتری است و برای انتخاب و خرید مناسب است، ولی چون اطلاعاتی که کارخانه‌های سازنده قطعات الکترونیک تجهیزات مورد نیاز پروژکتورهای LED منتشر می‌کنند عموماً جنبه تبلیغاتی دارد و تعیین عمر مفید برای این اقلام به درستی انجام نشده است، در یک مرحله از این تحقیق، عمر مفید به صورت تجربی در ۱۴ ماه آزمایش شد. برای این آزمایش، نمونه‌های متفاوتی تولید شدند تا مشخص شود در خرید تجهیزات الکترونیک LED باید قیمت ملاک باشد یا کیفیت و یا وضعیتی میان این دو موجود است که هم از نظر کیفی و هم از نظر اقتصادی مؤثر باشد.

در این راستا، پس از محاسبه روشنایی محیط و تطبیق آن با استانداردهای روشنایی در معادن، میزان قابلیت پروژکتورهای LED در روشنایی تونل‌های عبور افراد، تونل‌های حمل و نقل و کارگاه‌های

استخراج بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که شدت نور LED حتی بالاتر از سطح استاندارد است. در کارگاه استخراجی به دلیل تمرکز نور روی سینه کار میانگین نور در کل محیط (برابر ۸.۵۲ لوکس) تقریباً نصف استاندارد (معادل ۱۵ لوکس) بود، ولی شدت روشنایی روی سینه کار ۴۰ لوکس و فراتر از ۲ برابر استاندارد بود.

پس از اینکه توانایی پروژکتورهای LED در روشنایی فضا های معدنی مسجل گردید، به مقایسه این تکنولوژی با سایر چراغ های گازی بخار سدیم، بخار جیوه، هلیوم و فلوروسنت که در حال حاضر در معادن مورد استفاده قرار میگیرد انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد بازده نوری پروژکتورهای LED در مقایسه با چراغ های گازی بخار سدیم، بخار جیوه و هلیوم بیش از ۳ برابر می باشد و فقط چراغ های فلوروسنت قابل رقابت با این تکنولوژی است (مطابق شکل ۴-۱۲).

در مقایسه هزینه های برق مصرفی نیز تکنولوژی LED (طبق جدول ۴-۲۵ کاملاً اقتصادی است. با توجه به تحلیل ها حساسیت و هزینه های تعمیر و نگهداری طبق نصاب شماره ۴-۱۵ تا ۴-۲۶ بیشترین تاثیر در هزینه های سیستم های روشنایی مربوط به قیمت تمام شده هزینه خرید اولیه چراغ است که با در نظر گرفتن این موضوع و اختلاف هزینه های تمام شده پروژکتورهای LED و سایر پروژکتورها مطابق جدول های (۴-۲۱ تا ۴-۲۴) و (۴-۲۶) پروژکتورهای LED اقتصادی تر هستند.

۴-۲- پیشنهادها

به طور کلی می توان گفت برای این معدن، استفاده از پروژکتورهای LED گرید A یا B با وات مصرفی ۲۰ و ۳۰ بسیار مناسب خواهد بود و در نهایت نتایج تحقیق نشان می دهند که استفاده از سیستم روشنایی LED، باعث کاهش هزینه های بعدی و مصرف انرژی می شود. کاهش قیمت LED مطابق این تحقیق توصیه نمی شود، چون در آزمایش ها مشاهده شد که به دلیل تنوع زیاد LED و تجهیزات وابسته آن، کاهش هزینه خرید اولیه پروژکتورها دقیقاً با کاهش عمر مفید آن ها و افزایش هزینه های تعمیر و نگهداری همراه است که در نهایت مجموع هزینه ها را تحت تأثیر قرار می دهد.

بنابراین در فرآیند این تحقیق فرضیه توانایی LED در روشنایی استاندارد معادن تأیید شد، فرضیه صرفه اقتصادی آن نیز -اگرچه به تناسب شرایط معادن باید به دقت بررسی گردد- اثبات شد و تحقیق حاضر نیز هم‌راستا با تحقیقات قبلی که در فصل یک نام برده شدند، نتیجه گرفت که تکنولوژی LED یک راه‌حل مقرون به صرفه برای روشنایی پروژه‌های صنعتی و ساختمانی و البته معادن است. آزمایش‌ها و محاسبات این تحقیق بر روی عمر مفید LEDها ملاکی قابل ارائه برای بررسی‌های بعدی و انتخاب پروژکتور توسط دیگر کارگاه‌ها و معادن است.

