

مبانی فناوری نور و روشنایی

www.ketab.ir

تألیف: دکتر هاشم علیپور و مهندس سیامک علیپور

سرشناسه: علیپور، هاشم، ۱۳۵۱-

عنوان و نام پدیدآور: مبانی فناوری نور و روشنایی/تألیف هاشم علیپور، سیامک علیپور.

مشخصات نشر: تهران: پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۲.

مشخصات ظاهری: ن، ۳۰۱ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک: ۱۷۰،۰۰۰ ریال ۹۷۸-۶۰۰-۹۲۹۵۹-۳-۷

وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا

یادداشت: کتابنامه: ص. ۲۹۷.

موضوع: روشنایی

موضوع: روشنایی برق

موضوع: نور

شناسه افزوده: علیپور، سیامک، ۱۳۵۳-

شناسه افزوده: پژوهشگاه نیرو

رده‌بندی کنگره: ۳۷۷۰۳/ع۸م۲ ۱۳۹۲

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۳۲

شماره کتابشناسی ملی: ۳۱۷۱۵۲۴

نام کتاب: مبانی فناوری نور و روشنایی

مؤلفان: دکتر هاشم علیپور، مهندس سیامک علیپور

ناشر: پژوهشگاه نیرو

چاپخانه: چاپ میران

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول / بهار ۱۳۹۲

قیمت: ۱۷۰،۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۲۹۵۹-۳-۷

پیشگفتار

مدتهاست انسان خورشید را به عنوان یک منبع نور منحصر به فرد می شناسد. از حدود ۳۰۰ هزار سال پیش انسان آتش را برای گرما و نوردهی اختراع (شناسایی) کرد. انسان های غارنشین برای روشنایی از انبار آتش، مشعل، سوختن روغن یا پیه حیوانات استفاده می کردند. نقاشی های انجام شده در غارها در حدود ۵۰۰۰ سال پیش نمایان گر استفاده انسان از نور مصنوعی داخل این غارها بوده است.

تقریباً ۲۶۰ سال قبل از میلاد حضرت مسیح برج های روشنایی به منظور جهت یابی کشتی ها در کنار سواحل و ۳۷۸ سال بعد از میلاد مسیح در کوچه و خیابان های مدرن از چراغ روشنایی استفاده شده است.

از سال ۱۷۸۳ انسان از لامپ هایی با مواد سوختنی استفاده کرده است. تا قرن نوزدهم برای روشنایی از لامپ های روغنی و شمع استفاده است. در این لامپ ها از گاز یا روغن به عنوان ماده سوختنی استفاده می شد. هرچند از قرن نوزدهم به بعد لامپ های الکتریکی اختراع شدند اما عملاً در سال ۱۸۶۶ همزمان با ماشین الکتریکی زیمنس این لامپ ها معرفی شده اند. از سال ۱۸۷۹، ادیسون از لامپ الکتریکی برای روشنایی استفاده کرد.

امروزه زندگی بدون نور مصنوعی قابل تصور نیست. سرعت توسعه و پیشرفت لامپ ها جهت تولید نور بسیار زیاد است. پیشرفت تکنولوژی و مواد مصرفی در سیستم های نوری، امکانات روشنایی مصنوعی را بالا برده است. منابع نور مصنوعی تنها در کارخانجات پیشرفت نداشته بلکه دانشگاه ها و مراکز پژوهشی تحقیقاتی نیز تلاش عمده ای در این پیشرفت داشته اند.

امروزه در اغلب کشورها مهندسی روشنایی به عنوان یکی از گرایش‌های اصلی مهندسی برق به صورت بخش (یا انستیتو) روشنایی در دانشگاه‌ها فعالیت دارند. به طور مثال در کشور آلمان در دانشگاه‌های صنعتی برلین، دارماشتات، ایلمینو و ... دانشجویان زیادی در مقطع فوق لیسانس و دکترا در رشته مهندسی روشنایی مشغول به تحصیل در انستیتو روشنایی هستند.

اگرچه انسان نور را برای روشنایی کشف کرد اما در حال حاضر کاربرد نور بسیار وسیع شده به طوری که در ارتباطات به منظور ارسال انواع اطلاعات و همچنین درمان و سلامتی جایگاه بسیار مهمی دارد. پروژه‌های تحقیقاتی براساس خط‌مشی اتحادیه اروپا بر سه محور استوار است.

- نور و سلامتی

- نور و محیط زیست

- نور و کاهش مصرف انرژی الکتریکی

در مبحث نور و سلامتی، آثار نور بر سلامتی انسان بررسی می‌شود چرا که نور علاوه بر دیدن بر بعضی از اعضای مهم بدن - به خصوص سیستم عصبی و غدد داخلی - تأثیر مستقیم دارد و می‌تواند بر سلامتی انسان تأثیرگذار باشد. البته امروز از نور برای ضد عفونی کردن، درمان بیماری (مانند زردی، دیابت، سینوزیت، آگزما، عفونت‌های داخلی و ...) و حتی زیبایی نیز استفاده می‌شود.

