

به نام خدا

میدان‌ها و امواج الکترومغناطیسی

مؤلف:

دکتر غلامرضا مرادی

(دانشیار دانشکده مهندسی برق)
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

سرشناسه:	مرادی ، غلامرضا، ۱۳۴۵ -
عنوان و نام پدیدآور:	میدان‌ها و امواج الکترومغناطیسی / مولف غلامرضا مرادی.
مشخصات نشر:	تهران: آیلار، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری:	۳۲۰ص: مصور، جدول.
شابک:	۹-۴۵-۰۴۸-۱۹۸-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی:	فیا
موضوع:	میدان‌های الکترومغناطیس
موضوع:	امواج الکترومغناطیس
رده بندی کنگره:	۱۳۹۲ م ۴ / QC۶۶۵
رده بندی دربی:	۵۳۰/۱۴۱
شماره کتابشناسی ملی:	۲۲۶۳۳۵

نام کتاب:	میدان‌ها و امواج الکترومغناطیسی
مولف:	دکتر غلامرضا مرادی
ناشر:	آیلار
لیتوگرافی:	لیف نگار
چاپ:	دبیر - پردازش تصویر رایان
نوبت چاپ:	اول ۱۳۹۲
تیراژ:	۱۰۰۰ نسخه
قیمت:	۱۲۰۰۰ تومان

دفتر مرکزی کتاب آیلار

انقلاب - خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت) - خیابان شهدای ژاندارمری شرقی

شماره ۱۴۶ (ساختمان آیلار) تلفن: ۶۶۴۰۶۲۵۵ - دورنگار: ۶۶۴۹۱۴۳۱

فروشگاه شماره ۱ (کتاب آیلار)

انقلاب - روبروی دبیرخانه دانشگاه تهران - بازارچه کتاب، تلفن ۶۶۴۱۱۸۶۵ - ۶۶۹۵۶۴۳۳

فروشگاه شماره ۲ (کتاب آیلار)

کریمخان زند - مابین ایرانشهر و خردمند جنوبی - شماره ۱۳۲، تلفن: ۸۸۳۱۹۱۴۰ - ۱

فروشگاه شماره ۳ (کتاب آیلار)

انقلاب - روبروی دانشگاه تهران - پاساژ فروزنده - شماره ۳۲۱، تلفن: ۶۶۹۶۳۵۹۶ - ۹۷

ISBN:978-600-198-045-9

شابک: ۹-۴۵-۰۴۸-۱۹۸-۶۰۰-۹۷۸

بیوگرافی مؤلف



دکتر غلامرضا مرادی در سال ۱۳۴۵ در شهریار متولد شد و دوران تحصیلی را تا اخذ دیپلم ریاضی و فیزیک در شهریار سپری نمود. مدارج دانشگاهی ایشان به این شرح است:

۱- کارشناسی مهندسی برق (مخابرات) از دانشگاه تهران در

سال ۱۳۶۸

۲- کارشناسی ارشد مهندسی برق (مخابرات) از دانشگاه علم

و صنعت ایران در سال ۱۳۷۱

۳- دکترای مهندسی برق (مخابرات) از دانشگاه صنعتی

امیرکبیر در سال ۱۳۸۱

ایشان تدریس دانشگاهی را از سال ۱۳۷۱ در دانشگاه علم و صنعت ایران آغاز نمودند. سپس از تیر ۱۳۷۲ تا بهمن ۱۳۷۶ در دانشکده مهندسی برق دانشگاه هوایی شهید ستاری به تدریس و هدایت دانشجویان کارشناسی مشغول بودند. همچنین از مهر ۱۳۷۶ تا تیر ۱۳۸۵ به عنوان مدرس رسمی دانشکده صنعت هواپیمایی کشوری اشتغال داشتند. نامبرده از ابتدای مرداد ۱۳۸۵ به عنوان استادیار تمام وقت به دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر منتقل شدند و در خرداد ۱۳۹۰ به مرتبه‌ی دانشیاری ارتقا یافتند.

