دانشکده‌ی مهندسی برق

پایان‌نامه/رساله برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی برق گرایش مخابرات میدان

پراکندگی معکوس در تئوری الکترومغناطیس

سمانه متقی طبرستانی

استاد راهنما:

دکتر بیژن ذاکری گتابی

استاد مشاور:

دکتر سید محمود سخایی

۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

کپی فرم صورت جلسه دفاع دانشگاه صنعتی نوشیروانی که مهمور به تحصیلات تکمیلی است

نام دانشکده: دانشکده برق

نام دانشجو: سمانه متقی طبرستانی

عنوان پایان‌نامه: پراکندگی معکوس در تئوری الکترومغناطیس

تاریخ دفاع:

رشته: مهندسی برق

گرایش: مخابرات میدان

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر بیژن ذاکری گتابی			
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور	دکتر سید محمود سخایی			
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو خارجی				
۶	استاد مدعو خارجی				
۷	استاد مدعو داخلی	دکتر سید مهدی حسینی اندرگلی			
۸	استاد مدعو داخلی	دکتر حسین میار نعیمی			

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج و مالکیت مادی ومعنوی

باسمه تعالی

اینجانب سمانه متقی طبرستانی به شماره دانشجویی ۹۱۴۱۲۰۰۴۸ دانشجوی رشته‌ی مهندسی برق گرایش مخابرات میدان مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه‌ی ارشد/رساله‌ی دکتری تحت عنوان پراکندگی معکوس در تئوری الکترومغناطیس به استاد راهنمایی دکتربیژن ذاکری گتابی حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت. در ضمن تمام دستاوردهای مادی و معنوی حاصله از پایان نامه ارشد/ رساله دکتری متعلق به دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل می باشد و اینجانب هیچ گونه ادعایی در قبال آن ندارم.

نام و نام خانوادگی: سمانه متقی طبرستانی

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

همسر فداکار

و پسر دلبندم

تشکر و قدردانی:

با تشکر از پدر و مادر و همه‌ی معلمان و اساتید دوران تحصیلم

چکیده

هدف از حل یک مسئله‌ی پراکندگی معکوس، بازیابی ویژگی‌های اهداف با استفاده از اطلاعات پراکندگی مستقیم است. مدل‌سازی دقیق و روشی مناسب برای استخراج پراکندگی، مهمترین بخش حل یک مسئله‌ی پراکندگی معکوس است. زیرا حتی با وجود ایده‌آل بودن الگوریتم های معکوس اثر دقت و انطباق مدل و روش محاسبه‌ی پراکندگی بر جواب‌های حاصل از پراکندگی معکوس بسیار بزرگ است. در این پایان‌نامه به محاسبه‌ی پراکندگی سطوح چندلایه، برگرفته از مدل‌های واقعی موجود در طبیعت به عنوان گام بزرگی در راستای حل مسائل پراکندگی معکوس پرداخته می‌شود. برای تحقق این منظور دو روش در دو حیطه‌ی تئوری و عددی به خدمت گرفته شده اند. بدین منظور ابتدا سطوح ناصاف تصادفی پیوسته و گسسته بکارگیری شده در دو روش، مورد بررسی قرار گرفت. سپس جدیدترین روش تئوری انحراف کوچک مرتبه‌ی اول کلاسیک[1] به منظور محاسبه‌ی پراکندگی محیط چند لایه‌ی با تعداد دلخواهی از سطوح ناصاف بکارگیری شده است. سپس برای افزایش محدوده‌ی اعتبار جواب‌ها در سطوح با پستی و بلندی‌های بزرگتر در مقایسه با طول موج و زاویه‌ی تابش نسبت به محور افقی کوچک[2]، روش FDTD [3]به عنوان روش عددی برای محاسبه‌ی پراکندگی از محیط دلخواه چند لایه استفاده شده است. همچنین مدل جدیدی از محیط چند لایه بر مبنای مدل واقعی موجود در طبیعت برای پیاده‌سازی توسط روش های مذکور ارائه شده است. این ساختار متغییر با زمان است و بصورت یک زمین پوشیده شده توسط لایه‌ای از برف تازه که گذشت زمان به عنوان عامل اثرگذار بر پارامترهای الکترومغناطیسی آن اعمال شده است، تعریف می‌شود. در انتها پراکندگی این مدل جدید به عنوان یک مدل نشات گرفته از طبیعت استخراج و بررسی گردید.

