

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق  
گرایش مخابرات

---

## آنتن‌های شکاف‌دار موجبری

---

استاد راهنما:

دکتر سعیدرضا صیدنژاد

استاد مشاور:

دکتر احمد حکیمی

مؤلف:

مهدی سالاری

شهریور ماه ۱۳۹۰



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق به

**دانشکده فنی و مهندسی**

**گروه مهندسی برق**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: مهدی سالاری

استاد راهنما: دکتر سعیدرضا صیدنژاد

استاد مشاور: دکتر احمد حکیمی

داور ۱: دکتر مسعود موحدی

داور ۲: دکتر سعید سریزدی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

## تشکر و قدردانی:

در آغاز لازم است از اساتید گرامی آقایان دکتر احمد حکیمی، دکتر سعیدرضا صیدنژاد و دکتر مسعود موحدی به خاطر زحمات و راهنمایی‌های ایشان، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم، چرا که این پروژه قدم به قدم با راهنمایی‌های ایشان پیش رفته است.

## تقدیم به :

پدر و مادرم، که همواره مشوق و حامی من بوده‌اند و از هیچ تلاشی برای پیشرفتم  
فروگذار نکرده‌اند.

و

همسر مهربانم که مشوق و همراه من در زندگی است.

## چکیده:

آنتن شکاف دار ساختاری تشعشع کننده است که از یک شکاف کوچک روی یک صفحه هادی با ابعاد وسیع تشکیل می گردد. این ساختار توان الکترومغناطیسی را با یک الگوی تشعشعی، مانند الگوی تشعشعی یک آنتن دیپل سیمی منتشر می کند، با این تفاوت که جای میدان های الکتریکی و مغناطیسی در آن ها عوض می گردد. یکی از انواع آنتن های شکاف دار، آنتن شکاف دار موجبری است که در آن شکاف ها روی دیواره های یک موجبر، که غالباً مستطیلی است، ایجاد می گردند. در این پایان نامه، ابتدا با مفاهیم کلی موجبرهای مستطیلی و شکاف های تشعشع کننده آشنا می شویم. در ادامه چندین ساختار متداول برای تشعشع توان الکترومغناطیسی، با پلاریزاسیون های خطی و دایروی، از موجبرهای مستطیلی، مورد تجزیه و تحلیل و شبیه سازی قرار می گیرند. در پایان ضمن بررسی این ساختارها و شناخت ویژگی ها و معایب آن ها، ساختاری جدید برای تشعشع امواج الکترومغناطیسی با پلاریزاسیون دایروی پیشنهاد می گردد. این ساختار در محیط نرم افزار CST Microwave Studio شبیه سازی شده و نتایج این شبیه سازی ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در آخر خصوصیات تشعشعی این ساختار جدید در کنار ساختارهای متداول برای تشعشع با پلاریزاسیون دایروی، مورد مقایسه قرار می گیرد.

**واژگان کلیدی:** آنتن شکاف دار، پلاریزاسیون دایروی، شکاف V شکل.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل ۱: مقدمه

- ۱-۱ معرفی آنتن‌های شکاف‌دار ..... ۱
- ۲-۱ تحریک شکاف‌ها ..... ۲
- ۳-۱ آنتن‌های شکاف‌دار موجبری ..... ۳
- ۴-۱ معرفی سرفصل‌های پایان‌نامه ..... ۳

### فصل ۲: موجبر مستطیلی و شکاف تشعشع‌کننده

- ۱-۲ شکاف در صفحه هادی نامحدود ..... ۵
- ۲-۲ موجبرهای مستطیلی ..... ۱۱
- ۳-۲ تشعشع از موجبرهای مستطیلی ..... ۱۴
- ۴-۲ آنتن‌های شکاف‌دار موجبری ..... ۱۶
- ۵-۲ امپدانس و ادمیتانس تشعشعی شکاف‌ها ..... ۱۸

### فصل ۳: آنتن‌های شکاف‌دار موجبری

- ۱-۳ آنتن‌های شکاف‌دار موجبری با پلاریزاسیون خطی ..... ۲۲
- ۱-۱-۳ شکاف طولی روی دیواره عریض موجبر ..... ۲۳
- ۲-۱-۳ شکاف عرضی روی دیواره عریض موجبر ..... ۲۶
- ۳-۱-۳ شکاف مایل روی دیواره عریض موجبر ..... ۲۹