در مبحث نور و محیط زیست تأثیر مخرب نوع نور و روشنایی بر انسان، محیط زیست (گیاهان و جانوران)، آلودگی نوری، عوامل مخرب محیط زیست لامپ‌ها، چراغ‌ها و راه‌اندازی‌های مستهلک شده آنها و نیز بازیافت مواد بررسی می‌شود. همواره

سازندگان در تلاش‌اند تا در تجهیزات جدید از مواد دوستدار محیط زیستی استفاده کنند یا در صورت مخرب بودن میزان مصرف‌شان کمینه شود.

در آخرین مبحث — بخش نور و کاهش مصرف انرژی الکتریکی — راه‌های مختلف کاهش مصرف انرژی الکتریکی، از جمله افزایش راندمان و بازدهی لامپ‌ها، چراغ‌ها و راه‌اندازها، افزایش کیفیت نور منابع نوری، سنسورهای مختلف نوری، راه‌های استفاده بیشینه از نور طبیعی خورشید، تجهیزات هوشمند و کنترلی و ... مورد بررسی قرار می‌گیرند.

با توجه به اهمیت نور و روشنایی، در دسترس نبودن مرجع کاملی به زبان فارسی باعث شده با این موضوع مهم به صورت علمی و مهندسی در همه جا برخورد نشود و در نتیجه مانند سایر علوم مهندسی روند تکاملی مناسبی نداشته باشد. لذا سعی شده این کتاب براساس معتبرترین مراجع به روز و واحدهای درسی مبانی مهندسی روشنایی — که در دانشگاه صنعتی برلین توسط آقایان پروفیسور کازِه (Kasse) و پروفیسور فولکا (Völker) تدریس می‌شود — و همچنین آخرین دستاوردهای علمی مجلات معتبر جمع‌آوری و تدوین شود. در دانشگاه صنعتی برلین آلمان این درس در قالب یک درس سه واحدی نظری به علاوه یک درس دو واحدی تجربی برگزار می‌شود.

امید داریم با عنایت و لطف خداوند متعال این کتاب به عنوان یک مرجع اولیه قابل قبول برای تدریس مبانی روشنایی در دانشگاه‌ها، و استفاده علاقه‌مندان به این موضوع مورد توجه قرار بگیرد، و در راه ارتقاء مهندسی روشنایی در کشور عزیزمان

— از طریق انجام پروژه‌های تحقیقاتی به‌خصوص پروژه‌های دانشجویی در مقاطع لیسانس، فوق‌لیسانس و دکترا — تأثیرگذار باشد.

در خاتمه مؤلفان بر خود فرض می‌دانند از مساعدت و همکاری آقای مهندس همایون حایری (مدیر عامل محترم شرکت توانیر)، جناب آقای مهندس محمدرضا فخرنبوی (مدیر عامل (اسبق) محترم شرکت برق منطقه‌ای فارس)، جناب آقای پروفسور حسین محسنی (استاد محترم دانشگاه تهران)، سرکار خانم اعظم جلالوندی (مسئول انتشارات پژوهشگاه نیرو) و همچنین سرکار خانم سیما تویسرکانی (ویراستار محترم) تشکر و قدردانی کنم.

دکتر هاشم علیپور، مهندس سیامک علیپور، هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی سپیدان

خرداد ماه ۱۳۹۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: ماهیت نور و روابط فیزیکی آن	
۱. ۱. مقدمه	۱
۱. ۲. دسته‌بندی امواج الکترومغناطیسی	۵
فصل دوم: اصطلاحات پایه و کمیت‌های نوری	
۲. ۱. مقدمه	۹
۲. ۲. شار نوری	۹
۲. ۳. روشنایی	۱۶
۲. ۳. ۱. روشنایی عمودی	۱۸
۲. ۳. ۲. روشنایی استوانه‌ای	۱۸
۲. ۳. ۳. روشنایی نیمه‌استوانه‌ای	۱۹
۲. ۳. ۴. روشنایی نیمه‌کروی	۱۹
۲. ۴. شدت نور و زاویه فضایی	۲۰
۲. ۵. سیستم‌های نمایش منحنی توزیع پخش نور	۲۵
۲. ۶. درخشندگی	۲۸
۲. ۷. گسیل نوری خاص	۳۰
۲. ۸. انرژی نورانی	۳۱
۲. ۹. نوردهی	۳۱
۲. ۱۰. چند کمیت مهم نوری دیگر	۳۲
۲. ۱۱. توزیع طیف یک پرتو، تابع پرتوها و نوع نور	۳۴
۲. ۱۲. ضریب اثر بخشی (کارایی)	۳۵
۲. ۱۳. حساسیت	۴۲

فصل سوم: روابط و انتشار نور

۴۵	۱. ۳. مقدمه.....
۴۵	۲. ۳. قوانین پایه نوری.....
۴۷	۳. ۳. محاسبات روشنایی و گسیل نوری خاص.....
۴۷	۴. ۳. محاسبه روشنایی با نور کاملاً متقارن پخش شده.....
۴۹	۵. ۳. پرتورها کاملاً متقارن پخش شده نور.....
۵۱	۶. ۳. محاسبات شار نوری.....
۵۳	۷. ۳. محاسبات ضریب مشخصه برای خصوصیات نوری مواد با توجه به طیف.....

