طراحی جامع شبکه های روشنایی معابر در سیستمهای توزیع با رویکرد بهینه سازی

علی محمدی[1*]، سید علی حسینی [2]

چکیده

طراحی شبکه های روشنایی معابر در شرکت های توزیع برق همواره با چالش های خاص خود همراه بوده است. رعایت الزامات فنی محاسبات روشنایی معابر و تحلیل های الکتریکی از یکطرف و نیاز به تحلیل اقتصادی از سوی دیگر حائز اهمیت می باشد. بنابراین با تهیه طرح های سنتی متفاوت تلقی می شود. مهمترین دلیل این پیچیدگی عدم دسترسی به جداول طراحی بهینه با در نظر گرفتن تمامی پارامترهای طراحی مربوط به روشنایی و بخش الکتریکی می باشد. به طوری که در حال حاضر هر پروژه روشنایی باید دارای مطالعه مستقل و مطالعه موردی باشد .در این مطالعه شرایط واقعی شبکه های روشنایی معابر از جمله نوع شبکه، هادی ها و ... مطابق با واقعیت صنعت برق در نظر گرفته شده است. با شبیه سازی در نرم افزار Dialux evo و DIGSilent Power Factory جداول طراحی بهینه جامع با توجه به نوع چراغ، هادی شبکه، ساختار شبکه، حداکثر طول شبکه های روشنایی معابر و حداقل ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور و در نتیجه محدوده کیفیت ولتاژ استاندارد و بارگذاری مجاز پست های توزیع استخراج می گردد. این جداول می تواند به طراحان و در سطح بالا به تصمیم گیرندگان در موضوعات فنی مرتبط با روشنایی معابر کمک شایانی نماید.

کلمات کلیدی:شبکه های روشنایی معابر، طراحی بهینه، آرایش شبکه، کیفیت ولتاژ، کلاس روشنایی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۹/۲۷

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۹

۱-مقدمه

تامین روشـــنایی معابر یکی از جنبه هایی اســـت از در شرکتهای توزیع نیروی برق توسط مشترکین مطالبه می گردد. توجه مناسب به کیفیت روشنایی معابر از فاکتورهای ترافیکی شـــهری تلقی می گردد که ســـبب پیشـــگیری از سوانح رانندگی و پیشگیری از جرائم با رویکرد آ سیبهای اجتماعی می شود. این رو شنایی معابر در قالب منافع عام بر روی شـــبکه عمومی توزیع در نظر گرفته می شـــود. به عبارت دیگر شـــرکتهای توزیع متعهد به تامین روشـــنایی معابر مناطقی از شـــهر و روســـتا می باشـــند که اولا در محدوده خدمات شهری و رو ستایی با شد و دوم اینکه در آن مناطق متقاضی جهت تامین برق از شبکه عمومی (سه فاز + روشنایی معابر) درخواست داده باشد. در سایر حالات که شـــبکه روشـــنایی معابر به صـــورت اختصـــاصـــی در نظر گرفته می شـــود شـــامل مناطق خارج محدوده خدمات شهری و خارج محدوده طرحهای هادی روستا و یا مناطقی از محدوده خدمات شـــهری که مشـــترکی ذیل آن برقدار نمی گردد شبکه صرفا جهت روشنایی معابر طرح داده می شود. با گسترش شبکه های عمومی فشار ضعیف با کابل خودنگهدار در شـــرکتهای توزیع و لزوم تقارن بار بین ســـه فاز غالبا از کابلهای خودنگهدار ۵ ر شته (۳ ر شته سه فاز، ۱ ر شته معابر، ۱ ر شته نول/م سنجر) و ۶ ر شته (۳ ر شته سه فاز، ۱ ر شته معابر، ۱ ر شته نول و ۱ ر شته م سنجر)

[1*] نویسنده پست الکترونیک مسئول:ali.mohammadi2693@gmai;.com

۱. رئیس اداره مهندسی، برنامه ریزی و نظارت، شرکت توزیع نیروی برق خراسان رضوی

۲. استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران

استفاده می گردد [۱]. در حالت شبکه اختصاصی با توجه به موقعیت جغرافیایی، مساحت منطقه نیاز به تامین روشنایی، ترافیک عبور و مرور، کاربری و ... می توان طرحهای شبکه معابر با کابل خودنگهدار معابر ۳ رشته (۱ رشته فاز، ۱ رشته نول و ۱ رشته مسنجر)، کابل خودنگهدار تکفاز ۴ رشته (۱ رشته فاز، ۱رشته نول، ۱ رشته معابر و ۱ رشته مسنجر) و کابل خودنگهدار سه فاز لحاظ نمود.

کالاهای اساسی پروژه های تامین روشنایی معابر شامل هادی روشنایی معابر و ترانسفورماتورفورماتورهای توزیع درصد قابل توجهی از هزینه کل این نوع پروژها را شامل می شود.. در طراحی شبکه های روشنایی معابر گزینه های متفاوت و متنوعی درعمل وجود دارد که با توجه به رویکرد جدید شرکتهای توزیع بر صیانت از دارایی های فیزیکی و استفاده حداکثری و بهینه از منابع، لازم است مصالحه ای بین ملاحظات فنی (پاس شدن الزامات روشنایی معابر و محدودیتهای بارگیری) و همچنین مسائل اقتصادی برقرار گردد.

