بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی برق-مخابرات میدان

عنوان:

مدل سازی هندسی کانال‌های چند ورودی چند خروجی

استاد راهنما:
دکتر جواد احمدی شکوه

استاد مشاور:
دکتر مهری مهرجو

تحقیق و نگارش:
فاطمه زاده پاریزی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

شهریور ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان **مدل‌سازی هندسی کانال‌های چند ورودی چند خروجی** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد **مهندسی برق گرایش مخابرات میدان** توسط دانشجو **فاطمه زاده پاریزی** با راهنمایی استاد پایان نامه **آقای دکتر جواد احمدی شکوه** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

فاطمه زاده پاریزی

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ **۹۱/۷/۱۵** توسط هیئت داوران بررسی و درجه **عالی** به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر جواد احمدی شکوه		
استاد مشاور:	دکتر مهری مهرجو		
داور ۱:	دکتر فرحناز مهنا		
داور ۲:	دکتر هنگامه کشاورز		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر مهدی رضایی		

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب فاطمه زاده پاریزی تعهد می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: فاطمه زاده پاریزی

امضاء

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری

سپاس خدا را که هر چه هست از اوست و اینکه نیازم را بی‌پاسخ نگذارد و مرا یاری نمود تا قسمتی از عمر خود را در راه تحصیل علم و دانش سپری نمایم.

سپاس خدا را که خانواده را کانون امن جهت تربیت و پیشرفت انسان و پدر و مادر را تکیه گاهی مطمئن برای فرزندان قرار داد.

سپاس خدا را که همواره استادانی دلسوز و فرزانه را راهنمایم قرار داد تا در راه دراز و بی پایان تحصیل علم، تسکینی بر عطش سیری ناپذیرم باشند.

بر خود می‌دانم که از تمامی عزیزانی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق مرا یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

با تشکر از یاوران همیشگی‌ام

پدر و مادر عزیزم

با تشکر از

استاد گرامی جناب آقای دکتر جواد احمدی شکوه

استاد گرامی سرکار خانم دکتر مهری مهرجو

چکیده:

تشخیص و مدل‌سازی کانال‌های مخابراتی MIMO[1] همواره بخش حیاتی از تجزیه و تحلیل این سیستم‌ها بوده است. اگر چه مدل‌های گوناگونی برای این کانال‌های انتشار معرفی شده است، مدل‌های هندسی به دلیل سادگی و کارایی مناسب، و ارائه جزئیات کانال بسیار مورد توجه بوده است. در این تحقیق مدل‌های جدید بر پایه روش هندسی برای کانال‌های MIMO پهن باند در محیط فضای باز به فضای بسته (O2I[2]) پیشنهاد شده است. در این مدل‌ها ترکیبی از پدیده‌های انتشار تک جهشی و دو جهشی استفاده می‌شود. علاوه بر این، تاثیر پراکنده کننده‌های موجود در فضای باز مطالعه می‌شود که این فرض باعث بهبود دقت مدل در کانال هندسی می‌گردد. در این تحقیق همچنین، مدلی هندسی برای کانال انتشار سیستم‌های نوین VMIMO[3] ارائه می‌شود. برای ساختارهای هندسی پیشنهاد شده در این پایان نامه، توابع همبستگی متقابل (CCF[4])، در صورت امکان با بیان شرایطی، به شکل بسته ریاضی به‌دست می‌آید. توابع همبستگی به‌دست آمده به پارامترهای مختلفی همچون فاصله بین ایستگاه پایه (BS[5]) و کاربر[6]، فاصله المان‌های آنتن در ایستگاه پایه و کاربر، سمت گیری آنتن‌ها، اختلاف فرکانس (Δf) و برخی فواصل مشخص شده بر روی ساختارهای پیشنهادی در هر مورد وابسته‌اند. برای ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل شده، مقادیر عددی توابع همبستگی و ظرفیت را با استفاده از نرم افزار (RPS[7]) برای کانال انتشار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه سیستان و بلوچستان به‌دست آورده و پارامترهای مناسب مربوط به توزیع پراکنده کننده‌ها در محیط انتخاب می‌شود. بدین ترتیب با تنظیم پارامترها مدلی‌هایی هر چه دقیق‌تر برای آزمایش، طراحی و تحلیل سیستم‌های مخابراتی باند وسیع و محاسبات ظرفیت کانال‌های MIMO، خصوصا برای شبکه‌های LTE[8] که ما در فرضیات موجود در کل تحقیق در نظر می‌گیریم، ارائه می‌شود.