بعضی از فعالیت‌های اجرایی نامبرده عبارتند از:

- مدیر اطلاع‌رسانی دانشکده صنعت هواپیمایی کشوری
- مدیر گروه مخابرات دانشکده صنعت هواپیمایی کشوری
- مدیر پژوهش دانشکده صنعت هواپیمایی کشوری
- سرپرست مجتمع برق دانشکده صنعت هواپیمایی کشوری
- مسئول کارآموزی و ارتباط با صنعت دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- مدیر دانشجویی دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- مدیر زیرسیستم مخابرات فضایی و زیرسیستم ایستگاه زمینی در پروژه‌ی ماهواره‌ی دانشجویی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مدیر گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

برخی از فعالیت‌های پژوهشی دکتر مرادی عبارتند از:

تدوین روش‌های استاندارد اندازه‌گیری مایکروویو

اندازه‌گیری ضریب عایقی روغن ترانس در باند مایکروویو
اندازه‌گیری مشخصات الکترومغناطیسی مواد در باند مایکروویو

طراحی و ساخت نوسان‌ساز گان

طراحی و ساخت تیونر مایکروویو

تدوین بسته آموزشی استاندارد تحت نظر ICAO (پروژه‌ی بین‌المللی)

دکتر مرادی تاکنون حدود ۴۰ مقاله در مجلات معتبر چاپ نموده‌اند و بیش از ۶۰ مقاله در کنفرانس‌های معتبر ارائه نموده‌اند. ایشان تاکنون هفت کتاب تخصصی تألیف نموده‌اند که شامل کتاب خطوط انتقال مخابراتی در سال ۱۳۸۵، کتاب خطوط انتقال فعال در مخابرات الکترونیکی در سال ۱۳۸۶، کتاب مهندسی مایکروویو در سال ۱۳۸۷، کتاب ریاضیات مهندسی در سال ۱۳۸۸، کتاب آمار و احتمالات مهندسی (با کاربردهایی از نرم‌افزار متلب) در سال ۱۳۸۹، کتاب تجزیه و تحلیل سیگنال‌ها و سیستم‌ها در سال ۱۳۹۰ و کتاب ریاضیات عالی مهندسی در سال ۱۳۹۱ می‌شود. شایان ذکر است که کتاب خطوط انتقال فعال در مخابرات الکترونیکی در سال ۱۳۸۷ به عنوان کتاب برتر جمهوری اسلامی ایران در زمینه‌ی مهندسی و علوم برگزیده شد.

ایشان در سال ۱۳۸۲ به دلیل تدوین بسته‌ی آموزشی استاندارد که به نام جمهوری اسلامی ایران در سازمان جهانی هواپیمایی کشوری به ثبت رسیده است به عنوان پژوهشگر برتر وزارت راه و ترابری انتخاب شدند. همچنین وی چندین دوره به عنوان مدرس منتخب در دانشکده مهندسی برق دانشگاه هوایی شهید ستاری و دانشکده صنعت هواپیمایی کشوری انتخاب شده‌اند.

دکتر مرادی دروس زیر را در دانشگاه‌های مختلفی چون دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشگاه هوایی، دانشکده صنعت هواپیمایی کشوری، دانشگاه سیستان و بلوچستان و دانشگاه صنعتی امیرکبیر ارائه کرده‌اند:

میدان‌ها و امواج الکترومغناطیسی، مایکروویو ۱، آنتن ۱، مایکروویو ۲، اندازه‌گیری مایکروویو، ریاضیات مهندسی، اصول فرستنده و گیرنده، ریاضیات پیشرفته مهندسی، اصول طراحی زیرسیستم‌های رادیویی، آمار و احتمالات مهندسی، خطوط انتقال مخابراتی، الکترومغناطیس مهندسی، سیستم‌های مخابرات، آزمایشگاه مدار مخابراتی، آزمایشگاه مایکروویو و آنتن.