یکی از چالشهای طراحی شبکه های روشنایی معابر این است که برای هر پروژه تامین روشنایی معابر لازم است در محاسبات روشنایی، الزامات روشنایی با توجه به کلاس روشنایی معبر بررسی گردد. بعد مشخص شدن مشخصات سیستم معابر شامل نوع چراغ، نوع بازو چراغها و ارتفاع نصب چراغ (ارتفاع پایه چراغها) ، ویژگی های بخش الکتریکی شامل هادی های شبکه و ظرفیت ترانسفورماتور مورد ارزیابی قرار می گیرد. این تحلیل با دو هدف دنبال می گردد. اولا روشنایی معابر در محدوده مجاز افت ولتاژ بوده و ثانیا ترانسفورماتورفورماتور در رنج اضافه بار قرار نگیرد. با این اوصاف زمان قابل توجهی صرف طراحی شبکه های روشنایی معابر می گردد. پژوهشهای متعددی در خصوص طراحی بهینه انجام شده است. آقای حقی فام و همکاران با استفاده از نرم افزار SLD به طراحی گرافیکی بخش روشنایی معابر پرداختند [۲] . تحلیل اقتصادی روشنایی معابر در مرجعهای [۳] و [۴] با انتخاب چراغ مناسب مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه ای با بررسی کلاسهای روشنایی و تطبیق آن با نیاز مشترکین [۵] مطابق انجام شده است. شرکت توزیع گیلان طبق [۶] اقدام به تحلیل فنی و اقتصادی روشنایی معابر مطالعه موردی نموده است. در مطالعه [۷] ، یک روش جدید جهت طراحی معابر خیابانها ارئه شده است بطوری که مصرف انرژی را بهینه نماید. در پژهشی دیگر، یک فرمولاسیون ریاضی جهت تعریف عملکرد سیستم روشنایی پیشنهاد شده است [۸]. در مرجع [۹] یک ابزار جهت تصمیم سازی در حوزه طراحی بهینه سیستم روشنایی توسعه داده شده است. وجه اشتراک تمامی مطالعات پیشین این است که برای موارد خاص ارزیابی بهینه سازی روشنایی معابر انجام شده و تنها یکی از ویژگی های الکتریکی و کیفیت روشنایی معابر مورد توجه قرار گرفته است. تفاوت بارز این مطالعه با پژوهشهای پیشین لحاظ تمامی حالتهای ممکن در شبکه های روشنایی معابر با اصل بهینه سازی بخشهای روشنایی و الکتریکی می باشد. علاوه بر این جدولهای جامع روشنایی معابر جهت سهولت در کار طراحی استخراج می گردد که به شکل فلسفه طراحی جهت هر مطالعه موردی طراحان و مدیران شرکتهای توزیع در حوزه قابل استفاده می باشد و نیاز به انجام مطالعات برای هر مورد را بی نیاز کرده و در هزینه و زمان مطالعات صرفه جویی می گردد. ضمنا با در اختیار داشتن جدولهای مذکور، طراحی بهینه قابل دسترس خواهد بود. در این مقاله اصول طراحی سیستم های روشنایی و الزامات بر اساس نشریه شماره ۶۱۴. سازمان مدیریت و برنامه ریزی ایران [۱۰] تشریح شده و مفهوم کلیدی کلاس های روشنایی توضیح داده شده است. در مرحله بعد با توجه به ویژگی های راه های اصلی و فرعی و کلاس آنها، جدول طراحی روشنایی بهینه معابر عمومی استخراج شده است .در نهایت بخش الکتریکی شبکه های روشنایی مورد بررسی قرار می گیرد. دو محدویت مهم استحصال ولتاژ استاندارد و فولباری برای ترانسفورماتورفورماتور توزیع در نظر گرفته می شود. در نهایت جدول طراحی جامع برای بخش الکتریکی بر حسب نوع چراغ، نوع کابل خودنگهدار، آرایش شبکه معابر(تک فاز / (SP) دو فاز / (2P) سه فاز (3P) ، یک فیدر / (1F) دو فیدر) (2F)و ترانسفورماتورفورماتور طراحی، پیشنهاد شده است.

۲-شیوه کار

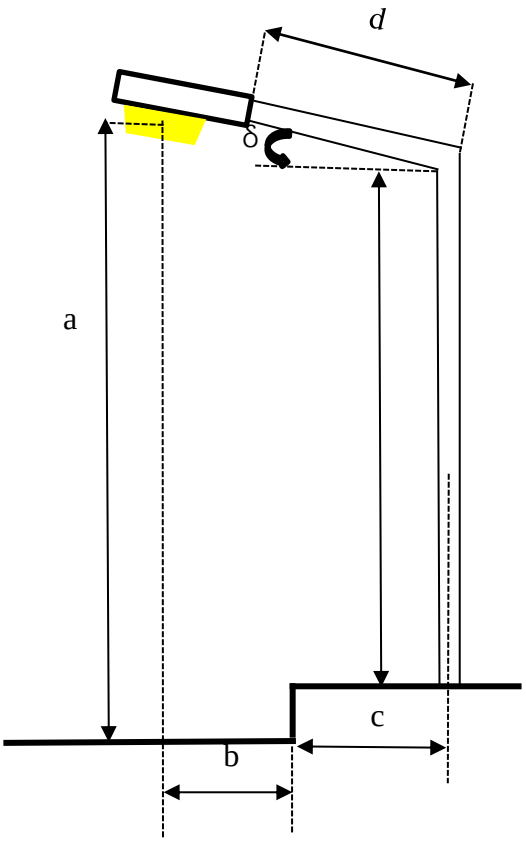
روال کلی طراحی سیستم های روشنایی معابر اساسا در دو بخش بصورت زیر فرض می گردد:

۱.طراحی بخش روشنایی شامل تعیین مشخصات پایه چراغها، آرایش قرارگیری پایه چراغها و تعیین مشخصات متعلقات پایه چراغها،