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۳	۴-۱-۳ شکاف مایل روی دیواره جانبی موجبر.....
۳۹	۲-۳ پلاریزاسیون دایروی در آنتن‌های شکاف‌دار موجبری.....
۳۹	۱-۲-۳ پلاریزاسیون آنتن.....
۴۲	۲-۲-۳ شکاف X شکل روی دیواره عریض موجبر مستطیلی.....
۵۵	۳-۲-۳ شکاف I شکل روی دیواره جانبی موجبر مستطیلی.....
۵۹	۴-۲-۳ مبدل پلاریزاسیون در دیواره جانبی موجبر مستطیلی.....

### فصل ۴: آنتن شکاف‌دار موجبری جدید با پلاریزاسیون دایروی

۶۲	۱-۴ مقدمه.....
۶۴	۲-۴ ساختار آنتن.....
۶۵	۳-۴ طراحی و تحلیل شکاف V شکل با پلاریزاسیون دایروی.....
۷۰	۴-۴ آرایه خطی متشکل از شکاف‌های V شکل.....
۷۳	۵-۴ آرایه دو بعدی متشکل از شکاف‌های V شکل.....
۷۸	نتیجه‌گیری.....
۷۹	منابع.....
۸۲	مقالات منتشر شده از این پایان‌نامه.....



## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل (۱-۱) روش‌های تغذیه شکاف روی صفحه هادی
۶	شکل (۱-۲): شکاف باریک روی صفحه هادی با ابعاد بی‌نهایت
	شکل (۲-۲): الگوی تشعشعی تئوری یک شکاف باریک با طول
۹	$\lambda/2$ ، (الف) در صفحه $\phi=0^\circ$ ، (ب) در صفحه $\phi=90^\circ$
۱۴	شکل (۳-۲): توزیع جریان روی سطح داخلی دیواره‌های موجبر مستطیلی در مد $TE_{10}$
۱۵	شکل (۴-۲): اشکال مختلف شکاف‌های باریک روی دیواره‌های موجبر مستطیلی
	شکل (۵-۲): (الف) شکاف‌های طولی روی دیواره عریض موجبر، (ب) شکاف‌های مایل روی دیواره عریض موجبر، (ج) شکاف‌های مایل روی دیواره جانبی موجبر مستطیلی
۱۸	شکل (۶-۲): (الف) شکاف طولی روی دیواره عریض موجبر، (ب) شکاف عرضی روی دیواره عریض موجبر، (ج) شکاف مایل روی دیواره عریض، (د) شکاف مایل روی دیواره جانبی
۲۱	شکل (۱-۳): شکاف طولی روی دیواره عریض موجبر مستطیلی
۲۴	شکل (۲-۳): نسبت محوری شکاف طولی روی صفحه عریض موجبر در صفحه میدان الکتریکی و مغناطیسی بر حسب زاویه $\theta$
۲۴	شکل (۳-۳): جهت‌دهی شکاف در صفحه میدان الکتریکی و صفحه میدان مغناطیسی بر حسب زاویه $\theta$
۲۴	شکل (۴-۳): نسبت ولتاژ موج ساکن بر حسب فرکانس شکاف طولی روی دیواره عریض موجبر
۲۶	شکل (۵-۳): شکاف عرضی روی دیواره عریض موجبر مستطیلی
۲۸	شکل (۶-۳): نسبت محوری شکاف عرضی روی دیواره عریض موجبر
	شکل (۷-۳): نمودار جهت‌دهی شکاف عرضی روی دیواره عریض موجبر در صفحه میدان الکتریکی و صفحه میدان مغناطیسی
۲۸	شکل (۸-۳): نسبت ولتاژ موج ساکن یک شکاف عرضی روی دیواره عریض موجبر
۲۹	شکل (۹-۳): شکاف مایل روی دیواره عریض موجبر مستطیلی
۳۰	شکل (۱۰-۳): آرایه خطی از شکاف‌های مایل روی دیواره عریض موجبر مستطیلی