واژه‌های کلیدی: پراکندگی مستقیم و معکوس، محیط چند لایه با تعداد دلخواه لایه ها و سطوح ناصاف، روش انحراف کوچک مرتبه ی اول کلاسیک، روش FDTD، محیط پوشیده شده با برف تازه.

[1] Small Perturbation Method (SPM)

[2] Low grazing angle

[3] Finite Difference Time Domain

فهرست مطالب

فصل ۱ مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

1-2 مسئله و روش حل آن: ۳

فصل ۲ مروری بر منابع ۷

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ روش تئوری ۸

۲-۲-۱ مروری بر پیشینه‌ی روش SPM در حل مسائل محیط‌های چند لایه ۹

۲-۳ روش عددی ۱۰

۲-۳-۱ مروری بر پیشینه‌ی روش FDTD در حل مسائل محیط‌های چند لایه ۱۲

۲-۴ نتیجه‌گیری ۱۴

فصل ۳ محاسبه‌ی پراکندگی مستقیم ۱۵

۳-۱ مقدمه ۱۶

۳-۲ سطوح ناصاف دارای پستی و بلندی ۱۶

۳-۲-۱ پستی و بلندی‌های تصادفی پیوسته ۱۷

۳-۲-۲ پستی و بلندی‌های تصادفی گسسته ۱۹

۳-۲-۳ سطوح ناصاف تصادفی چند لایه ۲۵

۳-۳ روش انحراف کوچک مرتبه‌ی اول کلاسیک ۳۰

۳-۳-۱ ناحیه‌ی اعتبار SPM ۳۰

۳-۳-۲ مدل Fuks ۳۱

۳-۳-۳ مدل Sarabandi ۳۲

۳-۳-۴ فرمول‌بندی انحرافات کلی ۳۳

۳-۳-۵ پراکنده‌گی نرمالیزه شده ۳۵

۳-۴ روش عددی FDTD ۳۸

۳-۴-۱ ساختار و مدل مورد بررسی در روش FDTD ۳۹

۳-۴-۲ الگوریتم Yee و معادلات بروز رسانی در FDTD ۴۰

۳-۴-۳ موج تابشی ۴۱

۳-۴-۴ پراکندگی و میدان های راه دور ۴۶

فصل ۴ اعتبار سنجی روش‌های بکارگیری شده در این پایان‌نامه ۴۶

۴-۱ مقدمه ۴۸

۴-۲ اعتبار سنجی روش SPM ۴۸
۴-۲-۱ اعتبار سنجی مدل زمین گسسته ۴۸
۴-۲-۲ اعتبار سنجی مدل پیوسته ۵۳
۴-۳ اعتبار سنجی روش FDTD ۵۶
فصل ۵ پراکندگی درمحیط چند لایه‌ی متغییر با زمان ۵۹
۵-۱ مقدمه ۶۰
۵-۲ مشخصات ساختار مورد مطالعه در روش SPM ۶۰
۵-۲-۱ پارامترهای الکترومغناطیسی برف ۶۲
۵-۳ محاسبه‌ی پراکندگی مدل زمین پوشیده از برف ۶۳
۵-۴ مشخصات ساختار مورد مطالعه در روش FDTD ۶۵
۵-۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۶۶
مراجع ۶۹
پیوست‌ها ۷۶