1- Multiple-Input Multiple-Output
2- Outdoor-to-Indoor
3- Virtual MIMO
4- Cross-Correlation Function
5- Base-Station
6- User
7- Radio-Wave Propagation Simulator
8- Long-Term-Evolution

کلمات کلیدی: مدل‌سازی کانال به روش هندسی (GBCM[9])- مدل ترکیبی تک جهشی و دو جهشی[10]- پراکنده کننده ثابت- توزیع پراکنده کننده‌ها- CCF- VMIMO.

9- Geometry-Based Channel Modeling
10- Joint Single- and Double-Bounce model

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله **۳**

فصل دوم: بررسی پیشینه تحقیق ۶

۲-۱- روند تکاملی سیستم‌های مخابراتی تلفن همراه ۷

۲-۲- کانال MIMO ۱۰

۲-۲-۱- دسته بندی مدل‌های کانال MIMO ۱۱

۲-۲-۲- تعریف و مزایای GSCM ۱۴

۲-۲-۳- تاثیرات انتشار ضروری برای عملکرد سیستم‌های MIMO ۱۵

۲-۲-۳-۱- تک پراکندگی به دور ایستگاه پایه و کاربر ۱۵

۲-۲-۳-۲- دوبار پراکندگی ۱۵

۲-۲-۳-۳- پراکندگی توسط دسته‌های دور ۱۶

۲-۲-۳-۴- راهنمای موج و پراش ۱۷

۲-۲-۴- انواع مدل‌ها برای طراحی مدل هندسی ۱۷

۲-۲-۵- انواع مدل‌های هندسی کانال انتشار ۱۹

۲-۲-۵-۱- مدل‌های هندسی دارای شکل‌های هندسی منظم ۱۹

۲-۲-۵-۱-۱- مدل تک حلقه ۲۰

۲-۲-۵-۱-۲- مدل دو حلقه ۲۲

۲-۲-۵-۱-۳- مدل بیضوی ۲۵

۲-۲-۵-۱-۴- مدل‌های سه بعدی و ترکیبی ۲۶

۲-۲-۵-۲- مدل‌های هندسی دارای شکل‌های هندسی نامنظم ۲۸

فصل سوم: آماده سازی کانال انتشار در محیط نرم افزار RPS **۳۲**

۳-۱- مبانی اپتیک هندسی برای انتشار امواج الکترومغناطیسی ۳۳

۳-۲- بازتاب ۳۳

۳-۳- نفوذ ۳۵

۳-۴- پراش ۳۵

۳-۵- قانون ردیابی اشعه ۳۶

۳-۶- روش‌های مبتنی بر اشعه در مدل‌سازی کانال انتشار ۳۷

۳-۷- معرفی کانال انتشار در نرم افزار RPS ۳۷

۳-۸- قوانین حاکم در روش دنبال کردن اشعه ۴۰

فصل چهارم: مدل ترکیبی تک جهشی و دو جهشی کانال انتشار MIMO **۴۳**

۴-۱- بررسی ضرورت مدل ترکیبی تک جهشی و دو جهشی پیرامون کاربر ۴۴
۴-۲- سیستم آنتن MIMO و کانال انتشار باند وسیع ۴۸
۴-۳- تابع همبستگی متقابل ۵۱
۴-۴- نتایج شبیه سازی ۵۶
۴-۴-۱- شبیه سازی مدل ریاضی ارائه شده ۵۶
۴-۴-۲- شبیه سازی در RPS و تنظیم پارامترهای مربوط به توزیع پراکنده کننده‌ها..... ۶۱
فصل پنجم: مدل‌سازی کانال MIMO با پراکنده کننده ثابت بین ایستگاه پایه و کاربر... **۶۸**
۵-۱- سیستم آنتن MIMO و کانال انتشار باند وسیع ۶۹
۵-۲- تابع همبستگی متقابل ۷۱
۵-۳- نتایج شبیه سازی کانال انتشار ۷۵
فصل ششم: مدل‌سازی کانال MIMO با توزیعی از پراکنده کننده‌ها بین ایستگاه پایه و کاربر..... **۸۰**
۶-۱- سیستم آنتن MIMO و کانال انتشار باند وسیع ۸۱
۶-۲- تابع همبستگی متقابل ۸۳
۶-۳- نتایج شبیه سازی کانال انتشار ۸۶
فصل هفتم: MIMO مجازی **۹۰**
۷-۱- سیستم آنتن VMIMO و کانال انتشار باند وسیع ۹۱
۷-۲- تابع همبستگی متقابل ۹۴
۷-۳- نتایج شبیه سازی کانال انتشار ۹۵
فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۷
۸-۱- نتیجه گیری ۹۸
۸-۲- پیشنهادات ۹۹
مراجع ۱۰۰