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳۲.....	شکل (۳-۱۱): نسبت محوری شکاف مایل روی دیواره عریض موجر مستطیلی
۳۲.....	شکل (۳-۱۲): نمودار جهت‌دهی شکاف مایل روی دیواره عریض موجر مستطیلی
	شکل (۳-۱۳): نمودار نسبت ولتاژ موج ساکن یک شکاف مایل روی دیواره عریض موجر مستطیلی، به ازای دو شکاف یکی با طول
۳۳.....	تشدید و دیگری با طول نصف طول تشدید
۳۴.....	شکل (۳-۱۴): شکاف مایل روی دیواره جانبی موجر مستطیلی
	شکل (۳-۱۵): آرایه خطی از شکاف‌های مایل روی دیواره جانبی موجر که یک در میان با زاویه عکس نسبت به محور Z قرار گرفته‌اند
۳۵.....	شکل (۳-۱۶): آنتن شکاف‌دار موجبری متشکل از شکاف‌های عمودپروی دیواره جانبی موجر مستطیلی با پلاریزاسیون خطی افقی و مؤلفه پلاریزاسیون متقاطع صفر
۳۶.....	شکل (۳-۱۷): جهت‌دهی یک شکاف مایل روی دیواره جانبی موجر مستطیلی
	شکل (۳-۱۸): آنتن شکاف‌دار موجبری متشکل از یک شکاف مایل روی دیواره جانبی و یک صفحه هادی اطراف آن جهت کاهش اثرات ابعاد محدود دیواره
۳۷.....	شکل (۳-۱۹): جهت‌دهی شکاف مایل روی دیواره جانبی با صفحه هادی دایروی، (الف) شعاع برابر ۳۸، (ب) شعاع برابر با ۷۸
۳۷.....	شکل (۳-۲۰): نسبت ولتاژ موج ساکن شکاف مایل روی دیواره جانبی به ازای شکاف با طول تشدید و طول نصف طول تشدید
۳۸.....	شکل (۳-۲۱): نمودار مکان بردار میدان الکتریکی موج صفحه‌ای با پلاریزاسیون خطی در صفحه XY، در یک دوره تناوب
۳۹.....	شکل (۳-۲۲): نمودار موقعیت بردار میدان الکتریکی یک موج صفحه‌ای با پلاریزاسیون دایروی در صفحه XY در یک دوره تناوب
۴۱.....	شکل (۳-۲۳): نمودار موقعیت بردار میدان الکتریکی یک موج صفحه‌ای با پلاریزاسیون بیضوی در صفحه XY در یک دوره تناوب
۴۲.....	شکل (۳-۲۴): شکاف X شکل روی دیواره عریض موجر مستطیلی با تشعشع پلاریزاسیون دایروی
۴۵.....	

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل (۳-۲۵): نمودار جهت دهی شکاف X شکل روی دیواره عریض موجبر مستطیلی در نقطه .....	۴۵
شکل (۳-۲۶): نمودار نسبت محوری شکاف X شکل روی دیواره عریض موجبر مستطیلی در نقطه X .....	۴۶
شکل (۳-۲۷): نمودار نسبت محوری شکاف X شکل روی دیواره عریض به ازای چند مقدار مختلف برای طول شاخه های شکاف .....	۴۷
شکل (۳-۲۸): نسبت محوری شکاف X با طول تشدید، (لف) به ازای باری با مقدار مشخصی انعکاس برای کاهش نسبت محوری، (ب) به ازای بار تطبیق در انتهای موجبر .....	۴۷
شکل (۳-۲۹): میله هادی در انتهای موجبر مستطیلی جهت ایجاد انعکاس برای کاهش نسبت محوری شکاف X شکل .....	۴۸
شکل (۳-۳۰): پلاریزاسیون موج تشعشع شده از شکاف X شکل به ازای تحریک از هر یک از دهانه های موجبر .....	۴۸
شکل (۳-۳۱): الگوی تشعشعی یک آرایه خطی که المان های آن به فاصله d از یکدیگر در راستای محور X قرار گرفته و به صورت هم فاز تحریک می گردند .....	۴۹
شکل (۳-۳۲): آرایه خطی از شکاف های X شکل با پلاریزاسیون دایروی روی دیواره عریض موجبر، شکاف ها با فواصل $\lambda_g$ از یکدیگر قرار دارند .....	۵۰
شکل (۳-۳۳): نسبت محوری آرایه خطی از شکاف های X شکل در صفحات XZ و YZ .....	۵۰
شکل (۳-۳۴): جهت دهی مؤلفه های با پلاریزاسیون چپ گرد و راست گرد آرایه خطی متشکل از شکاف های X شکل در صفحه YZ .....	۵۱
شکل (۳-۳۵): جهت دهی آرایه خطی از شکاف های X شکل در صفحات XZ و YZ .....	۵۱
شکل (۳-۳۶): تکرار خطوط جریان در فواصل $\lambda_g/2$ با اختلاف فاز $180^\circ$ و یک در میان قرار گرفتن شکاف ها دو سمت خط مرکزی صفحه عریض موجبر برای کاهش فاصله بین آنها در آرایه یک بعدی .....	۵۱
شکل (۳-۳۷): تشعشع موج با پلاریزاسیون های دایروی با جهت های عکس یکدیگر از شکاف های قرار گرفته در دو سمت خط مرکزی صفحه عریض موجبر .....	۵۲
شکل (۳-۳۸): نحوه قرار گرفتن موجبرها در کنار یکدیگر برای کاهش فاصله بین شکاف ها .....	۵۴

