

Allah
Muhammad
Allah
Muhammad
Allah
Muhammad



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی برق - مخابرات (سیستم)

مدل کردن انتشار موج در آب دریا به منظور کاربرد در مخابرات زیر آب و سونار

بوسیله‌ی

سید محمد رضا موسوی

استاد راهنما

دکتر محمود کریمی

دکتر عزیزا... جمشیدی

مرداد ماه ۱۳۹۰

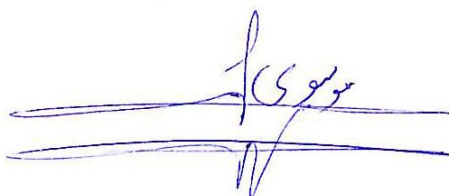
به نام خدا

اظہار نامہ

اینجانب سید محمدرضا موسوی (۸۷۰۸۷۸) دانشجوی رشته‌ی برق - مخابرات گرایش سیستم دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر اظہار می‌کنم که این پایان‌نامہ حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظہار می‌کنم که پایان‌نامہ و موضوع پایان‌نامہ‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه‌ی حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامہ‌ی مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: سید محمد رضا موسوی

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۰/۱۲/۳



به نام خدا

مدل کردن انتشار موج در آب دریا به منظور کاربرد در مخابرات زیر آب و
سونار

به کوشش
سید محمد رضا موسوی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از
فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:
مهندسی برق - مخابرات سیستم

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته‌ی پایان نامه با درجه: عالی

دکتر محمود کریمی، دانشیار بخش مهندسی الکترونیک و مخابرات (رئیس کمیته)

دکتر عزیزاله جمشیدی، استادیار بخش مهندسی الکترونیک و مخابرات (رئیس کمیته)

دکتر علیرضا ذوالقدراصلی، دانشیار بخش مهندسی الکترونیک و مخابرات

دکتر عباس علی قنبری، استادیار بخش مهندسی الکترونیک و مخابرات

شهریور ۱۳۹۰

سپاسگزاری

اکنون که این پایان نامه به پایان رسیده است بر خود لازم می‌دانم که از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر محمود کریمی و عزیزاله جمشیدی به خاطر زحمات بی‌بدیل و راهنمایی‌های گران قدرشان که همیشه پرفایده و راه‌گشا بوده است تشکر و قدردانی به عمل آورم. از اساتید مشاور آقایان دکتر علیرضا ذوالقدر اصلی و دکتر علی قنبری نیز به خاطر نظرات ارزنده شان سپاسگزارم.

چکیده

مدل کردن انتشار موج در آب دریا به منظور کاربرد در مخابرات زیر آب و سونار

به کوشش

سید محمدرضا موسوی

به دلیل اهمیت و کاربردهای روزافزون مخابرات زیر آب، بررسی محیط انتشار و قوانین حاکم بر انتشار صوت در زیر آب بسیار مهم می‌باشد و از آنجا که انجام آزمایش‌های عملی در محیط دریا بسیار مشکل و پرهزینه است ارائه‌ی مدلی از کانال مخابراتی زیر آب بسیار سودمند و پرکاربرد می‌باشد. علاوه بر آنکه وجود مدل کانال زیر آب نیاز به انجام آزمایش‌های عملی را بسیار محدود می‌کند، به وسیله‌ی این مدل می‌توان روش‌های پردازش سیگنال را بر روی سیستم‌های مختلف آزمایش کرده و عملکرد آن‌ها را تحلیل و اقدام به بهبود آن‌ها نمود. منظور از مدل کردن کانال آن است که با داشتن مشخصات کانال زیر آب بتوان پاسخ کانال را بدست آورد به نحوی که با دادن ورودی دلخواه به این مدل بتوان خروجی کانال را بدست آورد.