زمینه‌های تحقیقاتی نامبرده طراحی مدارات فعال و غیرفعال مایکروویو، مدارات گسترده موج میلی‌متری، مدارات غیرخطی مایکروویو، اندازه‌گیری مایکروویو و اصول تحلیل سیگنال و نویز مدارات فرکانس بالا و روش‌های محاسباتی در الکترومغناطیس است.

دکتر مرادی هم اکنون به عنوان دانشیار تمام وقت در دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر به فعالیت آموزشی و پژوهشی اشتغال دارند.

به نام آنکه حکمت آموخت

یکی از نام‌های ماندگار قرن اخیر، عصر ارتباطات و مخابرات است. پیشرفت فناوری مخابرات در این سده، تا حد زیادی مدیون اصول الکترومغناطیس و الکترودینامیک است. این اصول، از مبانی اساسی مهندسی برق است. ایجاد نیروی محرکه الکتریکی در سده، مخابرات ماهواره‌ای، سیستم‌های رادار، مخابرات سیار و تصویربرداری پزشکی بخشی از کاربردهای الکترومغناطیس است. خوشبختانه مراکز علمی دنیا، با درک نیاز به این موضوع مهم علمی از دهه‌ها سال پیش دروسی مانند الکترومغناطیس، میدان‌ها و امواج و آنتن را در فهرست دروس اصلی خویش قرار داده‌اند.

کتاب حاضر تحت عنوان میدان‌ها و امواج الکترومغناطیسی جهت رفع نیاز دانشجویان رشته‌ی مهندسی برق و به عنوان یک کتاب درسی تدوین شده است. همچنین می‌توان از این کتاب به عنوان مرجعی جهت دروس الکترومغناطیس و الکترودینامیک استفاده کرد.

فصل اول این کتاب، معادلات ماکسول را به عنوان مبانی معادلات حاکم بر امواج الکترومغناطیس تحت پوشش قرار می‌دهد. شرایط و روابط مرزی بین دو محیط در این فصل اشاره شده است. مبانی امواج صفحه‌ای در فصل دوم این کتاب معرفی شده است. بسیاری از قوانین و اصول مورد نیاز در الکترومغناطیس کاربردی در این فصل پوشش داده شده است. همچنین انواع محیط‌های انتشار موج به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

اصول محاسبه‌ی توان موج و نظریه‌ی پوینتینگ در فصل سوم اشاره شده است. این فصل ارتباط مناسبی بین نظریه‌ی الکترومغناطیس و نظریه‌ی اساسی مدارهای الکتریکی برقرار می‌کند. اثر برخورد موج به یک محیط، موضوع مورد بحث در فصل چهارم کتاب است. پدیده‌های انعکاس و انتقال موج تحت برخورد عمودی در این فصل مطرح شده است.

فصل پنجم، برخورد مایل موج به یک مرز تخت را مورد مطالعه قرار می‌دهد. قضیه‌ی مهم بروستر که در دنیای فیزیک نور کاربرد فراوانی دارد از جمله موارد اشاره شده در این فصل است. اصول انتشار موج در موجبرهای الکترومغناطیسی موضوع فصل شش این کتاب است. با توجه به این که در اکثر دانشگاه‌های کشور، موجبر مستطیلی و دایروی در درسی تحت عنوان مایکروویو تدریس می‌شود

در اینجا از آوردن آن خودداری شده است تا حجم کتاب بی دلیل زیاد نشود. خوانندگان علاقمند به موضوع موجبرهای مستطیلی و دایروی می توانند به کتاب اصول مهندسی میکروویو از همین نویسنده مراجعه نمایند. آخرین فصل کتاب به معرفی بردار پتانسیل مغناطیسی می پردازد که از مبانی ورود به مبحث آنتن های میکروویو است.