فصل چهارم: رنگ

۵۵	۱. ۴. مقدمه.....
۵۶	۲. ۴. روش های تعیین رنگ.....
۵۸	۳. ۴. سیستم ظرفیت های رنگی استاندارد.....
۷۵	۴. ۴. ضریب برگرداندن رنگ.....

فصل پنجم: چشم انسان

۷۷	۱. ۵. مقدمه.....
۷۷	۲. ۵. کالبدشناسی چشم انسان.....
۷۹	۱. ۲. ۵. قرنیه.....
۸۲	۲. ۲. ۵. عدسی.....
۸۳	۳. ۲. ۵. زجاجیه.....
۸۴	۴. ۲. ۵. شبکیه.....

عنوان	صفحه
۳. خطر پرتوهای نوری بر چشم انسان.....	۸۷
۴. تعدادی از بیماری‌های چشم ناشی از پرتوها.....	۸۹
۵. ۴. ۱. عفونت قرنیه و عفونت پلک.....	۸۹
۵. ۴. ۲. آب مروارید چشم (UV-A , UV-B).....	۹۰
۵. ۴. ۳. پاره شدن شبکیه (سوختن شبکیه).....	۹۱
۵. ۴. ۴. آب مروارید ناشی از پرتوهای IR.....	۹۱
۵. ۵. ۵. سنجش و ارزیابی مکانی نور توسط چشم.....	۹۲
۵. ۶. تحریک زمانی چشم.....	۹۳
۵. ۷. تطابق.....	۹۴
۵. ۸. مشخصه‌های توانایی دید چشم انسان.....	۹۶
۵. ۸. ۱. آستانه دید.....	۹۶
۵. ۸. ۲. حساسیت کنتراست.....	۹۷
۵. ۸. ۳. حساسیت شکلی و تیزبینی.....	۹۹
۵. ۸. ۴. سرعت حس بینایی.....	۱۰۰
۵. ۹. خیرگی.....	۱۰۱
۵. ۹. ۱. خیرگی فیزیولوژی.....	۱۰۲
۵. ۹. ۲. خیرگی روانی.....	۱۰۳

فصل ششم: اندازه‌گیری نور و پرتوها

۶. ۱. مقدمه.....	۱۰۵
۶. ۳. گیرنده‌های نوری.....	۱۰۹
۶. ۳. ۱. پیروالکتریسته.....	۱۰۹

عنوان	صفحه
۶. ۳. ۲. فتوسل.....	۱۱۱
۶. ۳. ۳. تکثیرکننده‌های نوری.....	۱۱۲
۶. ۳. ۴. فتودیودها.....	۱۱۳
۶. ۴. اندازه‌گیری کمیت‌های مهم نوری.....	۱۲۰
۶. ۴. ۱. اندازه‌گیری روشنایی.....	۱۲۱
۶. ۴. ۲. اندازه‌گیری شدت نور.....	۱۲۵
۶. ۴. ۳. اندازه‌گیری شار نوری.....	۱۲۹
۶. ۵. اندازه‌گیری درخشندگی.....	۱۳۷
۶. ۶. اندازه‌گیری تعدادی ضریب مشخصه نوری مواد.....	۱۴۵
۶. ۷. اندازه‌گیری رنگ.....	۱۴۸
۶. ۷. ۱. روش طیف.....	۱۴۸
۶. ۷. ۲. روش معادل‌سازی.....	۱۴۹
۶. ۷. ۳. روش سه ناحیه‌ای.....	۱۵۰
۶. ۸. طیف‌سنج.....	۱۵۱
۶. ۹. موارد تکمیلی.....	۱۵۳
فصل هفتم: تولید نور و منابع نوری	
۷. ۱. مقدمه.....	۱۵۵
۷. ۲. تخلیه گازی.....	۱۶۴
۷. ۳. تبدیل پرتوها.....	۱۷۰
۷. ۴. چند سازوکار دیگر برای تولید نور.....	۱۷۳
۷. ۵. منابع نوری مصنوعی.....	۱۷۳

صفحه	عنوان
۱۷۸	۶. منتشرکنندگان حرارتی.....
۱۷۹	۷. لامپ‌های رشته‌ای.....
۱۸۶	۸. لامپ‌های تخلیه‌ای.....
۱۸۶	۸.۱. لامپ‌های گازی کم فشار.....
۱۸۹	۸.۲. لوله‌های روشنایی.....
۱۹۰	۸.۳. لامپ‌های گازی پرفشار.....
۲۰۰	۹. لامپ‌های فلورسنت کم فشار.....
۲۰۱	۹.۱. نگاه کلی در رابطه با مشخصات و شکل لامپ‌های فلورسنت.....
۲۰۳	۱۰. ساختمان لامپ‌های فلورسنت.....
۲۰۴	۱۰.۱. پارامترهای نوری لامپ‌های فلورسنت.....
۲۰۴	۱۰.۲. توان نامی.....
۲۰۵	۱۰.۳. شار خروجی.....
۲۰۵	۱۰.۴. طول عمر.....
۲۰۵	۱۰.۵. رنگ نور.....
۲۰۷	۱۱. عملکرد لامپ‌های فلورسنت.....
۲۰۹	۱۲. مشخصه‌های انتخاب لامپ.....
۲۱۰	۱۲.۱. شار خروجی لامپ.....
۲۱۳	۱۲.۲. توان نامی لامپ.....
۲۱۳	۱۲.۳. طول عمر.....
۲۱۴	۱۲.۴. کیفیت رنگ نور.....
۲۱۶	۱۲.۵. بازیافت لامپ‌های فلورسنت.....