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. دسته بندی مدل‌های کانال MIMO ۱۲

جدول ۴-۱. مقادیر تابع همبستگی متقابل با تعداد مختلف بازتاب در RPS ۴۵

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. سیستم چند ورودی چند خروجی [۳]. ۱۰

شکل ۲-۲. نمایش محیط پیکوسل [۵۱]. ۱۸

شکل ۲-۳. نمایش محیط میکروسل [۵۱]. ۱۸

شکل ۲-۴. نمایش محیط ماکروسل [۵۱]. ۱۸

شکل ۲-۵. هندسه کلی کانال تک حلقه [۵]. ۲۱

شکل ۲-۶. هندسه کانال انتشار MIMO تک حلقه کانال باند وسیع [۲۵]. ۲۲

شکل ۲-۷. هندسه مدل دو حلقه [۱۵]. ۲۲

شکل ۲-۸. مدل دوحلقه تک جهشی یا تعمیم یافته [۱۶]. ۲۳

شکل ۲-۹. مدل دو حلقه دو جهشی [۱۷]. ۲۴

شکل ۲-۱۰. مدل دو حلقه باند وسیع [۵۴]. ۲۴

شکل ۲-۱۱. هندسه مدل بیضوی [۵۴]. ۲۵

شکل ۲-۱۲. هندسه مدل دو کره تک جهشی [۶۵]. ۲۶

شکل ۲-۱۳. هندسه مدل ترکیبی دو کره و سیلندر بیضوی [۶۹]. ۲۷

شکل ۲-۱۴. هندسه مدل ترکیبی دوحلقه و مدل بیضوی [۷۰]. ۲۸

شکل ۲-۱۵. هندسه کلی مدل برای تونل [۷۲]. ۲۹

شکل ۲-۱۶. هندسه مدل خیابان [۷۳]. ۲۹

شکل ۲-۱۷. محیط در نظرگرفته شده برای T-model [۷۴]. ۳۰

شکل ۲-۱۸. مدل هندسی در نظر گرفته شده برای SWA [۷۵]. ۳۱

شکل ۳-۱. ضریب بازتاب مولفه عمودی میدان در برابر زاویه تابش [۷۶]. ۳۴

شکل ۳-۲. ضریب بازتاب مولفه موازی میدان در برابر زاویه تابش [۷۶]. ۳۴

شکل ۳-۳. تعریف یک لبه پراش توسط دو سطح [۷۶]. ۳۶

شکل ۳-۴. اشعه پرتاب شده از یک فرستنده [۷۶]. ۳۶

شکل ۳-۵. نمایش سه بعدی محیط انتشار. ۳۷

شکل ۳-۶. نمایش سه بعدی محیط انتشار در RPS. ۳۹

شکل ۳-۷. تنظیم پارامترهای هر یک از سطوح پراکندگی در RPS. ۴۰

شکل ۳-۸. تنظیم پارامترهای انتشار اشعه در RPS. ۴۱

شکل ۳-۹. نمایش پالس‌های دریافتی در پاسخ ضربه کانال انتشار. ۴۲

شکل ۴-۱. نمایش سه بعدی ساختار استفاده شده در این فصل. ۴۵

شکل ۴-۲. تابع همبستگی متقابل با درنظرگرفتن تعداد بازتابهای مختلف در RPS. ۴۷

شکل ۴-۳. تابع همبستگی متقابل با درنظرگرفتن تعداد بازتابهای مختلف در RPS. ۴۷

شکل ۴-۴. ساختار هندسی کانال انتشار ترکیب تک جهشی و دوجهشی. ۴۹

شکل ۴-۵. اندازه تابع همبستگی مدل ارائه شده با تغییر $\Phi = \phi_k^U - \phi_i^U$ و $\frac{\delta_{lm}}{\lambda}$. ۵۷

