

# ارائه آنتنی با پلاریزاسیون دایروی برای tag غیرفعال سیستم RFID در باند UHF

حامد رزاقیان<sup>۱</sup>، مسعود موحدی<sup>۲</sup>، و عباسعلی حیدری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مخابرات- بخش مهندسی برق- دانشگاه شهید باهنر کرمان

<sup>۲</sup> استادیار- بخش مهندسی برق- دانشگاه شهید باهنر کرمان

<sup>۳</sup> دانشیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه یزد

movahhedi@ieeee.org

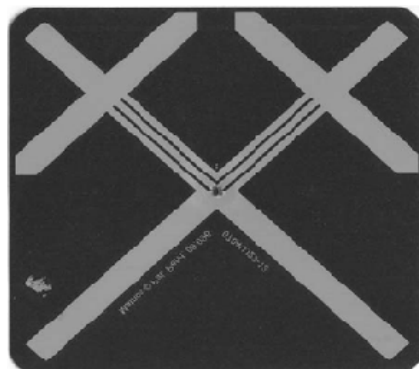
**چکیده:** در این مقاله، آنتنی با پلاریزاسیون دایروی و حداقل ابعاد جهت جبران تلفات ناشی از عدم تطبیق پلاریزاسیون بین آنتن‌های tag و reader در سیستم‌های RFID تجاری موجود و برای کار در محدوده ۸۶۸-۸۶۵ MHz ارائه می‌شود. این ساختار علاوه بر سادگی، دارای پهنای پرتو نصف توان به اندازه ۹۴°، پهنای پرتو پلاریزاسیون به اندازه ۸۰° برای  $AR \leq 2dB$  و سمت دهی در حدود ۳/۵ dBi می‌باشد. همچنین آنتن دارای تطبیق امپدانس خوبی با امپدانس microchip است. این ویژگی‌ها باعث می‌شود تا این آنتن بتواند به عنوان گزینه‌ای بسیار مناسب برای استفاده در tag سیستم RFID مطرح گردد.

## ۱- مقدمه

فناوری RFID جزء یکی از فناوری‌هایی است که عملیات جمع‌آوری اطلاعات را بدون دخالت نیروی انسانی میسر می‌سازد. ریشه‌ی اولیه این فناوری به زمان جنگ جهانی دوم و برای کاربرد نظامی تشخیص هواپیمای دوست از دشمن برمی‌گردد. بعد از جنگ جهانی دوم از این فناوری برای کاربردهایی نظیر ردیابی تجهیزات نظامی، سیستم‌های ضد سرقت از فروشگاهها (که هم اکنون نیز از آنها استفاده می‌شود) و هم چنین مدیریت حیوانات اهلی استفاده می‌گردید. امروزه با پیشرفت این تکنولوژی کاربردهایی همچون کنترل مدخل‌های ورودی/خروجی، ردیابی دام و گوشت، مدیریت اتوماتیک کتابخانه‌ها، شناسایی اشیاء، امنیت وسایل نقلیه، مدیریت ترافیک شهری و... برای آن تعریف شده است. به طور کلی، سازمان تنظیم مقررات فرکانس رادیویی در هر کشور یک محدوده فرکانسی خاصی را برای کار سیستم RFID در باند UHF در نظر می‌گیرد. برای مثال، بعضی از باندهای UHF مربوط به سیستم RFID عبارتند از: ۸۶۹-۸۶۶ MHz برای اروپا، ۹۲۸-۹۰۲ MHz برای کشورهای آمریکای شمالی و جنوبی، ۹۵۶-۹۵۰ MHz برای ژاپن و بعضی از کشورهای آسیایی و ۸۶۸-۸۶۵ MHz برای ایران. اجزای اصلی یک سیستم RFID عبارتند از tagها که به اشیاء مورد نظر متصل می‌شوند و readerها که از طریق امواج RF با tagها در ارتباط می‌باشند. tagهایی که در سیستم RFID مورد استفاده قرار می‌گیرند نه تنها باید دارای ساختاری ساده و کوچک بوده تا بتوانند با هزینه پایین تولید شوند بلکه باید در عین سادگی از لحاظ عملکرد مخابراتی نیز در سطح بالایی قرار داشته باشند. بنابراین در عملکرد کلی سیستم RFID، مهمترین بخشی که نقش اساسی ایفا می‌کند و می‌تواند محدود کننده عملکرد بهینه سیستم باشد، آنتن tag است [1]. در سیستم‌های تجاری که هم اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند، tag در اکثر موارد دارای آنتنی دوقطبی است (به دلیل سادگی، سبکی و ارزان بودن) که موج تشعشع شده از آن دارای پلاریزاسیون خطی می‌باشد. از طرفی، چون موقعیت قرار گرفتن tagها در اکثر سیستم‌ها تصادفی است لذا جهت اطمینان از برقراری ارتباط بین reader و tag، معمولاً آنتن