در این پایان‌نامه علاوه بر بررسی حالت غیرتصادفی و ساکن کانال، بیشترین توجه خود را روی تغییرات آماری کانال متمرکز کرده‌ایم. ابتدا به بررسی مختصری در مورد مشخصه‌های مهم در مخابرات زیر آب پرداخته و سپس مدل‌های ارائه شده در منابع برای انتشار صوت در زیر آب را بررسی می‌کنیم. در ادامه‌ی پایان‌نامه به بررسی برخورد موج صوتی با سطح متلاطم دریا می‌پردازیم و توزیع موج پراش شده از سطح را بررسی کرده و تابع چگالی موج پراش شده را به صورت تحلیلی و برای حالتی که دامنه‌ی نسبی تلاطم دریا زیاد نباشد، بدست می‌آوریم. برای بدست آوردن تابع چگالی احتمال موج پراش شده از سطح دریا، لازم است که از یک مدل مناسب برای مدل کردن تلاطم سطح دریا استفاده شود که ما نیز همین کار را انجام داده‌ایم. در شرایط میدان دور، می‌توان با قدری تقریب این تابع چگالی احتمال را به صورت ساده‌تری محاسبه کرد که این کار نیز در پایان‌نامه صورت گرفته است.

کار دیگری که در این پایان‌نامه صورت گرفته است، بدست آوردن میانگین موج صوتی پراش شده از سطح دریا در شرایط مختلف سرعت باد و مکان دریا، و با فرض تصادفی بودن عمق فرستنده و گیرنده می‌باشد. در بدست آوردن این میانگین محدودیتی برای دامنه‌ی تلاطم سطح دریا در نظر گرفته نشده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: مشخصه‌های مهم در کانال مخابراتی زیر آب	
۱-۲- سرعت صوت در آب دریا	۶
۲-۲- تضعیف انتقال	۶
۱-۲-۲- تضعیف ناشی از پخش	۸
۲-۲-۲- تلفات صوت	۹
۳-۲- نویز دریا	۱۴
۴-۲- متغیر با زمان بودن کانال	۱۴
فصل ۳: مدل‌های آماری برای کانال مخابراتی زیر آب	
۱-۳- بررسی مدل‌های آماری موجود برای کانال مخابراتی زیر آب	۱۸
۲-۳- بررسی تحلیلی دامنه‌ی فیدینگ مسیرهای مختلف	۳۴
۳-۳- دامنه‌ی فیدینگ مسیرهای مختلف حاصل از نتایج آزمایش تجربی	۳۸
فصل چهارم: انعکاس و پراش امواج صوتی ناشی از برخورد به سطح دریا	
۱-۴- پراش صوت از سطح دریای با ناآرامی کم	۵۳
۲-۴- مدل کردن امواج دریا	۵۶
۳-۴- تابع چگالی احتمال موج پراش شده ناشی از برخورد به سطح نامحدود دریا	۶۴
۴-۴- تابع چگالی احتمال موج پراش شده ناشی از برخورد به سطح محدود دریا	۷۱
۵-۴- تقریب تابع چگالی احتمال موج پراش شده ناشی از برخورد به سطح محدود دریا با استفاده از روش فاز ثابت	۷۸
۶-۴- میانگین موج پراش شده‌ی آینه‌های ناشی از برخورد به سطح دریا	۸۳