شکل ۴-۶. اندازه تابع همبستگی مدل ارائه شده با تغییر $\Phi = \phi_k^U - \phi_i^U$ و $\frac{\delta_{lm}}{\lambda}$. ۵۸

شکل ۳-۷. ندازه تابع همبستگی مدل ارائه شده با تغییر $\Phi = \phi_k^U - \phi_i^U$ و $\frac{\delta_{lm}}{\lambda}$. ۵۸

شکل ۴-۸. اندازه تابع همبستگی مدل ارائه شده با تغییر $\Phi = \phi_k^U - \phi_i^U$ و Δf. ۵۹

شکل ۴-۹. اندازه تابع همبستگی مدل ارائه شده با تغییر $\Phi = \phi_k^U - \phi_i^U$ و Δf. ۶۰

شکل ۴-۱۰. اندازه تابع همبستگی مدل ارائه شده با تغییر $\Phi = \phi_k^U - \phi_i^U$ و Δf. ۶۱

شکل ۴-۱۱. تابع همبستگی متقابل برای سناریو ۱ در مقادیر $k = 12, \mu = 1.8, \Phi = \pi$. ۶۲

شکل ۴-۱۲. تابع همبستگی متقابل برای سناریو ۱ در مقادیر $k=12,\mu=1.8,\Phi=\pi$. ۶۳
شکل ۴-۱۳. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۱ در $k=12,\mu=1.8,\Phi=\pi$. ۶۴
شکل ۴-۱۴. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۱ در $k=12,\mu=1.8,\Phi=\pi$. ۶۴
شکل ۴-۱۵. تابع همبستگی متقابل برای سناریو ۲ در مقادیر $k=12,\mu=1.7,\Phi=\pi$. ۶۵
شکل ۴-۱۶. تابع همبستگی متقابل برای سناریو ۲ در مقادیر $k=12,\mu=1.7,\Phi=\pi$. ۶۵
شکل ۴-۱۷. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۲ در $k=12,\mu=1.7,\Phi=\pi$. ۶۶
شکل ۴-۱۸. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۲ در $k=12,\mu=1.7,\Phi=\pi$. ۶۶
شکل ۵-۱. ساختار کانال انتشار در محیط واقعی. ۶۹
شکل ۵-۲. ساختار هندسی کانال انتشار مدل ترکیبی تک جهشی و دوجهشی با پراکنده کننده ثابت. ۷۰
شکل ۵-۳. نمایش سه بعدی محیط انتشار با پراکنده کننده‌هایی ثابت بین ایستگاه پایه و کاربر. ۷۶
شکل ۵-۴. تابع همبستگی متقابل سناریو ۱ در مقادیر $k=40,\mu=2.6,k'=40,\mu'=1.4$. ۷۶
شکل ۵-۵. تابع همبستگی متقابل سناریو ۲ در مقادیر $k=40,\mu=2,k'=3,\mu'=1.4$. ۷۷
شکل ۵-۶. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۱ در $k=40,\mu=2.6,k'=40,\mu'=1.4$. ۷۸
شکل ۵-۷. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۲ در $k=40,\mu=2,k'=3,\mu'=1.4$. ۷۸
شکل ۵-۸. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۱ در $k=40,\mu=2.6,k'=40,\mu'=1.4$. ۷۹
شکل ۵-۹. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۲ در $k=40,\mu=2,k'=3,\mu'=1.4$. ۷۹
شکل ۶-۱. ساختار هندسی کانال انتشار باند وسیع. ۸۲
شکل ۶-۲. نمایش سه بعدی محیط انتشار با توزیعی از پراکنده کننده‌ها بین ایستگاه پایه و کاربر. ۸۶
شکل ۶-۳. تابع همبستگی متقابل سناریو ۱. ۸۷
شکل ۶-۴. تابع همبستگی متقابل سناریو ۲. ۸۷
شکل ۶-۵. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۱. ۸۸
شکل ۶-۶. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۲. ۸۸