reader را با پلاریزاسیون دایروی انتخاب می‌کنند. اما در این بین به دلیل عدم تطبیق پلاریزاسیون دو آنتن با همدیگر، حداقل ۵۰٪ از توان امواج الکترومغناطیسی که به tag می‌رسد، در سمت tag تلف شده و جذب نخواهد شد. بنابراین می‌توان با رفع این افت توان، فاصله خواندن در سیستم را افزایش داد. بدین منظور جهت رفع این نقیصه در این مقاله ساختاری برای آنتن tag غیرفعال با پلاریزاسیون دایروی و ابعاد بهینه در باند UHF (۸۶۸-۸۶۵MHz) ارائه شده است. یکی از روش‌های ایجاد موج با پلاریزاسیون دایروی، استفاده از دو آنتن دو قطبی عمود بر هم و یا هر ساختار تشعشع کننده دیگر با پلاریزاسیون خطی است که باید این آنتن‌ها با دامنه‌های یکسان و اختلاف فاز  $90^\circ$  نسبت به یکدیگر تحریک شوند. برای ایجاد این اختلاف فاز می‌توان از یک خط انتقال  $\frac{\lambda}{4}$  و یا یک کوپلر استفاده نمود. اما به دلیل بزرگ شدن ابعاد و یا پیچیدگی مدار تحریک آنتن، این ساختارها مناسب برای آنتن tag نمی‌باشند. روش دیگر، استفاده از دو آنتن دو قطبی عمود بر هم با یک IC سه ترمیناله می‌باشد [2]. در این روش IC به گونه‌ای طراحی شده که به هر یک از ترمینالهای آن یک آنتن دو قطبی متصل می‌شود و سیگنال‌های دریافتی از هر آنتن در داخل IC و بر طبق روش معینی ترکیب می‌شوند. در این وضعیت IC توانایی عملکرد در هر دو مد پلاریزاسیون خطی و دایروی را دارد. یک نمونه از این نوع آنتن در شکل (۱) نشان داده شده است. در این حالت ساختار شامل ۴ قطب خواهد بود و به یک IC مخصوص که دارای ۳ ترمینال RF1 و RF2 و زمین می‌باشد، متصل می‌گردد. دو قطب از آنتن به ترمینال‌های RF1 و RF2، و دو قطب دیگر به ترمینال زمین IC متصل می‌شوند. چون دو آنتن دو قطبی عمود بر هم هستند، لذا می‌توانند به طور نسبتاً مستقل از هم و با کمترین تزویج کار کنند. اما در این روش، نیاز به یک IC با سه ترمینال است در حالیکه اکثر ICهای تجاری موجود برای tag دو ترمیناله هستند. آنتن حلقوی یکی از بنیادی‌ترین انواع آنتن‌ها است که موج پلاریزه شده خطی را تشعشع می‌کند. در سال‌های اخیر، به این مطلب پی برده شده است که در آنتن حلقوی اگر یک شکاف روی حلقه و در مکان مناسبی ایجاد شود می‌تواند قابلیت ایجاد موجی با پلاریزاسیون دایروی را نیز داشته باشد [3,4]. دلیل ایجاد پلاریزاسیون دایروی در این نوع آنتن توزیع جریان موج رونده است که در سرتاسر ساختار به وجود می‌آید.