فهرست شکل ها

شکل (۳-۱) : سطح ناصاف با توزیع گوسی به طول lc و تعداد ۱۰۰ نقطه ،lc=0.01,h=0.5..... ۱۸
شکل (۳-۲) : سطح ناصاف با توزیع گوسی به طول $rL=10l_c$ وتعداد ۱۰۰ نقطه ،lc=0.01 ,h=0.5..... ۱۹
شکل (۳-۳) سطح ناصاف با توزیع گوسی به طول rL=100lc وتعداد ۱۰۰ نقطه،lc=0.01 ,h=0.5..... ۱۹
شکل (۳-۴) : سطح ناصاف با توزیع گوسی پیوسته به طولrL=10lc , lc=0.5 ,h=0.1,dx=0.005..... ۲۰
شکل (۳-۵) : سطح ناصاف با توزیع گوسی گسسته به طولrL=10lc,lc=0.5 ,h=0.1,dx1 =10dx..... ۲۰
شکل (۳-۶) : سطح ناصاف با توزیع گوسی گسسته به طول rL=10lc,lc=0.5 ,h=0.1,dx2 =20dx..... ۲۱
شکل (۳-۷) : سطح ناصاف با توزیع گوسی گسسته به طول rL=10lc,lc=0.5 ,h=0.1,dx3 =60dx..... ۲۱
شکل (۳-۸) سطح ناصاف با توزیع گوسی گسسته شده در راستای x، به طولlc=0.5, h=0.1, dx1 =0.05, rL=10lc ۲۲
شکل (۳-۹) : سطح ناصاف با توزیع گوسی گسسته شده در راستای x و z، بـه طـول rL=10lc lc=0.5, h=0.1, dx =0.05, dz=dx,..... ۲۲
شکل (۳-۱۰) : سطح ناصاف با توزیع گوسی پیوسته به طولrL=10lc ,lc=0.5, h=1, dx =0.005, dz=dx..... ۲۴
شکل (۳-۱۱) : سطح ناصاف با توزیع گوسی گسسته شده در راسـتای x و z ، بـه طـول rL=10lc lc=0.5, h=1, dx =0.05, dz=dx,..... ۲۴
شکل (۳-۱۲) : سطح ناصاف با توزیع گوسی پیوسته به طولlc=1, h=5, dx =0.005, dz=dx, rL=10lc..... ۲۵
شکل (۳-۱۳) : سطح ناصاف با توزیع گوسـی گسسـته شـده در راسـتای x و z ، بـه طـول rL=10lc lc=1, h=5, dx =0.05 dz=dx..... ۲۵
شکل (۳-۱۴) : سطح ناصاف چند لایه با توزیع گوسی پیوسته شده به طـول rL=70 lc=0.5, h=0.3,N=200, تعـداد نقاط تصادفی برای تولید سطح تصادفی بالا(RN-Top)= ۱۲۳۴۵۶..... ۲۷
شکل (۳-۱۵) : اختلاف دو سطح ناصاف تولید شده درشکل قبل همه ی پارامتر های سازنده ی سطح یکسان هستند بجز تعداد نقاط تصادفی..... ۲۷
شکل (۳-۱۶) : سطح ناصاف چندلایه با توزیع گوسی گسسته شده به طولrL=70 lc=0.5, h=0.3,N=200 ..... ۲۸
شکل (۳-۱۷) : اختلاف دو سطح ناصاف گسسته تولید شده در شـکل قبـل همـه ی پـارامتر هـای سـازنده ی سـطح یکسان هستند بجز تعداد نقاط تصادفی..... ۲۸
شکل (۳-۱۸) : اختلاف دو سطح ناصاف پیوسته تولید شده با پارامترهای شکل (۳-۱۴)..... ۲۹
شکل (۳-۱۹) : اختلاف دو سطح ناصاف گسسته تولید شده در شکل(۳-۱۸)..... ۲۹
شکل (۳-۲۰) ساختار مدل Fuks..... ۳۱
شکل (۳-۲۱) : ساختار مدل Sarabandi..... ۳۲
شکل (۳-۲۲) : ساختار چند لایه ی دلخواه..... ۳۲
شکل (۳-۲۳) : ساختار کلی مدل شبیه سازی در روش FDTD..... ۴۰۳۲
شکل (۳-۲۴) :نحوه ی قرار گرفتن میدان های الکتریکی و مغناطیسی در سلول Yee..... ۳۲
شکل (۳-۲۵) : شبیه سازی برخورد موج صفحه ای به سطح صاف و غیرصاف..... ۴۴
شکل (۳-۲۶) : شبیه سازی برخورد موج باریک شده به سطح صاف و ناصاف..... ۴۵
شکل (۴-۱) : ساختار مورد استفاده در اعتبار سنجی..... ۴۹