۲. طراحی پارت الکتریکی شامل انتخاب ساختار شبکه روشنایی معابر و سایزینگ ترانسفورماتورفورماتور در صورت لزوم

۲-۱-مبانی روشنایی معابر

یکی از نکات منحرف کننده طراحی سیستمهای روشنایی دیدگاه غیرعلمی در خصوص تعریف عامه از عمکرد بهینه روشنایی معابر می باشد. بطور مثال تصور بر این است که هر چه میزان توان چراغها بیشتر باشد، طراحی بهتری ارزیابی می گردد. در صورتی که در پاره ای موارد همین موضوع سبب نارضایتی مشترکین از میزان روشنایی و انعکاس آن به منازل بویژه در زمان اوقات فراغت می شود. و یا گاهی سبب افزایش خیرگی و کاهش دید رانندگان و به تبع آن افزایش خطر و ریسک تصادفات رانندگی می گردد. بنابراین جهت طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر، لازم است شاخصهای تاثیرگذار منعکس کننده عملکرد سیستم طبق استاندارد سازمان برنامه ریزی و بودجه مورد ارزیابی قرار گیرد [۱۰]. از میان تمامی الزامات روشنایی مطابق شکل ۱ بسته به مشخصات فیزیکی، جغرافیایی و سطح ترافیک ، لازم است شاخصهای روشنایی خاصی در محدوده قابل قبول باشد. جهت استانداردسازی انتخاب نوع شاخصها بر اساس نوع معبر و وحدت رویه در طراحی، مفهوم کلاس روشنایی تعریف می گردد تا بر اساس آن بدون اعمال سلیقه شخصی الزامات مورد نیاز، تعیین گردد. استانداردهای تعیین کلاس روشنایی معابر مورد پذیرش و قابل استناد در سراسر جهان شامل EN13201 ۲۰۰۴، EN13201 ۲۰۰۴ و ROVL 2011 می باشد. کلاسهای روشنایی متعارف طبق آیین نامه وزارت راه و شهرسازی S، CE و M می باشد (جدول ۱ و ۲). معابر و راه های مورد مطالعه عمدتا عبارتند از: ۱.راه های شریانی که روشنایی جهت کنترل ترافیک و عبور و مرور وسائط نقلیه نقش غالب را دارد ۲. راه های محلی که پیاده روها، مسیرهای مخصوص عبور و مرور دوچرخه ها در اولویت می باشد ۳. راه های مراکز تجمع شهری که ترکیبی از کاربری عبور و مرور وسائط نقلیه و عابرین پیاده و دوچرخه سوارها.



شکل ۱- مشخصات هندسی پایه روشنایی (a) ارتفاع نصب (b) عقب روی (c) فاصله پایه چراغ از معبر(δ) زاویه بازو چراغ

جدول ۱- مقایسه کلاس های روشنایی

ME class	CE class	S class
--	CE0	--
ME1	CE1	--
ME2	CE2	--
ME3	CE3	S1
ME4	CE4	S2
ME5	CE5	S3
ME6	--	S4
--	--	S5
--	--	S6

با تعیین نوع راه های روشنایی، راه های فرعی و راه های مرکز شهری بر اساس مشخصات جدول ۲، می توان کلاس روشنایی جاده مورد مطالعه را مشخص کرد.

جدول ۲- ویژگی های تعیین کننده کلاس روشنایی

مشخصات تعیین کننده کلاسهای روشنایی	میانگین ترافیک روزانه (ADT)		
	نوع راه	حجم کیفی ترافیک	
	مشخصه عمومی و اختصاصی معبر	ضریب برگردان رنگ معبر (RA)	حوزه های محیطی روشنایی
	طبقه بندی معبر	نرخ جرائم	حجم کیفی ترافیک
نوع معبر	راه های شریانی	راه های محلی	راه های مراکز تجمع شهری

۲-۲- تعیین الزامات طراحی روشنایی

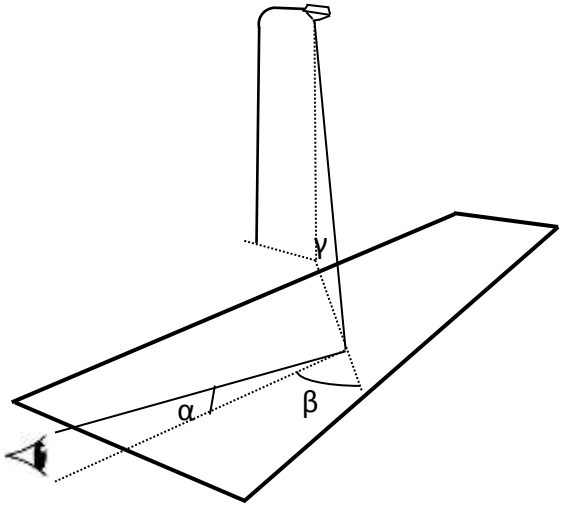
به طور کلی از کلاس روشنایی ME برای تامین روشنایی رانندگان وسایل نقلیه با سرعت متوسط و بالا در مسیرهای ترافیکی استفاده می شود. بنابراین کلاس CE برای تامین روشنایی در معابر مراکز تجمع شهری مانند مراکز خرید و همچنین عابران پیاده به منظور بهبود دید رانندگان در عوارض جاده ای مورد استفاده قرار می گیرد. کلاس S اختصاص به بهبود دید عابران پیاده و دوچرخه سواران دارد. معیارهای اصلی برای ارزیابی کیفیت روشنایی، روشنایی سطح جاده در کلاس ME و شدت نور افقی در کلاس CE و S است.