مؤلف، با توجه به اهمیت موضوع و با تجربه بیش از دو دهه تدریس در این زمینه، بر آن شد تا کتابی مناسب در حد رفع نیازهای متداول مهندسان، کارشناسان و دانشجویان رشته ی مهندسی برق و به خصوص به عنوان کتاب درسی میدان ها و امواج به رشته تحریر در آورد. ویژگی مهم این کتاب، وجود صدها مثال، پرسش و مسأله ی حل شده و ده ها تمرین است که اکثر آن ها در آزمون های سالیان اخیر در دانشگاه های کشور مطرح شده اند و می تواند مبنایی برای خودآزمایی خوانندگان گرامی باشد.

یادآور می شود مبحث تحلیل خطوط انتقال که تکمیل کننده ی این کتاب است به عنوان یک کتاب مستقل و تحت عنوان خطوط انتقال مخابراتی توسط نویسنده به چاپ رسیده است و بهتر است قبل از ورود به مبحث میدان ها و امواج مورد مطالعه قرار گیرد.

در اینجا بر خود فرض می دانم از کلیه ی عزیزانی که در ایجاد این اثر بنده را یاری نمودند تشکر نمایم. در این بین به خصوص از جناب آقای مهندس امیر تسبیحی و سرکار خانم مهندس سلیمه توفیقی برای نظرات سازنده شان در ویرایش کتاب، کمال امتنان را دارم و در نهایت از مدیریت محترم انتشارات آیلاز برای قبول زحمت چاپ کتاب صمیمانه سپاس گزاری می کنم.

امید است خوانندگان گرامی نقطه نظرات و پیشنهادات خود را به نحو مقتضی به نویسنده منتقل نمایند.

دکتر غلامرضا مرادی

GhMoradi@aut.ac.ir

دانشیار دانشکده مهندسی برق، عضو قطب علمی مخابرات فرکانس بالا و عضو پژوهشکده ی فناوری مخابرات و الکترومغناطیس کاربردی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

فهرست

فصل ۱: ضروری بر الکترومغناطیس.....	۱
۱.۱. مقدمه.....	۱
۲.۱. فرم‌های مختلف معادلات ماکسول.....	۲
۳.۱. نکات قابل تأمل در رابطه با معادلات ماکسول.....	۲
۴.۱. نفص قانون آمپر.....	۷
۵.۱. شرایط و روابط مرزی در بین دو محیط.....	۸
۶.۱. انواع محیط‌ها.....	۱۴
۳.۱. مسائل حل‌شده.....	۱۶
۸.۱. تمرین.....	۲۱
فصل ۲: امواج صفحه‌ای.....	۲۳
۱.۲. مقدمه.....	۲۳
۲.۲. انواع موج با توجه به جبهه موج.....	۲۴
۳.۲. بررسی موج صفحه‌ای.....	۲۶
۴.۲. حل معادله موج.....	۲۸
۵.۲. انتشار موج در محیط‌های مختلف.....	۳۶
۶.۲. ضریب عایقی مختلط.....	۵۳
۷.۲. هم‌ارزی ضریب عایقی و ضریب شکست.....	۵۷
۸.۲. وابستگی فرکانسی ضریب عایقی.....	۵۷
۹.۲. ملاک هادی و عایق بودن.....	۶۲
۱۰.۲. پلاریزاسیون موج صفحه‌ای.....	۶۳
۱۱.۲. مسائل حل شده.....	۷۶
۱۲.۲. تمرین.....	۹۱