فصل پنجم: شبیه سازی حالت ساکن کانال ۱۰۳

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۶- نتیجه گیری ۱۱۳

۲-۶- پیشنهادات ۱۱۶

فهرست منابع و مأخذ ۱۱۷

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: ضریب جذب $10\log\alpha(f)$ بر حسب dB/km	۱۰
شکل ۲-۲: توزیع آماری جابه‌جایی سطحی در یک نقطه‌ی ثابت. خط توپر مربوط به داده‌های تجربی و خط بافاصله توزیع گوسی با واریانس یکسان $\sigma^2 = \langle \xi^2 \rangle$ را نشان می‌دهد.....	۱۱
شکل ۳-۲: شکل کف دریا در نتیجه‌ی آزمایش (شکل بالا)، ضریب انعکاس کف دریا (شکل پایین).....	۱۳
شکل ۴-۲: راست: پاسخ کانال تغییر ناپذیر با زمان. چپ: پاسخ کانال در زمان‌های مختلف.....	۱۶
شکل ۱-۳: شکل هندسی کانال کم‌عمق برای محاسبه‌ی طول مسیر و زوایای پرتوهای رسیده به گیرنده.....	۱۹
شکل ۲-۳: ضریب جذب $a(f)$ بر حسب m^{-1}	۲۰
شکل ۳-۳: راست: پاسخ کانال تغییر ناپذیر با زمان. چپ: پاسخ کانال در زمان‌های مختلف.....	۲۱
شکل ۴-۳: تغییرات بهره مسیره‌های مختلف (مسیر مرجع و مسیره‌های با تاخیر $0.5ms$ و 0.7).....	۲۲
شکل ۵-۳: هیستوگرام دامنه‌ی مربوط به مسیر با تاخیر $0.5ms$ (با حذف میانگین دامنه) و تابع چگالی رایلی.....	۲۳
شکل ۶-۳: هیستوگرام فاز مربوط به مسیر با تاخیر $0.5ms$ و تابع چگالی یکنواخت.....	۲۳
شکل ۷-۳: شکل کلی کانال.....	۲۷
شکل ۸-۳: تابع چگالی احتمال دامنه به ازای SMR های مختلف.....	۳۶
شکل ۹-۳: تابع چگالی احتمال فاز به ازای SMR های مختلف.....	۳۷
شکل ۱۰-۳: پروفایل سرعت در آزمایش سواحل نیوجرسی.....	۳۹

- شکل ۳-۱۱: تابع چگالی دامنه‌ی فیدینگ برای فرکانس‌های مختلف..... ۴۰
- شکل ۳-۱۲: تابع چگالی احتمال فیدینگ کانال با پهنای بیم 80Hz ۴۰
- شکل ۳-۱۳: تابع چگالی فیدینگ بلندمدت با $T = 0.2\text{sec}$ همراه ۴۲
- با توزیع لاگ-نرمال ۴۲
- شکل ۳-۱۴: تابع چگالی فیدینگ کوتاه‌مدت با $T = 0.2\text{sec}$ همراه ۴۲
- با توزیع رایلی ۴۲
- شکل ۳-۱۵: راست: پاسخ تخمین زده شده‌ی زیر کانال المان اول فرستنده و المان اول گیرنده. چپ: پاسخ تخمین زده شده‌ی زیر کانال المان دوم فرستنده و المان اول گیرنده..... ۴۳
- شکل ۳-۱۶: راست: تابع چگالی احتمال قسمت حقیقی کانال همراه با تابع توزیع گوسی. چپ: تابع چگالی احتمال قسمت موهومی کانال همراه با تابع توزیع گوسی..... ۴۴
- شکل ۳-۱۷: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی فیدینگ همراه با تابع‌های چگالی احتمال دیگر..... ۴۴
- شکل ۳-۱۸: تابع چگالی احتمال فاز دریافتی همراه با تابع توزیع یکنواخت..... ۴۵
- شکل ۳-۱۹: تابع خود همبستگی قسمت حقیقی، موهومی و دامنه‌ی فیدینگ کانال..... ۴۵
- شکل ۳-۲۰: تابع پراش کانال ۴۶
- شکل ۳-۲۱: نتایج ارسال سیگنال پهن‌بند و برد 193m راست: تغییرات دامنه‌ی مسیرهای مختلف. چپ: تغییرات تاخیرهای مختلف ۴۸
- شکل ۳-۲۲: میانگین تخمین پاسخ کانال ۴۹
- شکل ۳-۲۳: تغییرات زمانی مسیرهای اصلی کانال که در شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است ۴۹
- شکل ۳-۲۴: تابع چگالی احتمال مسیرهای مختلف همراه با برخی از توابع چگالی احتمال. هر نمودار هیستوگرام از 10Sec نمونه برداری نتیجه شده است ۵۰
- شکل ۴-۱: ارتفاع یک نقطه از سطح دریا و طیف دامنه و فاز آن ۵۸
- شکل ۴-۲: مدل آماری دامنه و فاز: شکل بالا: در هر فرکانس یک توزیع یکنواخت فاز و یک توزیع رایلی برای دامنه در نظر گرفته شده است.
- شکل پایین: طیف دامنه ۵۹