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
	شکل (۳-۳۹): آنتن آرایه‌ای دو بعدی موجبری که از کنار یکدیگر قرار گرفتن
۵۵.....	موجبرهای حاوی شکاف‌های X شکل تشکیل می‌گردد
	شکل (۳-۴۰): نسبت محوری آرایه دو بعدی متشکل از شکاف‌های X شکل
۵۵.....	در صفحات XZ و YZ
۵۶.....	شکل (۳-۴۱): نمودار سه بعدی جهت‌دهی آرایه دوبعدی متشکل از شکاف‌های X شکل
۵۶.....	شکل (۳-۴۲): شکاف T شکل روی دیواره عریض موجبر مستطیلی برای تشعشع پلاریزاسیون دایروی.
۵۷.....	شکل (۳-۴۳): شکاف I شکل با پلاریزاسیون دایروی روی دیواره جانبی موجبر مستطیلی
۵۸.....	شکل (۳-۴۴): نسبت محوری شکاف I شکل؛ (الف) در صفحه XY، (ب) در صفحه XZ
	شکل (۳-۴۵): نمودار جهت‌دهی مؤلفه‌های چپ‌گرد و راست‌گرد موج
۵۸.....	تشعشع شده از شکاف I شکل
	شکل (۳-۴۶): جهت‌دهی شکاف I شکل روی دیواره جانبی موجبر مستطیلی؛
۵۹.....	(الف) در صفحه XY، (ب) در صفحه XZ
	شکل (۳-۴۷): دایپل الکتریکی در مقابل شکاف مایل روی دیواره جانبی موجبر مستطیلی
۵۹.....	به‌عنوان مبدل پلاریزاسیون خطی به دایروی
	شکل (۳-۴۸): نسبت محوری شکاف مایل روی دیواره جانبی همراه با
	یک دایپل به‌عنوان مبدل پلاریزاسیون؛
۶۱.....	(الف): در صفحه XY، (ب): در صفحه XZ
	شکل (۳-۴۹): جهت‌دهی شکاف مایل روی دیواره جانبی همراه با یک دایپل به‌عنوان مبدل
۶۱.....	پلاریزاسیون؛ (الف): در صفحه XY، (ب): در صفحه XZ
۶۳.....	شکل (۴-۱): نمای کلی عنصر تشعشع‌کننده و شکاف‌های X شکل و V شکل
۶۷.....	شکل (۴-۲): شکاف V شکل روی دیواره تشدیدکننده، با پلاریزاسیون دایروی
۶۸.....	شکل (۴-۳): نسبت محوری شکاف V شکل؛ (الف) در صفحه XY، (ب) در صفحه XZ
۶۸.....	شکل (۴-۴): نمودار سه‌بعدی نسبت محوری شکاف V شکل با پلاریزاسیون دایروی
	شکل (۴-۵): نمودار جهت‌دهی شکاف V شکل با پلاریزاسیون دایروی؛
۶۹.....	(الف) در صفحه XY، (ب) در صفحه XZ