۲-۳- پارامترهای طراحی روشنایی

با توجه به مشخصات معابر شامل عرض معبر، ارتفاع نصب، زاویه بازو، پیش آمدگی، عقب روی و طول بازو (شکل ۱) و مطابق [۱۱] (جدول ۲)، مشخصات فیزیکی بهینه سیستم روشنایی بصورت زیر تعیین می گردد. حداقل فاصله پایه های روشنایی از لبه معبر، ۸۰ سانتیمتر و حداقل ارتفاع پایین ترین نقطه پیش آمدگی از سطح معبر ماشین رو ۵,۷ متر و ارتفاع نصب مناسب چراغها از سطع معبر از نقطه نظر اقتصادی و مبلمان شهری در معابر شریانی درجه ۲، بین ۱۰ تا ۱۲ متر مشخص می گردد.

۲-۴- ضریب بازتاب سطحی

خشکی یا مرطوب بودن سطح معبر و محدوده ضریب انعکاس (S1) مربوط به انعکاس معبر مشخص و بر اساس آن متوسط ضریب درخشندگی (درجه روشنی) معبر مشخص می گردد . بر این اساس می توان به جدول بازتاب (r-table) جهت استخراج ضرایب درخشندگی کاهش یافته را با توجه به زاویه تابش نور چراغ به سطح معبر و زاویه بین صفحه ناظر و صفحه تابش نور چراغ رجوع نمود (شکل ۲). جهت سهولت در طراحی از دسته بندی C در این مطالعه استفاده شده است. با توجه به اینکه سطح معبر منطقه در اکثر اوقات سال خشک بوده و ضریب انعکاس آن بالاست با توجه به جدول ۴، C2 انتخاب گردید.



شکل ۲- تعریف زوایای جدول انعکاس

۲-۵- طراحی بخش الکتریکی

سیستمهای روشنایی معابر در شبکه های توزیع، به دو صورت ۱. شبکه عمومی فشار ضعیف در طرفین معابر پشت جدول ۲. شبکه اختصاصی روشنایی معابر در وسط بلوارها لحاظ می گردد. با توجه به کالاهای مورد استفاده در سیستم روشنایی معابر در شرکت های توزیع ، برای دو حالت مذکور، تیر ۹ متری سیمانی و پایه چراغ ۱۰,۵ متری نصب می گردد.

در حالت روشنایی عمومی، دو موقعیت کلی معبر اصلی که کاربری غالب آن وسائط نقلیه بوده و معبر فرعی که اختصاص به کاربری مسکونی می باشد، لحاظ شده است. بهمین دلیل معابر اصلی کلاس روشنایی ME3A و معابر فرعی S4 در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، ارتفاع پایه چراغها بدلیل عمق گود ۱,۵ متر برای تیرهای ۹ متری، ۷,۵ متر و طول اسپانها (فاصله بین دو پایه چراغ متوالی) ۳۰ متر برآورد شده است. مقصود بهنیه سازی در بخش روشنایی حداقل نمودن تابع هدف تعریف شده (رنج چراغ) بصورت زیر با توجه به کلاس روشنایی مرتبط می باشد.

$$.OF_L = pl \qquad (۱)$$

که محدودیت ها و محدودیت ها با توجه به دو کلاس در نظر گرفته شده ME3A و S4 به شرح زیر در نظر گرفته می شوند:

$$\begin{cases} \begin{cases} \bar{L} \geq 0.75 \\ U0 \geq 0.40 \\ Ul \geq 0.60 \\ Tl \leq 15 \\ SR \geq 0.50 \end{cases} & ME3a \\ \begin{cases} 5.00 \leq Em \leq 6.50 \\ Emin \geq 1 \end{cases} & S4 \end{cases} \qquad (۲)$$

پارامترهای مربوط به (۱) و (۲) در جدول ۳ توضیح داده شده است.

جدول ۳- پارامترهای مسئله روشنایی بهینه سازی

Tl	Ul	SR	Em	$Emin$
آستانه افزایشی	یکنواختی خطی	ضریب محیط	متوسط شدت روشنایی	حداقل روشنایی
	OF_L	pl	$\bar{L}$	$U0$
	تابع هدف روشنایی	رنج چراغ	متوسط درخشندگی سطح معبر	یکنواختی کلی

نتایج حاصل از بهینه سازی روشنایی معابر با استفاده از نرم افزار DIALux evo منجر به استخراج جدول ۴ می گردد[۱۱] .

۲-۵- طراحی الکتریکی بهینه

بطور کلی در شبکه های توزیع، روشنایی به دوصورت هوایی و زمینی در نظر گرفته می شود که مزایا و معایب آن در جدول ۵ آمده است. از محدودیتهای شاخص در شبکه هوایی معابر ممنوعیت استفاده از پایه چراغ فلزی و در سیستم زمینی عیب یابی مشکل و نیاز به سیستم اتصال زمین مستقل و سرقت کابلهای زمینی می باشد. با توجه به هزینه بالای کالا و عملیات و سیستم عیب یابی پیچیده شبکه های زمینی (بنحوی که عملا بتدریج در شرکتهای توزیع شبکه های معابر زمینی موجود به نوع هوایی تبدیل می گردند) احداث شبکه های معابر هوایی در اولویت قرار دارند.