صفحه	عنوان
------	-------

۲۱۷	۱۳.۷. فرایند توسعه منابع فلورسنت
۲۱۸	۱۳.۷.۱. فرایند توسعه لامپ
۲۱۹	۱۳.۷.۲. فرایند توسعه بالاست
۲۴۰	۱۴.۷. مشخصات فنی سیستم کنترل DALI
۲۴۴	۱۵.۷. نور طبیعی

فصل هشتم: مطالعه اجمالی LED و OLED

۲۴۷	۸.۱. مقدمه
۲۴۸	۸.۲. تاریخچه
۲۴۹	۸.۳. ساختمان دیود نوری LED
۲۵۲	۸.۴. اصول عملکرد LED
۲۵۵	۸.۵. مشخصات الکتریکی LED
۲۵۶	۸.۶. جهت انتشار پرتوها
۲۶۱	۸.۷. ولتاژ مستقیم LED
۲۶۳	۸.۸. دیودهای نوری آلی (OLED)
۲۶۴	۸.۹. ساختمان و عملکرد OLED
۲۶۶	۸.۱۰. کاربرد و انتخاب مواد عالی برای OLED
۲۶۶	۸.۱۱. مزایای استفاده از (LED OLED) به عنوان منبع نوری برای روشنایی
۲۶۷	۸.۱۱.۱. مزایای LED
۲۶۸	۸.۱۱.۲. مزایای OLED
۲۷۱	۸.۱۱.۳. محدودیت کاربرد دیودهای نوری LED
۲۷۷	۸.۱۱.۴. محدودیت کاربرد دیودهای نوری OLED

عنوان	صفحه
۸. ۱۲. مشخصات طیفی نور منتشره در LED.....	۲۷۸
۸. ۱۳. طول عمر (پیری).....	۲۸۰
۸. ۱۴. رنگ و تکنولوژی.....	۲۸۲
۸. ۱۴. ۱. ترکیب رنگ‌ها.....	۲۸۳
۸. ۱۴. ۲. مواد رنگی فلورسنت.....	۲۸۴
۸. ۱۵. تقسیم‌بندی LED.....	۲۸۷
۸. ۱۶. توناژ رنگ (تیره یا روشن بودن).....	۲۸۸
۸. ۱۷. وضعیت تکنولوژی.....	۲۸۹
۸. ۱۸. بهره نوری.....	۲۹۰
۸. ۱۹. کاربرد.....	۲۹۱
۸. ۲۰. روند توسعه و پیشرفت دیودهای نوری.....	۲۹۳
۸. ۲۱. چشم‌انداز توسعه و پیشرفت دیودهای نوری.....	۲۹۵
مراجع.....	۲۹۷

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱.۱. نمایش امواج پلاریزه.....	۴
شکل ۱.۲. دسته‌بندی امواج الکترومغناطیسی.....	۶
شکل ۱.۳. طیف‌های مختلف پرتوهای نوری.....	۷
شکل ۱.۴. شار نوری لامپ.....	۱۰
شکل ۲.۲. محاسبه حساسیت چشم انسان در روز.....	۱۱
شکل ۲.۳. محاسبه حساسیت چشم انسان در روز و شب.....	۱۲
شکل ۲.۴. توان پرتوهای یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰ وات بر حسب طول موج به صورت پیوسته.....	۱۳
شکل ۲.۵. توان پرتوهای یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰ وات بر حسب طول موج به صورت گسسته.....	۱۳
شکل ۲.۶. ارتباط بین کمیت‌های فیزیکی و نوری.....	۱۵
شکل ۲.۷. محاسبه شار نوری از توان پرتوها.....	۱۶
شکل ۲.۸. روشنایی روی سطح افقی.....	۱۷
شکل ۲.۹. مفهوم روشنایی عمودی.....	۱۸
شکل ۲.۱۰. مفهوم روشنایی استوانه‌ای.....	۱۸
شکل ۲.۱۱. مفهوم روشنایی نیمه‌استوانه‌ای.....	۱۹
شکل ۲.۱۲. مفهوم روشنایی نیمه‌کروی.....	۱۹
شکل ۲.۱۳. شدت نور در جهات مختلف فضا.....	۲۰
شکل ۲.۱۴. نمایش زاویه فضایی Ω	۲۱
شکل ۲.۱۵. نمایش زاویه فضایی Ω	۲۲