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۷۰.....	شکل (۴-۶): نمودار جهت‌دهی مؤلفه‌های چپ‌گرد و راست‌گرد شکاف V شکل در صفحه xy
۷۱.....	شکل (۴-۷): آرایه خطی متشکل از شکاف‌های V شکل (الف) در صفحه xy، (ب) در صفحه xz
۷۱.....	شکل (۴-۸): نمودار نسبت محوری آرایه خطی متشکل از شکاف‌های V شکل، (الف) در صفحه xy، (ب) در صفحه xz
۷۲.....	شکل (۴-۹): نمودار جهت‌دهی آرایه خطی متشکل از شکاف‌های V شکل، (الف) در صفحه xy، (ب) در صفحه xz
۷۳.....	شکل (۴-۱۰): جهت‌دهی مؤلفه‌های چپ‌گرد و راست‌گرد آرایه خطی متشکل از شکاف‌های V شکل
۷۵.....	شکل (۴-۱۱): آرایه دوبعدی متشکل از شکاف‌های V شکل و نحوه قرار گرفتن موجبرها جهت کاهش فاصله شکاف‌ها در راستای طول موجبرها
۷۵.....	شکل (۴-۱۲): نسبت محوری آرایه دوبعدی متشکل از شکاف‌های V شکل؛ (الف) در صفحه xy، (ب) در صفحه xz
۷۵.....	شکل (۴-۱۳): جهت‌دهی مؤلفه‌های چپ‌گرد راست‌گرد آرایه دوبعدی در صفحه xy
۷۶.....	شکل (۴-۱۴): نمودار جهت‌دهی آرایه دو بعدی متشکل از شکاف‌های V شکل؛ (الف) در صفحه xy، (ب) در صفحه xz
۷۷.....	شکل (۴-۱۵): نمودارهای سه بعدی جهت‌دهی آرایه دوبعدی متشکل از؛ (الف) شکاف‌های V شکل، (ب) شکاف‌های X شکل

# فصل ۱

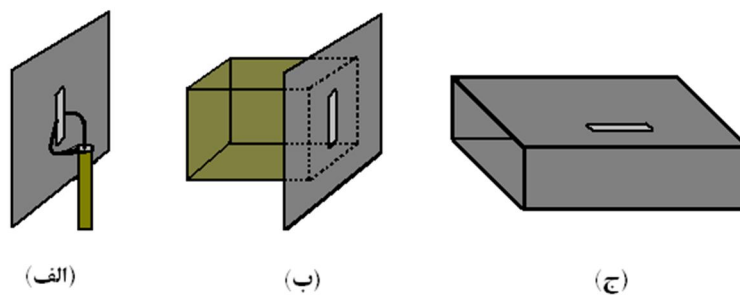
## مقدمه

### ۱-۱ معرفی آنتن‌های شکاف‌دار

آنتن شکاف‌دار یک روزنه باریک است که روی یک صفحه هادی ایجاد می‌گردد، و برای تشعشع توان الکترومغناطیسی باید به نحوه مناسبی تحریک گردد. شکاف می‌تواند هر شکلی داشته باشد، ولی معمولاً یک شکاف مستطیلی می‌باشد که عرض آن در مقایسه با طول موج بسیار کوچک است. شکل، اندازه و موقعیت شکاف و هم‌چنین فرکانس تحریک، خصوصیات تشعشعی آنتن را تعیین می‌کنند. شکافی که در یک صفحه هادی با ابعاد نامحدود ایجاد می‌گردد، مکمل یک آنتن سیمی با ابعادی برابر با ابعاد همان شکاف می‌باشد. این بدین معنی است که اگر شکاف و آنتن سیمی هر دو از نقاط مشابه تحریک شوند، الگوی تشعشعی آن‌ها یکسان خواهد بود. با این تفاوت که جای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در آن‌ها عوض می‌گردد. در عمل ابعاد صفحه هادی محدود است و در نتیجه الگوی تشعشعی آنتن تحت تأثیر موقعیت شکاف نسبت به لبه‌های صفحه می‌باشد. آنتن شکاف‌دار در سال ۱۹۳۸ توسط Alen Blumlein اختراع شد. هدف او ساخت آنتنی برای پخش امواج تلویزیونی در باند VHF، با پلاریزاسیون افقی، الگوی تشعشعی همه‌جهته در راستای افق و باریک در راستای عمودی بود. امروزه آنتن‌های شکاف‌دار موجبری به دلیل کنترل بیشتری که روی خصوصیات تشعشعی آن‌ها نسبت به آنتن‌های انعکاسی وجود دارد، کاربرد عمده‌ای در رادارها دارند.