شکل (۴-۲) : نتایج حاصل از شبیه سازی این پایان نامه از محیط گسسته مدل شکل (۴-۱)..... ۵۱
شکل (۴-۳) : نتایج مقاله ی [۳۸] از مدل گسسته ی شکل (۴-۱)..... ۵۱
شکل (۴-۴) : نتایج مقاله ی [۳۹]از مدل گسسته ی شکل (۴-۱)..... ۵۱
شکل (۴-۵) : پراکندگی ساختار های جدول ۱ و ۲ شبیه سازی شده توسط روش این پایان نامه..... ۵۳
شکل (۴-۶) پراکندگی ساختار های جدول ۱ و ۲ شبیه سازی شده..... ۵۳
شکل (۴-۷) نحوه ی تغییرات ضریب دی الکتریک در لایه ی پیوسته مورد استفاده در اعتبار سنجی پراکندگی پیوسته..... ۵۴
شکل (۴-۸) نتایج پراکندگی ساختار شکل (۴-۷) با استفاده از توسعه ی روش Sarabandi..... ۵۵
شکل (۴-۹) : نتایج پراکندگی ساختار شکل (۴-۷) با استفاده از روش این پایان نامه..... ۵۵
شکل (۴-۱۰) : نتایج پراکندگی ساختار شکل (۴-۷) بر حسب تک تک مولفه ها..... ۵۶
شکل (۴-۱۱) نتایج پراکندگی ساختار جدول ۴ برای اعتبار سنجی FDTD (مثال اول)..... ۵۸
شکل (۴-۱۲) نتایج پراکندگی ساختار جدول ۵ برای اعتبار سنجی FDTD (مثال دوم)..... ۵۸
شکل (۵-۱) ساختار مورد بررسی..... ۶۱
شکل (۵-۲) : منحنی تغییرات بخش موهومی ضریب دی‌الکتریک نسبت به فرکانس. نمودار خاکستری مربوط به دمای ۵- و نمودار مشکی دمای ۱۵- درجه سانتی گراد می‌باشد (0.1, 0.3, 0.5 مقادیرچگالی برحسب g/m^3 می‌باشد)[۱۷]..... ۶۳
شکل (۵-۳) : پراکندگی زمین سه لایه که توسط یک لایه برف با پارامترهای مذکور پوشیده شده است Error! Bookmark not defined.
شکل (۵-۴) نتایج شبیه سازی پارامترهای برف در مدت ۸ ساعت، به ازای نرخ بارش یکنواخت15cm/day..... ۶۴
شکل (۵-۵) مقایسه ی پراکندگی ساختار چند لایه ی زمین جدول ۶ در حالت بدون برف و با برف..... ۶۶

فهرست جدول ها

جدول ۱ : پارامترهای ساختار مورد اعتبار سنجی مربوط به نمودارهای پایین تر (زیتونی) در منحنی پراکندگی... ...
.....۵۲
جدول ۲ : پارامترهای ساختار مورد اعتبار سنجی مربوط به نمودارهای بالاتر (قرمز) در منحنی پراکندگی
.....۵۲
جدول ۳ : پارامترهای ساختار شکل (۴-۷) برای استفاده در اعتبار سنجی مدل پیوسته ۵۵
جدول ۴ : پارامترهای ساختار مورد استفاده در اعتبار سنجی روش FDTD (مثال اول)..... ۵۶
جدول 5 : پارامترهای ساختار مورد استفاده در اعتبار سنجی روشFDTD (مثال دوم)..... ۵۷
جدول ۶ : پارامترهای مدل پوشیده با برف شبیه سازی شده توسط روشFDTD ۶۶