در طراحی بهینه پارت الکتریکی دو فاکتور طول شبکه روشنایی معابر بر حسب متر و ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور بر حسب کیلو ولت آمپر به عنوان متغیرهای بهینه سازی در نظر گرفته می شود. قیود بهینه سازی جهت افزایش طول فیدر روشنایی معابر ولتاژ در رنج مطلوب زیر ۰,۹۵ پریونیت (۵ درصد افت ولتاژ مجاز) مطابق استاندارد طرح چاوش ابلاغی [۱۲] و برای بارگیری ترانسفورماتورفورماتور ضریب بهره برداری ۰,۹۰ (۹۰ درصد از ظرفیت ترانسفورماتور مجاز به اشغال می باشد) با لحاظ ضرایب درجه حرارت، ارتفاع از سطح دریا، فشار و ... طبق [۱۳] متناسب با شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی می باشد .

جدول ۴- نتایج بهینه سازی برای طراحی سیستم روشنایی

کلاس	آرایش	طول بازو چراغ (متر)	نوع چراغ	عرض معبر (متر)	نوع معبر
ME3a	یکطرفه	۲	۱۵۰ وات LED	۲۴	شهری-اصلی
ME3a	دو طرفه	۲	۱۰۰ وات LED	۲۰	شهری-اصلی
ME3a	یکطرفه	۲	۷۰ وات LED	۱۸	شهری-اصلی
ME3a	یکطرفه	۲	۷۰ وات LED	۱۶	شهری-اصلی
S4	یکطرفه	۲	50 وات LED	۲۰	شهری-فرعی
S4	یکطرفه	۱	۳۰ وات LED	۱۸	شهری-فرعی
S4	یکطرفه	۱	۳۰ وات LED	۱۶	شهری-فرعی
S4	یکطرفه	۰٫۶ یا ۱	۳۰ وات LED	حداکثر۱ ۲	شهری-فرعی
ME3a	یکطرفه	۲	۲۵۰ وات بخار سدیم	۲۴	شهری-اصلی
ME3a	یکطرفه	۲	۲۵۰ وات بخار سدیم	۲۰	شهری-اصلی
ME3a	یکطرفه	۲	۱۵۰ وات بخار سدیم	۱۸	شهری-اصلی
ME3a	یکطرفه	۲	۲۵۰ وات بخار سدیم	۱۶	شهری-اصلی
S4	یکطرفه	۲	۷۰ وات بخار سدیم	۲۰	شهری-فرعی
S4	یکطرفه	۱	۵۰ وات بخار سدیم	۱۸	شهری-فرعی
S4	یکطرفه	۱	۵۰ وات بخار سدیم	۱۶	شهری-فرعی
S4	یکطرفه	۰٫۶ یا ۱	۵۰ وات بخار سدیم	حداکثر۱ ۲	شهری-فرعی

جدول ۵- مقایسه بین شبکه های روشنایی زمینی و هوایی

شبکه معابر هوایی		شبکه معابر زمینی	
معایب	مزایا	معایب	مزایا
نازیبا از نظر مبلمان شهری	عیب یابی آسان	عیب یابی مشکل و گرانقیمت	زیبا از نظر مبلمان شهری
	عدم نیاز به هادی زمین مستقل	احتمال سرقت بالا	
	هزینه اجرای پایین تر	مجری شبکه های هوایی عموما قادر به اجرای آن نبوده و نیاز به بکارگیری پیمانکار تخصصی در اجرای شبکه های زمینی دارد	
	مجری شبکه های توزیع هوایی قادر به اجرای آن می باشد	نیاز به هادی زمین مستقل	
		هزینه اجرای بالاتر	
		نیازمند کالاهای خاص که بصورت روتین در شرکتهای توزیع تامین نمی گردد	

هدف نهایی بهینه سازی در پارت الکتریکی، حداکثر نمودن تابع هدف بخش الکتریکی تعریف شده (طول فیدر روشنایی معابر) بصورت زیر می باشد:

$$OF_E = fl = \sum_{i=1}^{ns} nsp_i \times sl_i \quad (۳)$$

که محدودیت های ضریب بهره برداری ترانسفورماتورفورماتور و افت ولتاژ مجاز به شرح زیر در نظر گرفته می شود:

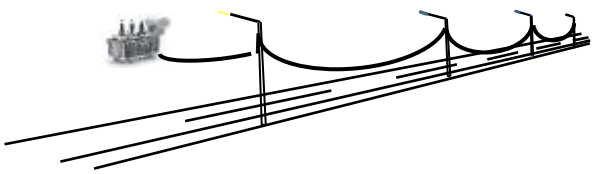
$$\begin{cases} u_z \le 90\% \\ \max[Ipf_a\ Ipf_b\ Ipf_c\ ] \le Ift \\ \min \sum_{j=1}^{nl} V_j < 0.95 \end{cases} \quad (۴)$$

پارامترهای تابع هدف الکتریکی در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶-پارامترهای تابع هدف الکتریکی

OF_E	fl	nsp_i	sl_i	ns	u_z	Ipf_x	Ift	V_j	nl
تابع هدف	طول فیدر	تعداد فاصله در	طول اسپن در	تعداد سکشن	ضریب بهره	جریان فاز xام	حداکثر جریان	ولتاژ نقطه چراغ	تعداد چراغ فیدر

روش پیشنهادی جهت بدست آوردن نقاط بهینه بدین صورت است که در نرم افزار شبیه سازی حالات گذرای DIgSILENT Power Factory برای هر کدام از حالات شامل رنج چراغ (گازی سدیم و LED)، نوع کابل هوایی (معابر، تکفاز، دوفاز و سه فاز)، آرایش (یک فیدری و دو فیدری) طول فیدر به تدریج افزایش داده [۱۴] تا اینکه محدویت افت ولتاژ نقض گردیده و در نتیجه ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور با توجه به بارگیری محاسبه می گردد (شکل ۳)