## ۲-۱ تحریک شکاف‌ها

روش‌های متعددی برای تحریک شکاف ایجاد شده روی یک صفحه هادی وجود دارد. شکل (۱-۱) سه روش متداول برای تحریک یک شکاف را نشان می‌دهد [۱]. در قسمت (۱-۱-الف)، شکاف توسط یک کابل کوآکسیال تحریک می‌شود<sup>۱</sup>. هادی مرکزی کابل به وسط یک ضلع شکاف و هادی بیرونی آن به وسط ضلع مقابل شکاف متصل می‌گردد. شکل (۱-۱-ب) شکافی را نشان می‌دهد که، از طریق تشدیدکننده‌ای که در پشت آن قرار دارد، تحریک می‌گردد<sup>۲</sup>. شکاف قسمت (۱-۱-ج) روی یک موجبر مستطیلی ایجاد شده است و با قطع کردن خطوط جریان سطحی روی سطح داخلی دیواره موجبر، بخشی از توان الکترومغناطیسی درون موجبر را به فضای بیرون آن منتشر می‌کند<sup>۳</sup>. این ساختار که آنتن شکاف‌دار موجبری نامیده می‌شود، یکی از انواع مهم آنتن‌های شکاف‌دار می‌باشد. شکاف‌ها را می‌توان روی انواع مختلف موجبرها ایجاد کرد، اما موجبرهای مستطیلی به دلیل سادگی تحلیل و ساختار مناسب‌تر برای ساخت آرایه‌های یک بعدی و دو بعدی، کاربرد بسیار بیشتری دارند. از شکاف روی موجبرهای استوانه‌ای نیز می‌توان برای تشعشع توان الکترومغناطیسی استفاده کرد. خصوصیات شکاف‌های طولی و شعاعی روی این موجبرها در منابع [۲]-[۳] مورد بررسی قرار گرفته است. این ساختارها به دلیل پیچیدگی تحلیل توزیع میدان‌ها و جریان‌های سطحی روی موجبرهای استوانه‌ای، به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل (۱-۱): روش‌های تغذیه شکاف روی صفحه هادی.

<sup>۱</sup> Coax-feed

<sup>۲</sup> Cavity-back feed

<sup>۳</sup> Waveguide feed

### ۳-۱ آنتن‌های شکاف‌دار موجبری

آنتن‌های شکاف‌دار موجبری به دلیل سادگی ساختار، قابلیت دست‌یابی به انواع پلاریزاسیون، مقاومت فیزیکی بالا، بازدهی مناسب، ساختار مسطح و قابلیت تشعشع توان‌های بالا، در ساخت آرایه‌های یک بعدی و دو بعدی مورد استفاده در رادارها، هواپیماها و فضاپیماها کاربرد عمده‌ای دارند. عناصر تشعشع‌کننده در آنتن‌های شکاف‌دار موجبری، در واقع بخشی از خود سیستم تغذیه که یک موجبر است، می‌باشند. این ویژگی ساختار باعث عدم نیاز به شبکه تطبیق و ساده‌تر شدن طراحی می‌گردد. معایب اصلی آنتن‌های شکاف‌دار موجبری شامل پهنای باند محدود و مشکل بودن دست‌یابی به پلاریزاسیون دوگانه<sup>۱</sup> می‌باشد. البته روش‌هایی برای دستیابی به دو پلاریزاسیون‌های متفاوت از یک ساختار وجود دارد [۴]-[۷]. به عنوان مثال، مرجع [۴] یک ساختار برای دست‌یابی پلاریزاسیون خطی افقی و عمودی از یک شکاف را ارائه می‌دهد.