- شکل ۳-۴: تبدیل طیف گسسته‌ی دامنه‌ی مدل آماری به طیف پیوسته‌ی واریانس ۶۰
- شکل ۴-۴: موج‌های تصادفی در حوزه‌ی زمان و مکان را به صورت مجموع تعداد زیادی از اجزای هارمونیکی نوشت که در سطح دریا که با دوره‌های تناوب، جهت‌ها، دامنه‌ها و فازهای مختلف در حرکت هستند..... ۶۱
- شکل ۵-۴: طیف دوبعدی امواج دریا..... ۶۳
- شکل ۶-۴: چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده در جهت آینه‌ای در $x = y = -100m$ با پارامتر رایلی 0.0383 و $f = 300Hz$ ، $\theta = \pi/4$ ، $\theta_0 = \pi/4$ و $\varphi_0 = \pi/4$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 0.0285 می‌باشد..... ۶۹
- شکل ۷-۴: چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده در جهت آینه‌ای در $x = y = -100m$ با پارامتر رایلی 0.0894 و $f = 700Hz$ ، $\theta = \pi/4$ ، $\theta_0 = \pi/4$ و $\varphi_0 = \pi/4$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 0.0767 می‌باشد..... ۶۹
- شکل ۸-۴: چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده در جهت آینه‌ای در $x = y = -100m$ با پارامتر رایلی 0.1117 و $f = 2kHz$ ، $\theta = \pi/4$ ، $\theta_0 = 3\pi/8$ و $\varphi_0 = \pi/4$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 0.0899 می‌باشد..... ۷۰
- شکل ۹-۴: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1117 در $f = 2kHz$ ، $\theta = \pi/4$ ، $\theta_0 = 3\pi/8$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در $x = -700m$ ، $y = -1000m$ و $z = 500m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 0.0898 می‌باشد..... ۷۱
- شکل ۱۰-۴: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.0534 در $f = 750Hz$ ، $\theta = \pi/3$ ، $\theta_0 = \pi/4$ ، $T_1 = T_2 = 15m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = -100m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 2.98×10^{-5} می‌باشد..... ۷۴
- شکل ۱۱-۴: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1032 در $f = 1kHz$ ، $\theta = \pi/3$ ، $\theta_0 = \pi/4$ ، $T_1 = T_2 = 15m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = -100m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 3.87×10^{-5} می‌باشد..... ۷۴

- شکل ۴-۱۲: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1032 در $f = 1kHz$ ، $\theta = \pi/3$ ، $\theta_0 = \pi/4$ ، $T_1 = T_2 = 15m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = -100m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 3.8773×10^{-5} می‌باشد. ۷۵.....
- شکل ۴-۱۳: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1032 در $f = 1kHz$ ، $\theta = \pi/3$ ، $\theta_0 = \pi/4$ ، $T_1 = T_2 = 15m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = 100m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 0.0729 می‌باشد. ۷۵.....
- شکل ۴-۱۴: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1032 در $f = 1kHz$ ، $\theta = 5\pi/6$ ، $\theta_0 = \pi/4$ ، $T_1 = T_2 = 15m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = 100m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 3.4462×10^{-5} می‌باشد. ۷۶.....
- شکل ۴-۱۵: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1032 در $f = 1kHz$ ، $\theta = 3\pi/4$ ، $\theta_0 = \pi/4$ ، $T_1 = T_2 = 15m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = 100m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 3.4462×10^{-5} می‌باشد. ۷۶.....
- شکل ۴-۱۶: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1172 در $f = 750Hz$ ، $\theta = \pi/4$ ، $\theta_0 = 3\pi/8$ ، $T_1 = T_2 = 20m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = 1m$ و $z = 100m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 0.0122 می‌باشد. ۷۷.....
- شکل ۴-۱۷: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1172 در $f = 750Hz$ ، $\theta = 3\pi/2$ ، $\theta_0 = 3\pi/8$ ، $T_1 = T_2 = 20m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = 1m$ و $z = 100m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 0.0025 می‌باشد. ۷۸.....
- شکل ۴-۱۸: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.0712 در $f = 1kHz$ ، $\theta = \pi/3$ ، $\theta_0 = \pi/4$ ، $T_1 = T_2 = 15m$ و $\varphi_0 = \pi/4$ در جهت آینه‌ی برخورد در $x = y = -1000m$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده برابر 1.9122×10^{-6} می‌باشد. ۸۲.....