فصل ۱

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در چند دهه‌ی اخیر مسئله‌ی پراکندگی معکوس امواج الکترومغناطیسی توجه پژوهشگران را به منظور استفاده از آن در علوم مختلف جلب نموده است. در تصویربرداری‌های پزشکی کاربردهایی نظیر تشخیص سکته، سرطان خون و تومورهای سرطانی؛ در ژئوفیزیک برای اکتشاف مواد معدنی؛ در صنعت برای تست‌های غیر مخرب؛ در علوم نظامی برای تشخیص اهداف و غیره را می توان به عنوان نمونه ذکر کرد. هدف از حل یک مسئله‌ی پراکندگی معکوس استخراج ویژگی‌های جسمی مجهول توسط اندازه گیری‌های انجام شده در خارج از محل قرار گیری جسم مورد نظر است. ویژگی‌های قابل استخراج به دو دسته‌ی کلی ویژگی‌های هندسی و ماهیتی تقسیم می‌شود، منظور از ویژگی‌های هندسی متغییرهای تعیین کننده‌ی شکل هندسی، مکان قرار گرفتن جسم در پس زمینه‌اش، پارامترهای سطح، ابعاد وغیره می‌باشد. ویژگی‌های ماهیتی پارامترهایی هستند که منجر به تعیین جنس هدف میگردند، درمبحث الکترومغناطیس این ویژگی‌های به خواص الکترومغناطیسی هدف شامل رسانایی الکتریکی، ضرایب الکترومغناطیسی و پارامترهای وابسته به آن اطلاق می‌گردد[۶] - [۱]

در علوم هواشناسی، زمین شناسی و نظامی استخراج اطلاعات مربوط به پارامترهای سطح محیط‌های مختلف ارزش بسیار زیادی دارد. در حوزه‌ی علوم نظامی تشخیص و شناسایی مین‌های زمینی و مهمات منفجر نشده همواره مسئله و چالشی بزرگ برای متخصصین این رشته بوده است. عواملی از این دست سبب گردید تا تشخیص و سنجش با استفاده از پراکندگی معکوس داده‌های الکترومغناطیسی، به عنوان روشی بسیار کارا برای نیل به این هدف به تدریج تبدیل به روشی برجسته در این زمینه‌ها گردد. در این روش فرستنده به ارسال یک سیگنال الکترومغناطیسی می‌پردازد، سپس سیگنال‌های برگشتی موج ارسالی توسط دستگاه‌های گیرنده ثبت می‌گردند. آنگاه تشخیص حضور وشناسایی مکان و جنس اهداف با استفاده از پردازش اطلاعات سیگنال‌های دریافتی انجام می‌شود، چرا که اهداف موجود در یک محیط بر سیگنال‌های

برگشتی از آن محیط تغییراتی را اعمال می‌نمایند. بنابراین توسعه مدل‌سازی برهمکنش الکترومغناطیسی اهداف مختلف و بهبود روش‌های پردازش اطلاعات سبب افزایش دقت و توسعه این رشته می‌گردند.

افزایش دقت در شبیه‌سازی برهمکنش الکترومغناطیسی اهداف پنهان شده در لایه‌های زمین با محیط اطراف خود سهم مهمی در پیشرفت و توسعه‌ی علوم در حوزه‌ی شناسایی و تشخیص اهداف نظامی دارد. به همین علت بررسی اثر رطوبت و پستی و بلندی‌های زمین برمیدان‌های پراکنده شده از آن، به عنوان ابزار اولیه‌ی مورد نیاز در بررسی برهمکنش اهداف با محیط‌های پس زمینه پس از توسعه‌ی ماهواره‌ها به طور گسترده آغاز گردید[۱۱] - [۷]. در این راستا ارائه، بررسی و استخراج پراکندگی مدل‌های واقعی از محیط‌های پس زمینه مانند زمین چند لایه به تنهایی و بدون هیچ گونه جسم یا هدف دیگر، به عنوان پایه‌ی مسائل مذکور اهمیت بسزایی پیدا کرد. بنابراین پژوهش‌های مختلفی در آنالیز پراکندگی چندگانه زمین متمرکز شده و روش‌های تئوری و عددی مختلفی برای حل مسائل این حوزه ابداع شده و توسعه یافته‌اند [۱۴] - [۱۲].