### ۴-۱ معرفی سرفصل‌های پایان‌نامه

ابتدا در فصل ۲ به تحلیل و محاسبه میدان‌های راه دور یک شکاف باریک در یک صفحه زمین نامحدود می‌پردازیم. در ادامه ضمن بررسی اجمالی مشخصات و پارامترهای موجبرهای مستطیلی، با توزیع جریان سطحی و نحوه ایجاد شکاف‌های مناسب روی دیواره‌های موجبر جهت تشعشع امواج الکترومغناطیسی آشنا می‌شویم. همان‌گونه که اشاره شد، آنتن‌های شکاف‌دار موجبری قابلیت تشعشع با انواع پلاریزاسیون را دارا می‌باشند، در فصل ۳ ابتدا چند ساختار معمول برای تشعشع با پلاریزاسیون خطی از طریق موجبرهای مستطیلی معرفی و بررسی می‌گردد. این ساختارها توسط نرم افزار CST Microwave Studio شبیه‌سازی شده و خصوصیات تشعشعی آن‌ها مورد بررسی اجمالی قرار گرفته است. پلاریزاسیون دایروی در شرایطی که موقعیت نسبی آنتن‌های گیرنده و فرستنده مشخص نباشد، مانند ارتباط با ماهواره‌ها و یا ردیابی حیوانات، به کار می‌رود. با انتخاب شکاف‌هایی با ساختار پیچیده‌تر و در موقعیت مناسب روی موجبر، می‌توان از یک موجبر مستطیلی به پلاریزاسیون دایروی دست یافت. در ادامه فصل ۳، چند ساختار معمول برای تشعشع پلاریزاسیون دایروی از موجبرهای مستطیلی بررسی و تحلیل می‌گردد. با بررسی

---

<sup>۱</sup> Dual-Polarization



ویژگی‌ها و معایب این ساختارها، در فصل ۴ ساختار جدیدی برای تشعشع با پلاریزاسیون دایروی از موجبرهای مستطیلی، ارائه خواهد شد. شبیه‌سازی این ساختار در محیط نرم‌افزار CST Microwave Studio انجام و نتایج این شبیه‌سازی‌ها در پایان فصل ارائه شده است.

## فصل ۲

### آنتن‌های شکاف‌دار موجبری

#### ۱-۲ شکاف در صفحه هادی نامحدود

در این فصل ابتدا به بررسی میدان‌های تشعشعی راه دور ناشی از یک شکاف باریک روی یک صفحه زمین نامحدود می‌پردازیم. همان‌طور که در فصل قبل اشاره شد، یک شکاف باریک روی صفحه هادی را می‌توان به روش‌های مختلفی تحریک نمود. ما در این جا فرض می‌کنیم که توزیع میدان الکتریکی درون شکاف معلوم بوده و به فرم رابطه (۱-۲) می‌باشد، آن‌گاه میدان‌های راه دور ناشی از یک شکاف باریک در صفحه نامحدود را محاسبه می‌نماییم [۱]. شکل (۱-۲) یک شکاف باریک روی صفحه هادی کامل زمین شده با ابعاد نامحدود را نشان می‌دهد. فرض می‌کنیم، مؤلفه مماسی میدان الکتریکی درون این شکاف مطابق رابطه زیر باشد. مؤلفه مماسی میدان الکتریکی در یک شکاف روی دیواره‌های موجبر مستطیلی، به‌ی‌زای طول تشدید برای شکاف، با تقریب بسیار خوبی برابر با رابطه زیر می‌باشد.

$$\vec{E}_a = E_0 \cdot \cos \frac{\pi y}{2b} \hat{a}_x \quad (1-2)$$

مؤلفه مماسی میدان الکتریکی در سایر نقاط صفحه  $xy$ ، بیرون شکاف به دلیل هادی کامل بودن صفحه زمین صفر است. میدان الکتریکی ناشی از میدان درون شکاف، در هر نقطه از فضا در ناحیه  $z > 0$ ، از رابطه (۲-۲) به دست می آید [۱]:

$$\vec{E}(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{k_x=-\infty}^{\infty} \int_{k_y=-\infty}^{\infty} \vec{f}(k_x, k_y) \cdot \exp(-jk \cdot \vec{r}) dk_x dk_y \quad (2-2)$$

که تابع  $f(k_x, k_y)$  در رابطه بالا از رابطه زیر به دست می آید:

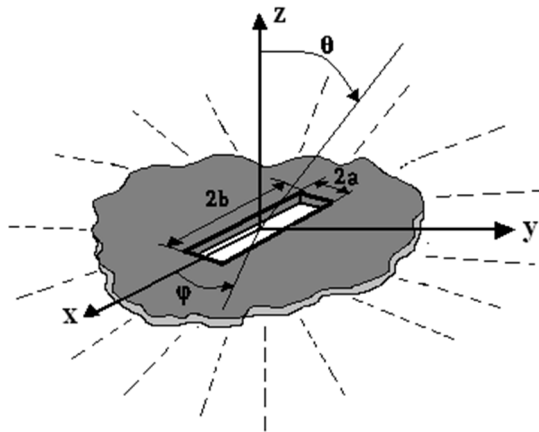
$$\vec{f}(k_x, k_y) = \int_{x=-a}^a \int_{y=-b}^b E_a(x, y) \exp(jk_x x + jk_y y) dx dy \quad (3-2)$$