شکل ۳- چیدمان سیستم های لیتینگ تحت مطالعه (الف) یک تغذیه کننده و یک طرفه (ب) دو تغذیه کننده و یک طرفه (ج) یک تغذیه کننده و دو طرفه (د) دو تغذیه کننده و دو طرفه

چراغ	آرایش	طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	آرایش	طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور
SD 50 W	SP+1F	۱۲۶۰	۲۵	SP+2F	۲۵۲۰	۲۵

جدول ۷- طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر با کابل خودنگهدار ۱۶+۱۶+۱۶×۱ در آرایش تکفاز و یکطرفه

چراغ	آرایش	طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	آرایش	طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور
SD 50 W	SP+1F	۱۵۰۰	۲۵	SP+2F	۳۰۰۰	۲۵

جدول ۸- طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر با کابل خودنگهدار ۱۶+۲۵+۲۵×۱ در آرایش تکفاز و یکطرفه

SD 70 W	SP+1F	۱۰۲۰	۲۵	SP+2F	۲۰۴۰	۲۵
SD 150 W	SP+1F	۶۹۰	۵۰	SP+2F	۱۳۸۰	۵۰
SD 70 W	SP+1F	۵۴۰	۵۰	SP+2F	۱۰۸۰	۵۰
SD 250 W	SP+1F	۴۲۰	۲۵	SP+2F	۸۴۰	۲۵
50 W LED	SP+1F	۱۲۶۰	۲۵	SP+2F	۲۵۲۰	۲۵
70 W LED	SP+1F	۱۰۵۰	۲۵	SP+2F	۲۱۰۰	۲۵
100 W LED	SP+1F	۹۰۰	۲۵	SP+2F	۱۸۰۰	۲۵
150 W LED	SP+1F	۲۰۴۰	۲۵	SP+2F	۱۴۴۰	۲۵

ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	--	۲۵	۵۰	۲۵	--	--	۲۵	۵۰	۲۵	--
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	--	۲۲۲۰	۱۱۱۰	۲۷۰۰	۱۳۵۰	۳۱۸۰	۱۵۹۰	۱۳۲۰	۶۶۰	۱۸۰۰	۹۰۰
آرایش	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F
ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	--	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۵۰	۲۵	۲۵	۲۵
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	--	۱۰۸۰	۵۴۰	۱۳۲۰	۶۶۰	۱۵۹۰	۷۹۰	۲۶۴۰	۱۳۲۰	۳۶۰۰	۱۸۰۰
آرایش	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F
چراغ	SD 50 W	100 W	50 W	150 W	70 W	250 W	100 W	SD 250	150 W	SD 500	200 W

جدول ۹- طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر با کابل خودنگهدار ۱×۱۶+۱۶+۱۶ در آرایش تکفاز و دو طرفه

ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	--	۲۵	۵۰	۲۵	--	--	۲۵	۵۰	۲۵	--
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	--	۱۲۶۰	۶۳۰	۲۵۲۰	۱۲۶۰	۴۲۰	۲۱۰	۱۶۸۰	۸۴۰	۵۰۴۰	۲۵۲۰
آرایش	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F
ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	--	۲۵	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	--	۱۰۲۰	۵۱۰	۱۹۲۰	۹۶۰	۴۸۰	۲۴۰	۳۲۴۰	۱۶۲۰	۶۴۸۰	۳۲۴۰
آرایش	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F
چراغ	150 W	100 W	70 W	250 W	150 W	500 W	200 W	SD 500	300 W	SD 1000	400 W

جدول ۱۰- طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر با کابل خودنگهدار ۱×۲۵+۲۵+۱۶ در آرایش تکفاز و دو طرفه

ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	۱۶۲۰	۹۰۰	۴۲۰	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
آرایش	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F
ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	۲۵	۵۰	۲۵	--	--	--	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	--	--	--
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	۸۱۰	۴۵۰	۲۱۰	--	--	--	۳۶۰	۶۰۰	--	--	--	--	--
آرایش	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F
چراغ	150 W	100 W	70 W	50 W	SD 250	SD 250 W	SD 150 W	SD 150 W	SD 70 W	SD 50 W			

جدول ۱۱- طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر با کابل خودنگهدار ۱۶+۱۶+۲۵+۲۵×۱ در آرایش دوفاز و یکطرفه

ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	۱۳۲۰	۷۲۰	۳۴۰	--	--	--	۲۵۲۰	۴۰۰۰	۲۴۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۹۰۰	۴۱۴۰
آرایش	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F	SP+2F
ظرفیت ترانسفورماتور فورماتور	۲۵	۲۵	۲۵	--	--	--	۲۵	۲۵	۲۵	--	۲۵	۲۵	۲۵
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	۶۶۰	۳۶۰	۲۱۰	--	--	--	۱۲۶۰	۱۸۹۰	۱۵۹۰	۱۲۶۰	۱۸۰۰	۹۰۰	۲۱۰۰
آرایش	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F	SP+1F
چراغ	150 W	100 W	70 W	50 W	SD	SD 150	SD 150 W	100 W	70 W	50 W	SD	SD 250	SD 50

منظور از آرایش تکفاز، دوفاز و سه فاز این است که هر فیدر خروجی توسط همان تعداد فاز تامین برق می گردد. از مزیتهای سیستم های چندفازی در سیستم معابر علاوه بر ایجاد تقارن بین سه فاز، قابلیت مدیریت موثر مدیریت مصرف در کاربردهای تعدیل بار روشنایی در کابردهای کنترل پیک در شرکتهای توزیع می باشد. لازم بذکر است که برای هر فیدر شبکه روشنایی معابر حداقل ۲ سیستم