- شکل ۴-۱۹: تابع چگالی احتمال دامنه‌ی موج پراش شده با پارامتر رایلی 0.1020
 در $f = 750\text{Hz}$ ، $\theta = 3\pi/2$ ، $\theta_0 = 3\pi/8$ ، $T_1 = T_2 = 20\text{m}$ و $\varphi_0 = \pi/4$
 در $x = y = -10\text{m}$ و $z = 1000\text{m}$. میانگین دامنه‌ی موج پراش شده
 برابر 6.3778×10^{-5} می‌باشد. ۸۳.....
- شکل ۴-۲۰: تابع چگالی احتمال موج پراش شده ناشی از برخورد موج تخت
 با فرکانس $f = 70\text{kHz}$ و برخورد عمود به سطح با پارامترهای رایلی مختلف.
 با افزایش پارامتر رایلی تابع چگالی احتمال از حالت گوسی به حالت رایلی می‌رسد
 (از بالا به پایین). ۸۶.....
- شکل ۴-۲۱: مکان فرستنده O و نقطه‌ی مشاهده p_s نسبت به سطح دریا. ۸۷.....
- شکل ۴-۲۲: قدرمطلق قسمت موهومی و حقیقی ضریب انعکاس بر حسب فرکانس و
 $\sigma = 10\text{cm}$ و $R_1 = 1\text{m}$ و $\theta_0 = 80^\circ$. ۹۲.....
- شکل ۴-۲۳: قسمت موهومی و حقیقی ضریب انعکاس بر حسب فرکانس و $\sigma = 10\text{cm}$ و
 $R_1 = 10\text{m}$ و $\theta_0 = 80^\circ$. ۹۲.....
- شکل ۴-۲۴: قدرمطلق ضریب انعکاس از سطح بر حسب فرکانس و $\sigma = 10\text{cm}$ و
 $R_1 = 1\text{m}$ و $\theta_0 = 80^\circ$. ۹۳.....
- شکل ۴-۲۵: قدرمطلق ضریب انعکاس از سطح بر حسب فرکانس و $\sigma = 10\text{cm}$ و
 $R_1 = 10\text{m}$ و $\theta_0 = 80^\circ$. ۹۳.....
- شکل ۴-۲۶: قدرمطلق ضریب انعکاس از سطح بر حسب زاویه‌ی برخورد موج کروی
 به سطح و $\sigma = 10\text{cm}$ و $R_1 = 5\text{m}$ و $f = 2\text{kHz}$. ۹۴.....
- شکل ۴-۲۷: قدرمطلق ضریب انعکاس از سطح دریا بر حسب فرکانس و زاویه‌ی
 برخورد موج ورودی و $\sigma = 10\text{cm}$ و $R_1 = 5\text{m}$. ۹۴.....
- شکل ۴-۲۸: مشتق مربع ضریب انعکاس از سطح نسبت به R_1 در زاویه برخورد
 $\theta_0 = 0$ بر حسب فرکانس و $\sigma = 10\text{cm}$ و $R_1 = 5\text{m}$. ۹۶.....
- شکل ۴-۲۹: تابع چگالی احتمال اندازه‌ی ضریب انعکاس در حالتی که $z = 5\text{m}$ ،
 $r = 10\sqrt{3}$ ، $\sigma = 10\text{cm}$ ، $\sigma_T = \sigma_R = 0.1\text{m}$ و $f = 2\text{kHz}$ می‌باشد. ۹۹.....
- شکل ۴-۳۰: تابع چگالی احتمال اندازه‌ی ضریب انعکاس در حالتی که $z = 5\text{m}$ ،
 $r = 10\sqrt{3}$ ، $\sigma = 10\text{cm}$ ، $\sigma_T = \sigma_R = 1\text{m}$ و $f = 2\text{kHz}$ می‌باشد. ۱۰۰.....
- شکل ۴-۳۱: تابع چگالی احتمال اندازه‌ی ضریب انعکاس در حالتی که $z = 5\text{m}$ ،
 $r = 10\sqrt{3}$ ، $\sigma = 10\text{cm}$ ، $\sigma_T = \sigma_R = 2\text{m}$ و $f = 2\text{kHz}$ می‌باشد. ۱۰۰.....