فصل ۳: قضیه انرژی و توان (قضیه پوینتینگ)	۹۳
۱.۳. مقدمه	۹۳
۲.۳. توان موج	۹۴
۳.۳. قضیه پوینتینگ در حوزه فرکانس	۹۸
۴.۳. قضیه پوینتینگ در حوزه زمان	۹۹
۵.۳. چگالی انرژی الکترومغناطیسی	۱۰۱
۶.۳. تلفات توان در سطح هادی	۱۰۳
۷.۳. تشابه میدان و مدار از نظر توان	۱۰۶
۸.۳. یکتایی میدان‌های الکترومغناطیسی	۱۰۸
۹.۳. مسائل حل شده	۱۰۹
۱۰.۳. تمرین	۱۲۵
فصل ۴: انعکاس و انتقال از مرز (تابش عمود بر مرز)	۱۲۷
۱.۴. مقدمه	۱۲۷
۲.۴. اصول تحلیل انعکاس از یک مرز مسطح	۱۲۹
۳.۴. تحلیل موج ساکن	۱۳۲
۴.۴. تحلیل انعکاس موج در محیط‌های چند لایه	۱۳۷
۵.۴. انعکاس و انتقال از محیط چند لایه	۱۴۶
۶.۴. مسائل حل شده	۱۵۹
۷.۴. تمرین	۱۶۱
فصل ۵: تابش مایل موج صفحه‌ای بر یک مرز تخت	۱۶۳
۱.۵. مقدمه	۱۶۳
۲.۵. تحلیل ریاضی مساله تابش مایل	۱۶۵
۳.۵. انعکاس از هادی کامل تحت تابش مایل	۱۷۵
۴.۵. تحلیل سرعت انتشار در پدیده‌ی تابش مایل	۱۸۵

۱۸۶	۵.۵. قطبش موازی: E در صفحه‌ی تابش.....
۱۹۰	۶.۵. قطبش عمودی: E عمود بر صفحه تابش.....
۱۹۳	۷.۵. انعکاس کلی در زاویه بحرانی.....
۱۹۵	۸.۵. نور به عنوان بخشی از طیف امواج الکترومغناطیس.....
۱۹۶	۹.۵. قطبش توسط انعکاس.....
۱۹۸	۱۰.۵. کاربرد زاویه بروستر در لیزر.....
۲۰۰	۱۱.۵. موجبر تیغه نایق.....
۲۰۳	۱۲.۵. فیبر نوری.....
۲۰۵	۱۳.۵. مسائل حل شده.....
۲۰۸	۱۴.۵. تمرین.....
۲۱۱	فصل ۶: انتشار موج در موجبر صفحه موازی.....
۲۱۱	۱.۶. مقدمه.....
۲۱۲	۲.۶. انواع موجبرهای الکترومغناطیسی.....
۲۱۲	۳.۶. موجبر صفحه موازی.....
۲۱۶	۴.۶. انواع مدهای انتشار.....
۲۱۷	۵.۶. روابط مد TE و TM.....
۲۱۸	۶.۶. تحلیل موجبر صفحه موازی.....
۲۳۴	۷.۶. تحلیل مد TM در موجبر صفحه موازی.....
۲۳۸	۸.۶. شکل جریان در روی سطح موجبر صفحه موازی.....
۲۳۹	۹.۶. بیان ذهنی یا نظری میدان در موجبر صفحه موازی.....
۲۴۳	۱۰.۶. شیار تشعشی.....
۲۴۴	۱۱.۶. انتشار فرکانس بسیار پایین در موجبر زمین- یونوسفر.....
۲۵۰	۱۲.۶. مسائل حل شده.....
۲۵۰	۱۳.۶. تمرین.....

فصل ۷: پتانسیل برداری مغناطیسی	۲۵۵
۱.۷. مقدمه	۲۵۵
۲.۷. حل معادله هلمهولتز برای یک آنتن کوچک	۲۶۰
۳.۷. مسائل حل شده	۲۶۳
۴.۷. تمرین	۲۶۶
ضمیمه ۱: نمونه سوالات مروری الکترومغناطیس، میدان‌ها و امواج	۲۶۷
ضمیمه ۲: فرمول‌های مهم و قضایای مفید میدان‌ها و امواج	۲۸۹