اتصال زمین طبق [۱۵] جهت بالانس جریان و تثبیت ولتاژ بویژه در سیستمهای نامتقارن توزیع شبیه سازی شده است و جهت لحاظ بدترین حالت ضریب توان چراغهای سدیم گازی ۰,۵ و ضریب توان چراغهای LED 0.95 درج گردیده اند. در حالاتی که محدوده ولتاژ مجاز منجر به طرح ترانسفورماتورفورماتور با ظرفیت بالاتری می دهد، مساله بهینه سازی بصورت زیربهینه برای ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور در رنج های پایین تر نیز محاسبه شده تا مشخص گردد حداکثر چه متراژی از معابر را می توان با ترانسفورماتورهای کوچکتر تامین روشنایی نمود که با رنگ سبز از سایر حالات متمایز شده است. بعبارت دیگر حداکثر طول فیدر روشنایی که منجر به بارگیری ترانسفورماتور در حداکثر مقدار مجاز (در این مطالعه ۹۰ درصد) در ترانسفورماتورفورماتورها با ظرفیت پایین می گردد محاسبه می گردد که قطعا دیگر افت ولتاژ بعنوان قید بهینه سازی محلی از اعراب ندارد و تنها محدویت بارگیری ترانسفورماتور از نامساوی به مساوی تبدیل می گردد و قیود بصورت رابطه ۵ در می آید .

$$\begin{cases} u_z = 90\% \\ \max[Ipf_a\ Ipf_b\ Ipf_c\ ] = Ift \end{cases} \qquad (۵)$$

نتایج حاصل از شبیه سازی برای ۹ رنج چراغ، ۵ نوع کابل خودنگهدار، ۶ مدل آرایش شبکه منجر به تولید جدولهای ۷تا ۱۴ گردید. لازم بذکر است در حالاتی که از نظر فنی بهینه سازی مصداق ندارد در جدولها با علامت "--" مشخص شده اند. بطورکلی دو موقعیت اساسی در بهینه سازی پارت الکتریکی اتفاق می افتد: ۱. طول بهینه فیدر روشنایی معابر بر اساس اولویت ولتاژ در محدوده مجاز محاسبه گردد که منجر به افزایش ظرفیت ترانسفورماتور در پاره ای از موارد می شود ۲. طول بهینه فیدر روشنایی معابر مبتنی بر ولتاژ استاندارد و ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور کاهش یافته حاصل می گردد.

جدول ۱۲- طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر با کابل خودنگهدار ۱۶+۱۶+۲۵+۲۵×۱ در آرایش دوفاز و دو طرفه

چراغ	آرایش	طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور	آرایش	طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور
SD 50 W	2P+1F	--	--	2P+2F	--	--
SD 70 W	2P+1F	--	--	2P+2F	--	--
SD 150 W	2P+1F	۸۴۰	۵۰	2P+2F	۱۶۸۰	۷۵
SD 150 W	2P+1F	۷۲۰	۲۵	2P+2F	۱۴۴۰	۵۰
SD 150 W	2P+1F	--	--	2P+2F	۷۲۰	۲۵
SD 250 W	2P+1F	۶۰۰	۵۰	2P+2F	۱۲۰۰	۷۵
SD 250 W	2P+1F	۴۲۰	۲۵	2P+2F	۹۰۰	۵۰
SD 250 W	2P+1F	--	--	2P+2F	۴۲۰	۲۵
LED 50 W	2P+1F	--	--	2P+2F	--	--
LED 70 W	2P+1F	--	--	2P+2F	--	--

جدول ۱۳- طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر با کابل خودنگهدار ۲۵+۲۵+۳۵+۳۵+۲۵ ۳×۳۵ در آرایش سه فاز و یک طرفه

ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور	۲۵	۵۰	۲۵	۵۰	۲۵
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	۶۱۸۰	۵۴۶۰	۴۷۱۰	۳۶۰۰	۲۱۶۰
آرایش	3P+2F	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F
ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور	۲۵	۲۵	--	۲۵	--
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	۳۰۹۰	۲۷۳۰	--	۱۸۰۰	--
آرایش	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F
چراغ	SD 50 W	SD 70 W	SD 70 W	SD 150 W	SD 150 W

جدول ۱۴- طراحی بهینه شبکه روشنایی معابر با کابل خودنگهدار ۲۵+۲۵+۳۵+۳۵+۲۵ ۳×۳۵ در آرایش سه فاز و دو طرفه

ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور	--	--	۵۰	۲۵	۲۵
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	--	--	۲۷۰۰	۳۷۸۰	۴۶۸۰
آرایش	3P+2F	3P+2F	3P+2F	3P+1F	3P+1F
ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور	--	--	۵۰	۲۵	۲۵
طول شبکه معابر در محدوده مجاز ولتاژ	--	--	۱۳۵۰	۱۸۹۰	۲۳۴۰
آرایش	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F
چراغ	SD 50 W	SD 70 W	SD 150 W	150 W	100 W

۲۵	۵۰	۲۵	--	--	۲۵	۵۰	۲۵
۲۱۶۰	۲۵۲۰	۳۲۴۰	--	--	۱۲۶۰	۱۹۸۰	۲۱۶۰
3P+2F	3P+2F	3P+2F	3P+2F	3P+2F	3P+2F	3P+2F	3P+2F
--	۲۵	۲۵	--	--	۲۵	۵۰	۲۵
--	۱۲۶۰	۱۶۲۰	--	--	۶۳۰	۹۹۰	۱۰۸۰
3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F	3P+1F
150 W	150 W	100 W	70 W	SD 50 W	SD 250 W	SD 250 W	SD 150 W