- شکل ۴-۳۲: تابع چگالی احتمال مربع اندازه‌ی ضریب انعکاس در حالتی که $z = 5m$ ،
 ۱۰۲ $f = 2kHz$ و $\sigma_T = \sigma_R = 1m$ ، $\sigma = 10cm$ ، $r = 10\sqrt{3}$ ، $z_0 = 5m$ می‌باشد.
- شکل ۵-۱: نمایه صفحه‌ی GUI نوشته شده برای برنامه‌ی BELLHOP ۱۰۴
- شکل ۵-۲: شکل پرتوی رابطه‌ی رابطه‌ی (۵-۱) بر حسب دسی‌بل ۱۰۶
- شکل ۵-۳: مشخصات کانالی که خروجی‌های مختلف برنامه‌ی BELLHOP را
 برای این کانال در ادامه نشان می‌دهیم ۱۰۸
- شکل ۵-۴: خروجی Ray کانال نشان داده شده در شکل ۵-۳ ۱۰۸
- شکل ۵-۵: خروجی Eigenray کانال نشان داده شده در شکل ۵-۳ ۱۱۰
- شکل ۵-۶: خروجی Transmission Loss کانال نشان داده شده در شکل ۵-۳ ۱۱۰
- شکل ۵-۷: خروجی Amplitude-Delay کانال نشان داده شده در شکل ۵-۳ ۱۱۱
- شکل ۵-۸: خروجی Directional transmitter کانال نشان داده شده در شکل ۵-۳ ۱۱۱

فصل اول

مقدمه

در این فصل به بررسی ضرورت مدل کردن کانال مخابرات زیر آب پرداخته و برخی از مشکلاتی که در مخابرات زیر آب با آن روبه‌رو هستیم را بررسی می‌کنیم و در نهایت ساختار کلی پایان‌نامه را توضیح می‌دهیم.

در محیط زیرآب به علت تضعیف زیاد امواج الکترومغناطیسی و نوری، برای بردهای متوسط و بلند همواره از امواج صوتی به منظور ارسال سیگنال استفاده می‌شود. مخابرات زیر آب به علت کاربردهای زیادی که با گذشت زمان برای آن به وجود آمده است اهمیت بسیاری دارد و به سرعت در حال پیشرفت است. مشکلات متعددی بر سر راه این پیشرفت‌ها وجود دارد که این مشکلات به علت تفاوت‌های محیط انتشار در مخابرات زیر آب نسبت به محیط انتشار در مخابرات بی سیم معمولی می‌باشد. از جمله‌ی این مشکلات می‌توان به سرعت پایین صوت که باعث ایجاد شیفت داپلر زیاد می‌شود و پهن‌باند بودن مخابرات زیر آب اشاره کرد. علت پهن باند بودن مخابرات زیر آب آن است که بخاطر تضعیف زیاد صوت در فرکانس‌های بالا، از فرکانس‌های پایین استفاده می‌شود و این باعث آن می‌شود که نسبت فرکانس مرکزی نسبت به پهنای باند زیاد نباشد. از مشکلات دیگر مخابرات زیر آب چند مسیره بودن موج ارسالی از فرستنده به سمت گیرنده می‌باشد و علت این چند مسیری وجود مرزهای کف دریا و سطح دریا می‌باشد که باعث می‌شود موج ارسالی در بسیاری از مواقع چندین بار به مرزها برخورد کرده و به گیرنده برسد.

علاوه بر مشکلاتی که در بالا به برخی از آن‌ها اشاره کردیم، متغیر با زمان و مکان بودن بسیاری از پارامترهای مربوط به دریا مخابرات زیر آب را دچار مشکلات فراوان می‌کند. این متغیر با زمان بودن کانال زیر آب باعث شیفت داپلر، تأخیر و دامنه‌ی متغیر با زمان برای هر یک از مسیرهای انتشار می‌شود.