عنوان	صفحه
شکل ۵. ۱۱. پرتوهای ماوراء بنفش بالا هنگام کار	۹۰
شکل ۵. ۱۲. توانایی دید افقی و عمودی چشم انسان	۹۲
شکل ۵. ۱۳. میدان دید چشم راست، چپ و هر دو چشم انسان با هم	۹۳
شکل ۵. ۱۴. وابستگی زمان تطابق چشم به میزان درخشندگی	۹۴
شکل ۵. ۱۵. تأثیر کنتراست در دیدن	۹۸
شکل ۵. ۱۶. تأثیر درخشندگی زمینه دیدن	۹۸
شکل ۵. ۱۷. نمونه آزمایش تیزبینی	۹۹
شکل ۵. ۱۸. تأثیر روشنایی بر تیزبینی و افزایش سن	۱۰۱
شکل ۶. ۱. شمایی از یک پیروالکتریسته	۱۱۰
شکل ۶. ۲. ساختمان کلی یک پیروالکتریسته	۱۱۱
شکل ۶. ۳. نحوه کار تکثیرکننده نوری	۱۱۳
شکل ۶. ۴. ساختمان و نحوه کار یک فتودیود	۱۱۴
شکل ۶. ۵. حساسیت فتودیود سیلیسیومی و ژرمانیومی در مقایسه با منحنی حساسیت روشنایی چشم انسان	۱۱۶
شکل ۶. ۶. حساسیت فتودیود سیلیسیومی	۱۱۷
شکل ۶. ۷. نمای شماتیک گیرنده نوری لوکس‌متر	۱۱۹
شکل ۶. ۸. نمای واقعی چند گیرنده نوری برای اندازه‌گیری روشنایی روی سطح (افقی یا عمودی)	۱۱۹
شکل ۶. ۹. نمای گیرنده‌های نوری برای اندازه‌گیری روشنایی کروی، نیمه کروی و استوانه‌ای	۱۲۰
شکل ۶. ۱۰. صفحه با ضریب انعکاس پراکندگی کامل	۱۲۱

عنوان	صفحه
شکل ۶. ۱۱. مفهوم روشنایی.....	۱۲۲
شکل ۶. ۱۲. دستگاه لوکس متر قابل حمل.....	۱۲۲
شکل ۶. ۱۳. دستگاه لوکس متر رو میزی غیر قابل حمل.....	۱۲۲
شکل ۶. ۱۴. اساس کار دستگاه گونیوفتومتر.....	۱۲۶
شکل ۶. ۱۵. دستگاه گونیوفتومتر آینه ای که در آن چراغ حول محور افقی و آینه حول محور عمودی می چرخد.....	۱۲۷
شکل ۶. ۱۶. دستگاه گونیوفتومتر دوربینی که در آن چراغ حول محور افقی و دوربین حول محور عمودی اطراف می چرخد.....	۱۲۷
شکل ۶. ۱۷. وابستگی شار نوری به زاویه فضایی و استقلال از فاصله.....	۱۳۲
شکل ۶. ۱۸. اندازه گیری درخشندگی به کمک روشنایی.....	۱۳۳
شکل ۶. ۱۹. اندازه گیری روشنایی همگن.....	۱۳۳
شکل ۶. ۲۰. اصول اندازه گیری شار نوری به روش کره اولبریخت.....	۱۳۵
شکل ۶. ۲۱. نمای کره اولبریخت.....	۱۳۷
شکل ۶. ۲۲. اصول اندازه گیری درخشندگی.....	۱۳۸
شکل ۶. ۲۳. دو نمونه دوربین درخشندگی سنج نقطه ای و تصویری.....	۱۴۰
شکل ۶. ۲۴. تصویر برداشت شده توسط دوربین درخشندگی سنج تصویری.....	۱۴۲
شکل ۶. ۲۵. اندازه گیری درخشندگی سطح معبر با استفاده از دوربین درخشندگی سنج نقطه ای ساکن.....	۱۴۳
شکل ۶. ۲۶. اندازه گیری درخشندگی سطح معبر با استفاده از دوربین درخشندگی سنج تصویری متحرک.....	۱۴۳

عنوان	صفحه
شکل ۶. ۲۷. بررسی درخشندگی توسط دوربین درخشندگی سنج به صورت دینامیکی.....	۱۴۴
شکل ۶. ۲۸. تصویر برداشت شده توسط دوربین درخشندگی سنج به صورت دینامیکی.....	۱۴۴
شکل ۶. ۲۹. شمای کره اندازه‌گیری ضرایب انتقال و انعکاس.....	۱۴۷
شکل ۶. ۳۰. کره اندازه‌گیری ضرایب انتقال و انعکاس.....	۱۴۸
شکل ۶. ۳۱. دستگاه رنگ سنج.....	۱۴۹
شکل ۶. ۳۲. دستگاه طیف سنج و خروجی اندازه‌گیری شده آن برای یک منبع نوری نمونه.....	۱۵۲
شکل ۶. ۳۳. وابستگی شار نوری لامپ کم مصرف به درجه حرارت محیط و موقعیت نصب.....	۱۵۴
شکل ۷. ۱. منتشرکننده پرتو سیاه (پلانک).....	۱۵۶
شکل ۷. ۲. تولید پرتو و نور جسم سیاه گرم.....	۱۵۸
شکل ۷. ۳. وابستگی ضریب جذب به درجه حرارت و طول موج.....	۱۶۱
شکل ۷. ۴. منحنی یودیت برای تعیین درجه حرارت رنگ مشابه.....	۱۶۲
شکل ۷. ۵. اساس تحریک اتم و تولید نور.....	۱۶۴
شکل ۷. ۶. نمودار سطوح انرژی هیدروژن.....	۱۶۵
شکل ۷. ۷. نمودار سطوح انرژی جیوه.....	۱۶۶
شکل ۷. ۸. نمودار سطوح انرژی سدیم.....	۱۶۷
شکل ۷. ۹. مراحل تخلیه در لامپ‌های گازی.....	۱۶۸
شکل ۷. ۱۰. تخلیه در لامپ‌های گازی.....	۱۶۹