شکل ۶-۷. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۱. ۸۹

شکل ۶-۸. مقادیر ظرفیت ارگادیک سناریو ۲. ۸۹

شکل ۷-۱. ساختار هندسی مدل پیشنهاد شده. ۹۲

شکل ۷-۲. مقادیر تابع همبستگی برحسب تغییر فاصله دو کاربر. ۹۶

شکل ۷-۳. ظرفیت برحسب تغییر فاصله دو کاربر. ۹۶

فهرست علائم

علامت	نشانه
kbps	نرخ ارسال
Mbps	نرخ ارسال
Gbps	نرخ ارسال
ε	ضریب نفوذپذیری الکتریکی
h	پاسخ ضربه
τ	تاخیر
N, K, N'	تعداد پراکنده کننده‌های مستقل S_i، S_k و $S_{i'}$
g	دامنه موج پراکنده شده توسط پراکنده کننده‌ها با اندیس‌های مربوطه
ψ	شیفت فاز مطرح شده توسط پراکنده کننده‌ها با اندیس‌های مربوطه
n	ضریب اتلاف محیط
$\zeta(m)$	فواصل مشخص شده بر روی شکل‌های مختلف که با اندیس موردنظر تعریف می‌شود
D	فاصله بین ایستگاه پایه و کاربر، فاصله دو کاربر با اندیس مربوطه
δ	فاصله المان‌های آنتن در ایستگاه پایه و کاربر با اندیس موردنظر
$E[]$	امید ریاضی
$T(f)$	پاسخ فرکانسی
$R_1(m), R_2(m)$	شعاع دایره داخلی و خارجی
$\phi, \alpha, \beta, \theta(rad)$	زوایای مشخص شده بر روی شکل‌های مختلف که با اندیس موردنظر تعریف می‌شود
Δf	اختلاف فرکانس
$\rho(\Delta f)$	تابع همبستگی متقابل
Ω	توان نرمالیزه

$f(\phi), f(\alpha)$	تابع چگالی احتمال مربوط به توزیع پراکنده کننده‌ها در راستای زوایا
$f(R), f(x)$	تابع چگالی احتمال مربوط به توزیع پراکنده کننده‌ها در راستای فاصله روی خط و شعاع
k	پارامتر مربوط به کنترل پهنای زاویه ورود برای توزیع پراکنده کننده‌ها
μ	پارامتر مربوط به کنترل جهت میانگین زاویه ورود برای توزیع پراکنده کننده‌ها
Φ	اختلاف مربوط به دو زاویه ورود
$I_0(.), I_1(.), I_{-1}(.)$	توابع بسل تعمیم یافته با مراتب مختلف
$c(m/s)$	سرعت نور
$\lambda(m)$	طول موج
$f(MHZ)$	فرکانس
$C(bps/HZ)$	ظرفیت
$SNR(dB)$	نسبت سیگنال به نویز
$det(.)$	دترمینان

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

فناوری نسل چهارم (4G[1]) در مخابرات بی‌سیم برای ارائه نرخ داده[2] هر چه بالاتر نسبت به نسل‌های قبلی ارائه شد. رسیدن به این هدف با تجهیز این فناوری به سیستم‌های چند ورودی چند خروجی (MIMO[3])، یا بعبارتی با ایجاد چندین اتصال (لینک مخابراتی)، هر چه بیشتر محقق می‌گردد. در این سیستم‌ها با بکارگیری تسهیم فضایی[4] و کدگذاری چند گونه‌ای[5] [۱]، افزایش نرخ داده با سرعت بالا و بهبود عملکرد[6] سیستم‌های تلفن همراه و همچنین تضمین کیفیت خدمات با توجه به افزایش تقاضا و روند رو به رشد سیستم‌های مخابراتی امکان پذیر خواهد بود [۳،۲]. سیستم‌های 4G قادر خواهند بود سرویس‌های یکپارچه صوت، تصویر و داده را برای تمامی میزبانان تلفن همراه که کاملا بر مبنای IP[7] هستند، تامین کنند [۳].

از اینرو، برای مطالعه این موضوع که چگونه فناوری MIMO عملکرد یک شبکه 4G را بهبود می‌دهد، نیاز است که کانال‌های انتشار مورد استفاده برای چنین سیستم‌هایی بررسی شود. برای رسیدن به این هدف نیاز به تعیین مشخصات کانال می‌باشد. به علت اینکه اندازه‌گیری کانال، پیچیده، زمانبر و گران قیمت است به مدل-سازی این کانال‌ها پرداخته می‌شود [۴].