۴-نتیجه گیری

در این مطالعه جدولهای طراحی بهینه سیستمهای روشنایی معابر در بخشهای محاسبات روشنایی معابر با لحاظ کلاسهای روشنایی و محاسبات الکتریکی با در نظرگرفتن کیفیت ولتاژ و درصد بهینه بهره برداری ترانسفورماتورها تدوین شده است. این جدولهای نیاز طراحان مهندسی به روش سریع و مطمئن در انتخاب طرح بهینه بدون نیاز به تحلیل های پیچیده مطالعات موردی پروژه ها و در گیر شدن با نرم افزارهای مختلف را بطرف می سازد. در حقیقت می توان با ارضای استاندارد لازم پارامترهای روشنایی، طرح بهینه ای بر حسب نوع کابل خودنگهدار، آرایش فیدرهای فشار ضعیف و ظرفیت ترانسفورماتور انتخاب نمود. علاوه بر این تصمیم گیری مطمئن مدیران میانی و ارشد شرکتهای توزیع در خصوص برنامه ریزی در حوزه روشنایی معابر با مراجعه به این جدوال با رویکرد اقتصادی و بهینه میسر خواهد شد.

مراجع

[۱] د ستورالعمل تعیین الزامات، معیارهای ارزیابی فنی و آزمونهای کابلهای خودنگهدار ف شار ضعیف پنج سیمه، شرکت توانیر، معاونت هماهنگی توزیع، دفتر نظارت بر توزیع، ۱۳۸۷.

[۲] محمود رضا حقی فام، منصور نوروزیان، نقی نظری، نرم افزار طراحی روشنایی معابر (SLD) T سومین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع نیروی برق، ۱۳۷۲.

[۳] سا سان گرجانی، کاهش هزینه طرح های رو شنایی معابر با طراحی و ساخت چراغ های منا سب رو شنایی معابر، هفتمین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع نیروی برق، ۱۳۸۱.

[۴] هاشـم علیپور، داود جلالی، ارائه فرازهایی بر طراحی بهینه روشـنایی معابر و انتخاب چراغهای برتر، بیسـت و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۹.

[۵] مریم بیات، بررسـی نیاز ها در طراحی روشـنایی معابر، دهمین کنفرانس مطالعات و تحقیقات نوین در مهندسـی عمران، معماری و شهرآینده، ۱۴۰۲.

[۶] علی حقیقت، جمشید طالبی، ارزیابی و استراتژی های بهینه سازی شبکه های رو شنایی معابر (مطالعه موردی در شرکت توزیع برق گیلان – امور شهرستان ماسال)، پنجمین کنفرانس منطقه ای سیرد، ۱۳۹۵.

[7] A. Sędziwy, A., "A new approach to street lighting design" Leukos, Vol.12, NO. 3, November 2016, pp. 151-162.

[8] A. Sędziwy, M. Kozień-Woźniak, "Computational support for optimizing street lighting design", Complex systems and dependability, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 241-255.

[9] R. Carli, M. Dotoli, R. Pellegrino, "A decision-making tool for energy efficiency optimization of street lighting", Computers & Operations Research, Vol. 96, August 2018, pp. 223-235.

[۱۰] م شخ صات فنی و اجرایی رو شنایی راه ها: ن شریه شماره ۶۱۴، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریا ست جمهوری، امور نظام فنی ۱۳۹۲.

[۱۱] نرم افزار DIALux evo 10.1, DIAL 2021.

[۱۲] د ستورالعمل چ شم انداز ا صلاح ولتاژ شبکه های توزیع (طرح ملی چاوش)، شرکت توانیر، معاونت هماهنگی توزیع، دفتر نظارت بر توزیع، مرداد ۹۸.

[۱۳] دستورالعمل تعیین ظرفیت ترانسفورماتورفورماتور در واگذاری انشعاب تکفاز، سه فاز و دیماندی، شرکت توزیع نیروی برق خراسان رضوی، ۱۳۹۹.

[۱۴] نرم افزار DIgSILENT 15.1, Power Factory.

[۱۵] دستورالعمل اتصال زمین شبکه های توزیع برق، شرکت توزیع نیروی برق خراسان رضوی، ۱۴۰۲

Comprehensive Design of Street Lighting Networks in Distribution Power Utilities: an Optimal Approach

Ali Mohammadi[1], Seyed Ali Hosseini [2]

1*. Department of Engineering, Planning and Supervision, Khorasan Electric Distribution Company, Iran.
2. Faculty of Electrical Engineering, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran

***Corresponding Author:**

ABSTRACT

The design of street lighting networks in electric distribution companies has always been associated with its own challenges due to two aspects in terms of meeting the requirements of street lighting calculations and electrical analyzes and the need for economic analysis and cost-effectiveness on the other hand. It is considered different from the preparation of ordinary plans in technical departments. The most important reason for this complexity is the lack of access to optimal design tables considering all design parameters related to lighting and electrical parts in compliance with the necessary standards, so that currently each lighting project must have an independent study. In this study, actual conditions of street lighting networks are taken into account, including the type of network, conductors, etc. It should be consistent with the reality of the electricity industry and not just academic. By the simulation in Dialux evo and DIGSilent Power Factory software, comprehensive optimal design tables according to the type of light, network conductor, network configuration, maximum length of lighting networks and minimum capacity of transformer resulting in the range of standard voltage quality and acceptable loading range of distribution substations, These tables can help designers and, at a high level, decision-makers in technical subjects.

Keywords:
Lighting networks, Optimal Design, Network configuration, Voltage quality, Lighting Class