فهرست منابع

[۱] معاونت امور معادن و صنایع معدنی (۱۳۸۸)، "دستور العمل فنی روشنایی در معادن"، دفتر نظارت و بهره برداری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن امور انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن

[2] Lewis, W. H. (1986), **Underground Coal Mine Lighting Handbook**, Information Circular/United States Department of the Interior, Bureau of Mines

[3] Zern, E. (2000), **Mine Lighting**, Mining Catalog, 1059-1081

[4] Sammarco, J. & Carr, J. (2002), **Mine Illumination: A Historical and Technological Perspective**, NIOSH, online article.

[5] Sammarco, J.J.; Mayton, A.; Lutz, T.J.; Gallagher (2009) **Evaluation of Glare for Incandescent and LED Miner Cap Lamps in Mesopic Conditions**, 10 sep 2009, Mining Engineering, Society for Mining, Metallurgy and Exploration

[6] Lighting Research Center (2006) **LED Life for General Lighting: Recommendations for the Definition and Specification of Useful Life for Light-emitting Diode Light Sources**, ASSIST Recommends

[7] George, V.; Bagaria, A.; Singh, P.; Pampattiwar, S.R.; Periwal, S. (2011) **Comparison of CFL and LED lamp - harmonic disturbances, economics (cost and power quality) and maximum possible loading in a power system**, Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues & Prospects for Asia (ICUE), 2011 International Conference 28–30 Sept., pp.1,5

[8] Michael R. Yenchek; Sammarco, John J. (2010) **The Potential Impact of Light Emitting Diode Lighting on Reducing Mining Injuries during Operation and Maintenance of Lighting Systems**, Safety Science, 14 May 2010

[9] Sammarco, J.; Pollard, J.; Porter, W.; Dempsey P.; Moore, C. (2012) **The Effect of Cap Lamp Lighting on Postural Control and Stability**, International Journal of Industrial Ergonomics, 5 May 2012

[10] Chueco F.; López F.; Bobadilla M. (2015) **Technical and economic Evaluation of Fluorescent and LED Luminaires in Underground Mining. A case study: New Mine Level of El Teniente**, Energy and Buildings, 16 February 2015

[۱۱] دکتر محمد مهدی اسکونژاد (۱۳۸۶)، اقتصاد مهندسی؛ ارزیابی اقتصادی پروژه های صنعتی، چاپ بیست و هشتم، انتشارات صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

6

[12] Charnes J. (2012) **Financial Modeling with Crystal Ball and Excel** , 2nd edition, John Wiley & Sons ,Inc., Hoboken ,New Jersey.

ABSTRACT

This study, titled as “Technical and Economic Evaluation of LED Luminaires in Underground Mining”, establishes the necessary data for new ways of lighting system planning in underground mining. The study concentrates on LEDs as they are presumed to be the newest and most useful technology in mining lighting. To evaluate this technology, the research process is designed in a way to collect lighting levels, compare it to the required level in the mining industry and examine and compare the results of the technical and economic evaluation of using LED luminaires in a sample mine case, “Chromite Mine of Bandarabbas” in Iran. The case study has provided more accurate results and is required for some evaluations which are associated to surrounding space of lighting system.

In the study, three grades of LED projectors have been produced for tests and experiments.

The evaluation process consists of two phases, one technical and one economic. Technical comparison among different grades of produced projectors is performed by both measuring the light level practically during 14 months and using DIALux software. Economic analysis is done by NPV & NFV calculations using prices and economic data.

Final results show that LED projectors can provide lighting levels that meet the standard needs of the mine and use of these projectors will be also more economic regarding the choose of right quality and Watt of LEDs.

Keywords: Mining – Mine Illumination – LED – Lighting Cost – NFP.



Kharazmi international campus
M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

Technical and economic Evaluation of LED Luminaires in Underground Mining

By: Mohamad Mahdi Trakmepour

Supervisors:

Dr. Farhang Sereshki

Dr. Mohamad Ataie

September 2016