بنابراین نیازمند مدل‌سازی کانال انتشار کارا، مناسب و به دور از هر گونه زمان‌بر بودن اجرا هستیم. انواع مدل‌سازی‌ها برای کانال‌های MIMO صورت گرفته است که در دو دسته کلی مدل‌های فیزیکی و تحلیلی قرار می‌گیرند. مدل‌های کانال فیزیکی، به طور وضوح پارامترهای انتشار موج همچون دامنه مختلط، جهت انحراف (DOD[8])، جهت ورود (DOA[9]) و تاخیر یک مولفه چند مسیره[10] را مدل گذاری می‌نمایند و مستقل از پیکربندی آنتن (الگوی آنتن، تعداد آنتن‌ها، هندسه آرایه، پلاریزاسیون و تزویج متقابل) و پهنای باند سیستم

1- Fourth generation
2- Data rate
3- Multiple Input Multiple Output
4- Spatial multiplexing
5- Diversity coding
6- Throughput
7- Internet Protocol
8- Direction of Departure
9- Direction of Arrival
10- Multipath component

می‌باشند. در برابر مدل‌های فیزیکی مدل‌های تحلیلی قرار می‌گیرند، این مدل‌ها پاسخ ضربه کانال بین آنتن-های فرستنده و گیرنده واحد را با یک روش تحلیلی ریاضی بدون محاسبه انتشار امواج به‌دست می‌آورند [۵]. هر کدام از این روش‌ها به نوبه خود انواعی دارد که البته در این میان مدل‌سازی هندسی به طور اتفاقی (GBSM[1])، اگر چه پارامترهای محیط را تا حد زیادی به‌صورت آماری لحاظ می‌کند برای توصیف و تحلیل آن از روابط ریاضی استفاده می‌شود، بنابراین این مدل را در ترکیبی از هر دو دسته قرار می‌دهیم. مدل‌سازی هندسی زمان پردازش کمتری را ارائه می‌دهد. در این مدل‌سازی توزیع آماری زوایای ورود / انحراف (AOA/AOD[2]) اشعه‌ها و توزیع هندسی پراکنده کننده‌ها[3] در محیط انتشار لحاظ می‌گردد [۶].

۱-۲- بیان مسئله

در پژوهش‌های انجام شده تاکنون، مدل‌های هندسی گوناگونی برای کاربردهای مختلف ارائه شده است مانند مدل تک حلقه[4] [۱۶]-[۷]، مدل دو حلقه[5] [۲۶]-[۱۷] و .... که در آن‌ها پراکنده کننده‌ها به ترتیب بر روی یک حلقه پیرامون کاربر و یا بر روی دو حلقه پیرامون ایستگاه پایه و کاربر توزیع شده‌اند. به منظور افزایش کارایی مدل هندسی در سیستم‌های باند وسیع[6]، پراکنده کننده‌ها به جای توزیع روی حلقه روی دیسک توخالی[7] قرار می‌گیرند [۲۷]، که تحقیق جاری این توزیع را برای پراکنده کننده‌ها به‌کار می‌گیرد (علت این انتخاب در ادامه بیان می‌شود) و مدل‌هایی جدید متناسب با محیط انتشار برای سیستم‌های 4G ارائه می-شود، از آن‌جایی که سیستم‌های 4G مفهوم کلی هر زمان- هر جایی[8] را دربر می‌گیرند بنابراین مدل‌های طراحی شده برای این سیستم‌ها می‌تواند برای سناریوهای مختلف همچون ۱) فضای باز[9] ۲) فضای بسته[10] و ۳) فضای باز به فضای بسته (O2I[11]) طراحی شود. که البته معمولا لینک‌های رادیویی چنین سیستم‌هایی O2I به نظر می‌رسند. مدل‌هایی که ما در این تحقیق ارائه می‌دهیم بر پایه ساختار محیط O2I طراحی شده-

1- Geometry-Based Stochastic Model
2- Angle of Arrival/Departure
3- Scatterers
4- One ring
5- Two ring
6 - Wideband
7- Hollow-disk
8- Anytime-Anywhere
9- Outdoor
10- Indoor
11- Outdoor-to-Indoor