عنوان	صفحه
شکل ۷. ۱۱. تبدیل پرتوها و تولید نور با طول موج دلخواه.....	۱۷۳
شکل ۷. ۱۲. تشابه منابع نوری طبیعی و مصنوعی.....	۱۷۴
شکل ۷. ۱۳. برچسب انرژی لامپ‌های فلورسنت.....	۱۷۶
شکل ۷. ۱۴. مقایسه نور تولیدشده به کل پرتوهای منتشرشونده لامپ رشته‌ای.....	۱۷۹
شکل ۷. ۱۵. نمایش وضعیت تنگستن لامپ رشته‌ای.....	۱۸۰
شکل ۷. ۱۶. نمایش نمودار بازدهی لامپ‌های رشته‌ای.....	۱۸۱
شکل ۷. ۱۷. وابستگی شار نوری و طول عمر به تغییرات ولتاژ.....	۱۸۲
شکل ۷. ۱۸. وابستگی شار نوری و توان به طول عمر (ساعت کارکرد).....	۱۸۲
شکل ۷. ۱۹. شمای لامپ‌های هالوژن.....	۱۸۳
شکل ۷. ۲۰. تبادل حرارتی لامپ هالوژن با محیط اطراف.....	۱۸۴
شکل ۷. ۲۱. تأثیر نوع و فشار داخلی گاز درون لامپ هالوژن بر طول عمر.....	۱۸۴
شکل ۷. ۲۲. استفاده از لایه فیلتر امواج مادیون قرمز به منظور افزایش بازدهی لامپ.....	۱۸۵
شکل ۷. ۲۳. لامپ بخار سدیم کم‌فشار.....	۱۸۷
شکل ۷. ۲۴. نمایش طول موج پرتوهای منتشرشده توسط لامپ بخار سدیم کم‌فشار.....	۱۸۷
شکل ۷. ۲۵. اثرات تغییرات ولتاژ بر سایر پارامترهای لامپ بخار سدیم کم‌فشار.....	۱۸۸
شکل ۷. ۲۶. اثرات سپری شدن زمان راه‌اندازی بر سایر پارامترهای لامپ بخار سدیم کم‌فشار.....	۱۸۹
شکل ۷. ۲۷. شمای لوله‌های نوری با رنگ‌های مختلف.....	۱۹۰
شکل ۷. ۲۸. نمونه لامپ بخار جیوه و پرتوهای مرئی اولیه تولید شده.....	۱۹۲

عنوان	صفحه
شکل ۲۹.۷. اثرات سپری شدن زمان راه‌اندازی و تغییرات ولتاژ بر سایر پارامترهای لامپ بخار جیوه.....	۱۹۳
شکل ۳۰.۷. لامپ متال‌هالید نمونه.....	۱۹۴
شکل ۳۱.۷. پرتوهای تولیدی لامپ متال‌هالید.....	۱۹۵
شکل ۳۲.۷. اثرات سپری شدن زمان راه‌اندازی بر سایر پارامترهای لامپ متال‌هالید.....	۱۹۵
شکل ۳۳.۷. اثرات تغییرات ولتاژ بر سایر پارامترهای لامپ متال‌هالید.....	۱۹۶
شکل ۳۴.۷. لامپ بخار سدیم پرفشار.....	۱۹۸
شکل ۳۵.۷. پرتوهای تولیدی لامپ بخار سدیم پرفشار.....	۱۹۸
شکل ۳۶.۷. اثرات تغییرات ولتاژ بر سایر پارامترهای لامپ بخار سدیم پرفشار.....	۱۹۹
شکل ۳۷.۷. اثرات سپری شدن زمان راه‌اندازی بر سایر پارامترهای لامپ بخار سدیم پرفشار.....	۲۰۰
شکل ۳۸.۷. اثرات تغییرات ولتاژ بر سایر پارامترهای لامپ فلورسنت.....	۲۰۱
شکل ۳۹.۷. شمای ظاهری تعدادی از لامپ‌های فلورسنت مرسوم.....	۲۰۳
شکل ۴۰.۷. مراحل ساخت و تولید لامپ فلورسنت.....	۲۰۴
شکل ۴۱.۷. شماتیک اساس تولید نور.....	۲۰۸
شکل ۴۲.۷. نحوه عملکرد لامپ‌های فلورسنت.....	۲۰۸
شکل ۴۳.۷. بازدهی نوری لامپ‌های فلورسنت.....	۲۰۹
شکل ۴۴.۷. وابستگی فشار درون لامپ به درجه حرارت.....	۲۱۰
شکل ۴۵.۷. منحنی تغییرات شار خروجی لامپ به درجه حرارت محیط.....	۲۱۱
شکل ۴۶.۷. استفاده از لامپ کم‌مصرف در روشنایی معبر منطقه سردسیر.....	۲۱۲