$\vec{k} \cdot \vec{r}$  در رابطه (۲-۲) را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\vec{k} \cdot \vec{r} = r \sin \theta \cos \varphi k_x + r \sin \theta \sin \varphi k_y + r(k_0^2 - k_x^2 - k_y^2)^{0.5} \cos \theta \quad (4-2)$$

در ناحیه راه دور، رابطه (۲-۲) برای میدان الکتریکی به صورت زیر ساده می گردد:

$$\vec{E}(x, y, z) = jk_0 \frac{e^{-jk_0 r}}{2\pi r} [(f_y \cos \varphi - f_x \sin \varphi) \cos \theta \hat{a}_\varphi + (f_x \cos \varphi + f_y \sin \varphi) \hat{a}_\theta] \quad (5-2)$$



شکل (۲-۱): شکاف باریک روی صفحه هادی با ابعاد بی نهایت.

توابع  $f_x$  و  $f_y$  در رابطه (۵-۲)، به ترتیب مؤلفه‌های راستای  $x$  و  $y$  تابع  $f(k_x, k_y)$  می‌باشند، که به‌ایزای مقادیر زیر برای  $k_x$  و  $k_y$  محاسبه می‌شوند.

$$k_x = k_0 \cos \varphi \sin \theta \quad (۶-۲)$$

$$k_y = k_0 \sin \varphi \sin \theta \quad (۷-۲)$$

هنگامی که رابطه (۳-۲) برای میدان در یک شکاف باریک با توزیع داده شده در رابطه (۱-۲) اعمال گردد، تابع  $f(k_x, k_y)$  برابر با رابطه زیر خواهد بود:

$$f(k_x, k_y) = \left( -\frac{2\pi E_0}{b} \frac{\sin k_x a}{k_x} \frac{\cos k_y b}{k_y^2 - (\pi/2b)^2} \right) \hat{a}_x \quad (۸-۲)$$

بنابراین  $f_y$  در رابطه (۵-۲) صفر بوده و  $f_x$  با توجه به روابط (۶-۲)، (۷-۲) و (۸-۲) برابر با مقدار زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} f_x(k_x, k_y) &= f_x(k_0 \cos \varphi \sin \theta, k_0 \sin \varphi \sin \theta) \\ &= -\frac{2\pi E_0}{b} \frac{\sin(k_0 a \cos \varphi \sin \theta)}{k_0 \cos \varphi \sin \theta} \\ &\quad \times \frac{\cos(k_0 b \sin \varphi \sin \theta)}{(k_0 \sin \varphi \sin \theta)^2 - (\pi/2b)^2} \end{aligned} \quad (۹-۲)$$

با توجه به رابطه بالا و رابطه (۵-۲)، مؤلفه‌های میدان راه دور ناشی از این شکاف به صورت زیر خواهند بود:

$$\begin{aligned} E_\varphi &= j k E_0 a b \frac{e^{-j k_0 r}}{r} \sin \varphi \cos \theta \frac{\sin(k_0 a \cos \varphi \sin \theta)}{k_0 a \cos \varphi \sin \theta} \\ &\quad \times \frac{\cos(k_0 b \sin \varphi \sin \theta)}{(k_0 b \sin \varphi \sin \theta)^2 - (\pi/2)^2} \end{aligned} \quad (۱۰-۲)$$

$$\begin{aligned} E_\varphi &= -j k E_0 a b \frac{e^{-j k_0 r}}{r} \cos \varphi \frac{\sin(k_0 a \cos \varphi \sin \theta)}{k_0 a \cos \varphi \sin \theta} \\ &\quad \times \frac{\cos(k_0 b \sin \varphi \sin \theta)}{(k_0 b \sin \varphi \sin \theta)^2 - (\pi/2)^2} \end{aligned} \quad (۱۱-۲)$$