به علت وجود مشکلات زیادی که خلاصه‌ای از آن‌ها در بالا ذکر شد، طراحی سیستم‌های مخابرات زیر آب با دشواری‌های متعددی روبه‌رو است. مدل کردن کانال زیر آب تا حد زیادی به تحلیل انتشار در زیر آب و طراحی سیستم‌های مخابراتی کمک می‌کند. در اینجا منظور از مدل کردن کانال مخابراتی زیر آب بدست آوردن پاسخ کانال مخابراتی زیر آب می‌باشد به نحوی که با اعمال ورودی به این مدل، خروجی کانال را بتوان بدست آورد. به طور خلاصه می‌توان گفت که شناخت خوب از کانال مخابراتی زیر آب کلید طراحی سیستم‌های مخابراتی

زیر آب است. این شناخت به تحلیل و بهبود روش‌های پردازش سیگنال به وسیله‌ی شبیه سازی کمک می‌کند و در بسیاری از موارد نیاز به انجام آزمایش‌های عملی را که بسیار پرهزینه و زمان‌بر است، کاهش می‌دهد. به علت پیچیدگی‌هایی که در بالا به طور مختصر به آن‌ها اشاره شد، مدل کردن کانال زیر آب کاری دشوار است و مدلی را می‌توان مناسب دانست که حتی‌المقدور همه‌ی خصوصیات کانال واقعی را در نظر بگیرد. در راه رسیدن به این مطلوب کارهای زیادی انجام شده است، ولی به علت پیچیدگی بسیار زیاد محیط انتشار در مخابرات زیر آب، هر کدام از مدل‌ها با توجه به محیط انتشار خود و بسته به نیازی که از مدل دارند، برخی از پدیده‌ها را در مدل خود در نظر گرفته و از برخی دیگر صرف‌نظر کرده‌اند. به عنوان نمونه در مدل‌هایی که مربوط به کانال‌های کم عمق می‌باشد چون سرعت صوت با تغییرات عمق تغییر قابل توجهی نمی‌کند، سرعت صوت در آن‌ها ثابت در نظر گرفته شده است و چند مسیره بودن انتشار که از مشخصه‌های کانال‌های کم عمق است مورد بررسی بیشتر قرار گرفته است. بر خلاف این کانال‌ها، در کانال‌های با عمق زیاد تغییرات سرعت صوت مهم است و چند مسیره بودن اهمیت کمتری دارد زیرا مسیرهایی که دارای چندین برخورد به کف و سطح دریا می‌باشند دارای توان کمی نسبت به مسیرهای مستقیم و یا مسیرهای با تعداد کم برخورد با مرزها می‌باشند.

در بیشتر مدل‌هایی که برای کانال زیر آب استخراج شده است، مدل غیرآماری^۱ کانال را با استفاده از خصوصیات فیزیکی انتشار و استفاده از قوانین شکست و انعکاس پیدا کرده و سپس با توجه به نوع کاربرد، برخی از خصوصیات آماری کانال را نیز وارد مدل خود کرده و از برخی دیگر صرف نظر کرده‌اند. در این مدل‌ها معمولاً مقدار پارامترهای مدل آماری در نظر گرفته شده‌اند، با استفاده از آزمایش بدست آورده‌اند و یا از نتایج آزمایش دیگران استفاده کرده‌اند.

در این پایان‌نامه ابتدا به بررسی مدل‌هایی که تاکنون برای انتشار صوت در کانال زیر آب ارائه شده است می‌پردازیم و برای این کار بیشتر تمرکز خود را بر روی مدل‌هایی می‌گذاریم که تغییرات آماری کانال را در نظر گرفته‌اند. پس از آن با استفاده از مدل‌های موجود برای تلاطم سطح دریا در اثر وزش باد، یک مدل آماری جدید برای دامنه‌ی فیدینگ ناشی از انعکاس موج صوتی از سطح آب دریا بدست می‌آوریم و با ترکیب این مدل با مدل‌هایی که برای انتشار مستقیم و انعکاس از کف وجود دارند، مدلی کاملتر از مدل‌های آماری موجود ارائه خواهیم کرد. علاوه بر این، در یک تحلیل دیگر، ضریب انعکاس موج صوتی کروی که به سطح دریا برخورد می‌کند را نیز به صورت تابعی از شرایط دریا مانند سرعت باد و شرایط مکانی دریا بدست آورده و از آن در مدل نهایی خود استفاده می‌کنیم. در پایان نیز با فرض تغییرات تصادفی مکان فرستنده و گیرنده، چگالی احتمال تضعیف از سطح را بدست می‌آوریم.