۱-۲ مسئله و روش حل آن:

برای حل مسائل مورد بحث در بخش قبل روش‌های مختلفی بکارگیری شده‌اند. شروع پژوهش‌های مربوط به این حوزه از سال‌های ۱۹۵۰ میلادی می‌باشد [۱۵]، که پراکندگی امواج الکترومغناطیسی از یک لایه‌ی زمین با سطح ناصاف را مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌اند. سپس در ادامه تعدادی از پژوهش‌ها پراکندگی مدل زمین یک لایه با سطح ناصاف را به تنهایی و یا بهمراه یک هدف که در داخل یا بالای سطح آن تعبیه شده است، را بررسی نمودند[۱۹] - [۱۶]. اما بر مبنای مدل‌های واقعی موجود در طبیعت، پراکندگی ساختاری از زمین که متشکل از تعداد زیادی لایه با پارامترهای الکترومغناطیسی متغییر پیوسته یا گسسته می‌باشد، بسیار مورد نیاز است. مدل زمین چند لایه با سطوح صاف، و یا سطوح با پستی و بلندی، ساختاری از زمین که توسط روئیدنی‌هایی نظیر بافت علفی یا جنگلی پوشیده شده باشد، زمین پوشیده شده توسط

لایه‌های برف یا یخ، یا دریاچه‌ی یخ‌زده، مدل اقیانوس پوشیده شده توسط لایه‌ی نفتی و مدل زمینی که داخل آن دریاچه‌ای از نفت قرار دارد از نمونه‌های بسیار پرکاربرد این حوزه می‌باشد. بررسی و تعیین دقیق پارامترهای نمونه‌های معرفی شده نیازمند توسعه و افزایش دقت روش‌های پیاده‌سازی و حل مسائل این حوزه می‌باشد [۲۰] و [۲۱].

به منظور دسته‌بندی کلی می‌توان روش‌های حل این دسته از مسائل را به سه دسته‌ی کلی روش‌های تئوری، روش‌های مبتنی بر مشاهدات تجربی و شبه‌تجربی[1] و روش‌های متنوع عددی تقسیم‌بندی نمود.

روش‌های تجربی و شبه‌تجربی، روش‌هایی با درجه اعتبار بالا استخراج شده از نتایج اندازه گیری‌های واقعی می‌باشند. اما محدوده‌ی اعتبار آنها فقط مربوط به همان ناحیه‌ی اندازه گیری شده می‌باشد و عدم قابلیت تعمیم‌پذیری آن سبب محدودیت کاربرد آنها شده است. همچنین این روش‌ها قابلیت ارتقا و توسعه‌ی بسیار کمتری در مقایسه با دو دسته روش دیگر دارند [۲۲].

روش‌های تئوری رایج معتبر در این حوزه شامل: ۱- روش انحراف کوچک[2] که ناحیه‌ی اعتبار آن برای محیط‌های با سطوح ناصاف با پستی و بلندی‌های کوچک در مقایسه با طول موج فرودی است. ۲- روش تقریب کیرشهف[3] که محدوده‌ی اعتبار آن در ناحیه‌ی پستی و بلندی‌های بزرگ در مقایسه با طول موج فرودی است. روش‌های تئوری به علت خطای پایین و نزدیکی نتایج به مقادیر واقعی حاصل از اندازه گیری، بسیار قابل اعتماداند، و مبنای بسیار مناسبی برای درستی سنجی روش‌های مختلف عددی می‌باشند. اما بکارگیری آنها در مسائل با پراکنده‌گرهای پیچیده چالشی بزرگ محسوب می‌شود.