عنوان	صفحه
شکل ۷.۴۷. منحنی حساسیت چشم انسان به طیف نور.....	۲۱۵
شکل ۷.۴۸. طیف نوری تعدادی لامپ فلورسنت.....	۲۱۶
شکل ۷.۴۹. کاهش مصرف جیوه در لامپ‌های کارخانه اسرام.....	۲۱۷
شکل ۷.۵۰. روند پیشرفت لامپ، چراغ و بالاست (راه‌انداز) لامپ‌های فلورسنت.....	۲۱۸
شکل ۷.۵۱. استارتر لامپ فلورسنت.....	۲۲۱
شکل ۷.۵۲. مراحل عملکرد استارتر.....	۲۲۲
شکل ۷.۵۳. خازن‌های پارازیتی بین الکترودهای لامپ و زمین.....	۲۲۵
شکل ۷.۵۴. کنترل شار نوری لامپ با استفاده از بالاست الکترونیکی آنالوگ.....	۲۲۶
شکل ۷.۵۵. جریان بالاست‌های الکترونیکی با تغییرات ولتاژ ورودی.....	۲۲۷
شکل ۷.۵۶. کنترل دیمربالاست الکترونیکی با استفاده از پتانسیومتر.....	۲۲۸
شکل ۷.۵۷. روشن کردن سه لامپ با یک بالاست.....	۲۲۸
شکل ۷.۵۸. روشن کردن چهار لامپ با یک بالاست.....	۲۲۹
شکل ۷.۵۹. تعبیر صفر یا یک ورودی بالاست‌های سارکار DALI.....	۲۳۰
شکل ۷.۶۰. تغییرات شار نوری لامپ با درجه دیمر.....	۲۳۱
شکل ۷.۶۱. کنترل سیستم روشنایی با استفاده از کنترلر DALI.....	۲۳۲
شکل ۷.۶۲. کنترل سیستم روشنایی با استفاده از کنترلر DALI.....	۲۳۲
شکل ۷.۶۳. کنترل سیستم روشنایی با استفاده از کنترلر DALI کلید زمانی و سنسور حضور.....	۲۳۳
شکل ۷.۶۴. کنترل سیستم روشنایی اضطراری با استفاده از کنترلر DALI.....	۲۳۳
شکل ۷.۶۵. سوئیچ کردن کنترلر DALI از حالت AC به تغذیه اضطراری DC.....	۲۳۴
شکل ۷.۶۶. نحوه ارتباط بالاست‌های الکترونیکی دیجیتال با کامپیوتر.....	۲۳۴

عنوان	صفحه
شکل ۷. ۶۷. مدار عملی کنترل سیستم روشنایی با استفاده از کامپیوتر.....	۲۳۵
شکل ۷. ۶۸. راه‌اندازی لامپ فلورسنت در دماهای پایین توسط بالاست DALI.....	۲۳۶
شکل ۷. ۶۹. عملکرد بدون سیم سیستم کنترلی DALI.....	۲۳۷
شکل ۷. ۷۰. وابستگی شار خروجی لامپ T5 به درجه حرارت محیط.....	۲۳۸
شکل ۷. ۷۱. کنترل درجه حرارت بالاست.....	۲۳۹
شکل ۷. ۷۲. کنترل توان ورودی لامپ.....	۲۳۹
شکل ۷. ۷۳. منحنی تغییرات شار خروجی لامپ برای توان نامی و ۸۰٪ توان نامی.....	۲۴۰
شکل ۷. ۷۴. شماتیک دستگاه سیستم کنترلی DALI شرکت اسرام.....	۲۴۱
شکل ۷. ۷۵. کاهش آلاینده‌های محیط زیست با کمک پیشرفت منابع نوری.....	۲۴۳
شکل ۷. ۷۶. کاهش مصرف انرژی الکتریکی جهت روشنایی به کمک پیشرفت منابع نوری (لامپ‌های فلورسنت) و سنسور حضور.....	۲۴۴
شکل ۷. ۷۷. تأثیر وضعیت کره زمین نسبت به خورشید جهت دریافت پرتوهای ارسالی.....	۲۴۵
شکل ۷. ۷۸. پرتوهای ساطع شده از خورشید پایین و بالای جو.....	۲۴۶
شکل ۸. ۱. شمای نمادین دیود نوری LED.....	۲۴۸
شکل ۸. ۲. ساختمان LED.....	۲۵۰
شکل ۸. ۳. قرار گرفتن کریستال نیمه‌هادی درون وان منعکس‌کننده.....	۲۵۰
شکل ۸. ۴. تولید LED به صورت SMD.....	۲۵۱
شکل ۸. ۵. اصول عملکرد LED.....	۲۵۳
شکل ۸. ۶. ساختمان پیوندی دو نیمه‌هادی.....	۲۵۴