^۱ Deterministic

در فصل دوم پایان نامه توضیح مختصری در مورد مشخصات مهمی که در مخابرات زیر آب و مدل کردن کانال زیر آب وجود دارد می‌دهیم و در مورد پارامترهایی از محیط دریا که در مدل کردن کانال موثر هستند، توضیحاتی می‌آوریم.

در فصل سوم پایان نامه به بررسی مدل‌هایی که در مقالات دیگر برای کانال زیر آب ارائه شده است می‌پردازیم و درباره‌ی دامنه‌ی فیدینگ مسیرهای مختلف که از بررسی تئوری و نتایج آزمایش‌های تجربی بدست آمده است، توضیح می‌دهیم.

در فصل چهارم به بررسی برخورد موج صوتی با سطح متلاطم دریا می‌پردازیم و توزیع موج پراش شده از سطح را بررسی کرده و تابع چگالی موج پراش شده را به صورت تحلیلی بدست می‌آوریم. تابع چگالی احتمال بدست آمده برای شرایط میدان دور و نزدیک معتبر می‌باشد. برای بدست آوردن تابع چگالی احتمال موج پراش شده از سطح دریا، لازم است که از یک مدل مناسب برای مدل کردن تلاطم سطح دریا استفاده شود که ما نیز همین کار را انجام داده‌ایم. در شرایط میدان دور، می‌توان با قدری تقریب تابع چگالی احتمال موج پراش شده را به صورت ساده‌تری محاسبه کرد که این کار نیز در فصل چهارم پایان نامه صورت گرفته است.

در انتهای فصل چهارم میانگین موج صوتی پراش شده از سطح دریا را در شرایط مختلف سرعت باد و مکان دریا، و با فرض تصادفی بودن عمق فرستنده و گیرنده، بدست می‌آوریم.

در فصل پنجم

در فصل ششم، نتیجه‌گیری‌های پایان نامه ارائه می‌شود و پیشنهادهایی برای کارهای آینده مطرح می‌گردد.

فصل دوم

مشخصه‌های مهم در کانال مخابرتی زیر آب

۲-۱- سرعت صوت در آب دریا

تغییرات سرعت انتشار صوت در آب دریا نسبتا اندک است. این سرعت معمولا در بازه‌ی $1450m/s$ تا $1540m/s$ قرار می‌گیرد، و همین تغییرات کم نیز به شدت بر روی انتشار صوت در محیط دریا تاثیرگذار است. سرعت صوت در آب دریا توسط تجهیزات سرعت‌سنجی و یا توسط فرمول‌های تجربی، اندازه‌گیری می‌شود. البته برای استفاده از فرمول‌های تجربی نیاز به اندازه‌گیری پارامترهای فشار، دما و شوری می‌باشد. دقت فرمول‌هایی که به صورت تجربی بدست آمده‌اند تقریبا برابر با دستگاه‌های سرعت‌سنج می‌باشد ولی حجم محاسباتی فرمول‌های تجربی با دقت بالا بسیار سنگین است. یک فرمول به نسبت ساده ولی با دقت نه‌چندان زیاد به صورت زیر است [1]:

$$c = 14492 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016z \quad (1-2)$$

که در آن c سرعت صوت بر حسب متر بر ثانیه (m/s)، T دما بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد ($^{\circ}C$)، S شوری بر حسب تکه در هزار (ppt) و z عمق بر حسب متر (m) می‌باشد. رابطه‌ی (۱-۲) برای $0^{\circ}C \leq T \leq 35^{\circ}C$ ، $0 \leq S \leq 45$ و $0 \leq z \leq 1000m$ معتبر است. گرادیان عمودی سرعت صوت در بیشتر مناطق دریا بجز مناطقی که در آن‌ها جریان آبهای گرم و سرد به یکدیگر می‌رسند، بیش از هزار برابر گرادیان افقی آن است. بنابراین در بیشتر کاربردها سرعت صوت با عمق متغیر در نظر گرفته می‌شود ولی این سرعت در جهت افقی ثابت در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲- تضعیف انتقال^۱

^۱ Transmission Loss