روش‌های متنوع عددی بسیاری به تنهایی و یا توسط ترکیب آن‌ها با یک روش تئوری برای حل مسائل این حوزه بکارگیری شده است، و هم اکنون نیز مورد توجه و گسترش می‌باشند. مبنای این روش‌ها حل یک انتگرال (مانند روشMOM[4])، و یا حل معادله‌ی موج (مانند روش FDTD[1]) توسط گسسته‌سازی آن

[1] empirical, semi-empirical
[2] Small Perturbation Method (SPM)
[3] KAM
[4] Method Of Moment

می‌باشد. اگر چه در حل مسائل با استفاده از روش‌های عددی در مقایسه با روش‌های تئوری از تقریب‌های کمتری استفاده می‌گردد و از اینرو گاهی آن‌ها را روش‌های دقیق نامگذاری نموده‌اند؛ اما از طرف دیگر از خطای ناشی از گسسته‌سازی رنج می‌برند. همچنین هزینه‌ی بار محاسباتی این روش‌ها در برخی کاربردها و نوعا در دسته‌ی خاصی از آنها بسیار بالا می‌باشد. اما بنا بر وجود محدودیت‌ها و در پاره‌ای از موارد عدم امکان پیاده‌سازی روش‌های تئوری در مسائل و شکل‌های پیچیده‌ی پراکنده‌گرهای مختلف، استفاده از این روش‌ها اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنابراین توسعه و بهبود این روش‌ها به منظور کاهش خطا و بار محاسباتی بسیار ضروری است [۲۲] و [۲۳] و [۲۴].

برای ذکر نمونه‌ایی از روش‌های متداول عددی مبتنی بر فرکانس می‌توان روش رایج MOM را نام برد که نسبت به بسیاری از روش‌های این حوزه جواب دقیقتر با بار محاسباتی کمتری را ارائه می‌دهد [۲۶]. روش‌های FEM[۲] و EBCM[۳] و SSA[۴] و FBM[۵] و غیره از روش‌های دیگر تک فرکانس این حوزه هستند[۲۷] [۲۲] و [۲۸] و [۲۹]. روش‌های FDTD و FVTD[۶] روش‌های عددی برجسته‌ی حوزه‌ی زمان می‌باشند که قابلیت ارائه‌ی جواب‌های با باند فرکانسی وسیع را دارند، و براساس گسسته‌سازی معادله‌ی موج ماکسول بنیان‌گذاری شده‌اند. روش FDTD به علت شبکه بندی کل محیط شبیه‌سازی قابلیت پیاده‌سازی هر نوع پراکنده‌گر با ساختار پیچیده را دارا می‌باشد؛ بنابراین سهم مهمی در پیاده‌سازی محیط‌های واقعی دارد[29] و[۲۲]. در این پایان‌نامه از یک روش تئوری (SPM) و یک روش عددی (FDTD) برای بررسی پراکندگی محیط‌های واقعی چند لایه با سطوح ناصاف و با پارامترهای زمین استفاده شده است. همچنین مدل جدیدی از یک محیط چند لایه‌ی متغییر با زمان مبتنی بر واقعیت که قابلیت بکارگیری توسط روش‌های رایج تئوری و عددی را دارد ارائه شده است. بدیهی است برای حل مسئله‌ی معکوس و استخراج اطلاعات محیط مورد

1 Finite Difference Time Domain
2 Finite Element Method
3 Extended Boundary Condition
4 Small Slope Approximation
5 Forward Backward Method
6 Finite Volume Time Domain

نظر با استفاده از الگوریتم‌های پراکندگی معکوس در مرحله‌ی بعد، وجود داده‌های حاصل از اندازه گیری راداری ضروری است[۲۲].

فصل ۲

مروری بر منابع