عنوان	صفحه
شکل ۸. ۷. منحنی ولتاژ - جریان دیودهای نوری.....	۲۵۶
شکل ۸. ۸. فرم نیمه کروی LED.....	۲۵۷
شکل ۸. ۹. انتشار نور از یک محیط به محیط دیگر.....	۲۵۷
شکل ۸. ۱۰. تأثیر زاویه بحرانی در تعیین سطح مفید خروج نور.....	۲۵۸
شکل ۸. ۱۱. روند بهبود حوضچه رفلکتور LED.....	۲۶۰
شکل ۸. ۱۲. انتشار نور به خارج.....	۲۶۱
شکل ۸. ۱۳. ساختمان لایه‌ای OLED.....	۲۶۴
شکل ۸. ۱۴. ساختمان OLED.....	۲۶۵
شکل ۸. ۱۵. انعطاف‌پذیری ساختمان OLED.....	۲۶۹
شکل ۸. ۱۶. نمایش تصاویر و نوشته OLED با توجه به انعطاف‌پذیری.....	۲۶۹
شکل ۸. ۱۷. تولید OLED در ابعاد کوچک.....	۲۷۰
شکل ۸. ۱۸. وابستگی میزان شار نوری (ضریب بهره نوری) دیودهای نوری به درجه حرارت.....	۲۷۲
شکل ۸. ۱۹. منبع جریان ثابت با استفاده از ترانزیستور.....	۲۷۵
شکل ۸. ۲۰. طیف نور دیودهای رنگی.....	۲۷۸
شکل ۸. ۲۱. جدول رنگ مواد نیمه‌هادی دیود نوری.....	۲۸۰
شکل ۸. ۲۲. LED های سه رنگ اصلی.....	۲۸۳
شکل ۸. ۲۳. تولید نور سفید از طریق ترکیب دیودهای رنگی.....	۲۸۳
شکل ۸. ۲۴. طیف نور سفید تولیدی از ترکیب دیودهای نوری.....	۲۸۴
شکل ۸. ۲۵. تولید رنگ سفید از طریق دیود نوری ماوراء بنفش و فلورسنت قرمز، سبز و آبی.....	۲۸۵

عنوان	صفحه
شکل ۸. ۲۶. طیف نورناشی از دیود نوری ماوراء بنفش و فلورسنت قرمز، سبز و آبی.....	۲۸۵
شکل ۸. ۲۷. تولید رنگ سفید از طریق دیود نوری آبی و فلورسنت زرد.....	۲۸۵
شکل ۸. ۲۸. طیف نورناشی از دیود نوری آبی و فلورسنت زرد.....	۲۸۵
شکل ۸. ۲۹. تولید نورسفید توسط LED آبی و فلورسنت زرد.....	۲۸۶
شکل ۸. ۳۰. شمای تعدادی دیود نوری.....	۲۹۰
شکل ۸. ۳۱. کاربرد LED در سال ۲۰۰۹.....	۲۹۳
شکل ۸. ۳۲. روند رو به رشد بهره نوری منابع نوری مختلف.....	۲۹۴
شکل ۸. ۳۳. چشم‌انداز پیشرفت تکنولوژی دیودهای نوری تا سال ۲۰۲۰.....	۲۹۵
شکل ۸. ۳۴. چشم‌انداز توسعه دیودهای نوری سفید تا سال ۲۰۲۰.....	۲۹۶

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱.۱. دسته‌بندی پرتوهای بصری.....	۸
جدول ۱.۴. درصد ارزش طیف استاندارد و سهم ارزش طیف استاندارد رنگ‌های اصلی با زاویه دید ۲ درجه.....	۶۶
جدول ۲.۴. ارزش طیف استاندارد و سهم ارزش طیف استاندارد رنگ‌های اصلی با زاویه دید ۱۰ درجه.....	۷۱
جدول ۳.۴. رده‌بندی ضریب برگرداندن رنگ.....	۷۵
جدول ۱.۶. مرتبه دقت و ضرایب خطای لوکس متر براساس استاندارد.....	۱۲۳
جدول ۲.۶. زوایای راسل.....	۱۳۱
جدول ۳.۶. مرتبه دقت و ضرایب خطای درخشندگی سنج براساس استاندارد.....	۱۴۱
جدول ۱.۷. تقسیم‌بندی رنگ نور، درجه حارت منابع نوری.....	۲۰۶
جدول ۲.۷. رنگ نور لامپ‌های فلورسنت با فلورسنت استاندارد.....	۲۰۶
جدول ۳.۷. رنگ نور لامپ‌های فلورسنت با ماده روشنایی سه‌نواری.....	۲۰۶
جدول ۴.۷. رنگ نور لامپ‌های فلورسنت با ماده روشنایی پنج‌نواری.....	۲۰۷
جدول ۵.۷. وابستگی طول لامپ به توان نامی.....	۲۱۳
جدول ۶.۷. درصد شار نوری برحسب عدد دیجیتال ورودی.....	۲۳۰
جدول ۷.۷. مشخصات فنی یک دستگاه سیستم کنترلی DALI شرکت اسرام..	۲۴۰
جدول ۱.۸. ارتباط ولتاژ دو سر دیود و طول موج نور تشعشع شده.....	۲۶۱
جدول ۲.۸. مقایسه طول عمر دیودهای نوری با سایر منابع نوری.....	۲۸۲
جدول ۳.۸. ضریب برگرداندن رنگ منابع نوری.....	۲۸۷
جدول ۴.۸. کلاس‌بندی دیودهای نوری.....	۲۸۸
جدول ۵.۸. مقایسه بهره نوری دیودهای نوری با سایر منابع نوری.....	۲۹۱