در این مقاله، به علت محاسنی که استفاده از آنتن حلقوی برای ایجاد پلاریزاسیون دایروی در tag، از جمله کوچکی ابعاد بدنبال دارد، از این نوع آنتن که شامل یک حلقه اصلی تشعشعی، یک حلقه پارازیتی کوچکتر که داخل حلقه اصلی قرار دارد و یک صفحه زمین با ابعاد متناهی است، استفاده می‌شود. برای ایجاد شبکه تطبیق امپدانس جهت تطبیق آنتن پیشنهادی به امپدانس ورودی chip، از یک ساختار ساده بین دو دهانه آنتن استفاده شده است. این ساختار به دلیل سادگی مدار تحریک و اینکه با ICهای تجاری سیستم‌های RFID موجود سازگار می‌باشد در این تحقیق انتخاب گردیده است.



شکل (۱): ساختار یک آنتن دو قطبی عمود بر هم با یک IC سه ترمیناله.

## ۲- روند طراحی آنتن

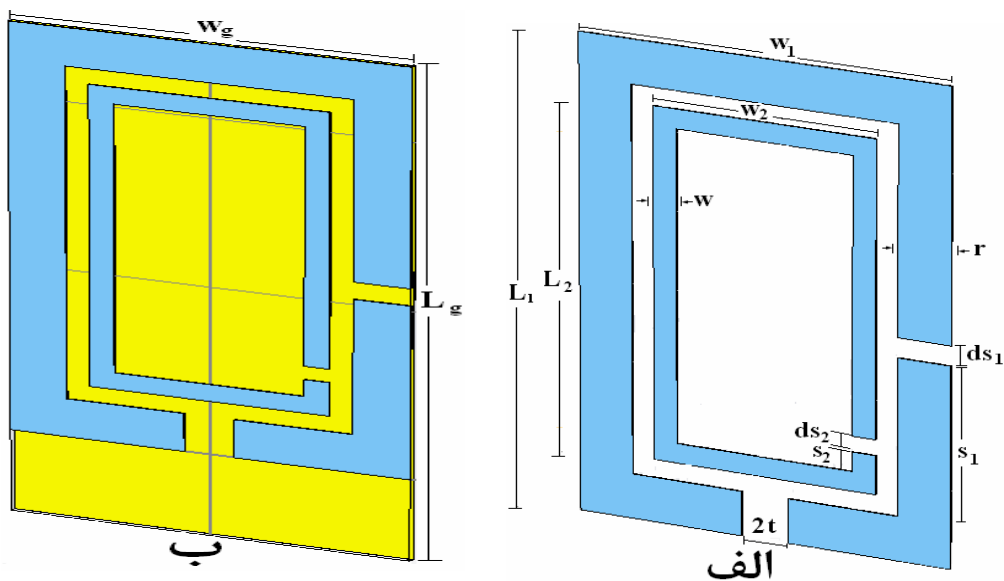
در این قسمت، فرآیندی که منجر به طراحی آنتن برای tag سیستم RFID با پلاریزاسیون دایروی در باند UHF شده است را بررسی می‌کنیم.

**الف. گام اول:** انتخاب نیمی از ساختار ارائه شده در [5] و محاسبه ابعاد آنتن جدید حول فرکانس مرکزی باند مورد نظر. در [5]، یک آنتن مستطیلی دو حلقوی که ایجاد کننده موجی با پلاریزاسیون دایروی می‌باشد، ارائه گردیده است. جهت استفاده از این آنتن برای کاربرد مورد نظر در این تحقیق، نیمی از این ساختار در نظر گرفته شده به گونه‌ای که پیکره آنتن حلقوی مستطیلی در شکل (۲-الف) نشان داده شده است. ماهیت آنتن، شامل یک حلقه مستطیل شکل اصلی  $(L_1 \times W_1)$ ، یک حلقه پارازیتی مستطیل شکل  $(L_2 \times W_2)$  و یک صفحه زمین است. از آنجاییکه ارتباط بین دو حلقه از نوع تزویج مغناطیسی است (اتصال الکتریکی مستقیمی بین دو حلقه مستطیلی وجود ندارد) باعث می‌شود تا پهنای باند و پهنای پرتو آنتن مورد نظر بهبود پیدا کند. به منظور ایجاد یک موج با پلاریزاسیون دایروی، یک شکاف کوچک روی هر یک از مستطیل‌ها ایجاد شده است. دهانه تغذیه آنتن با پهنای  $2t$  در روی حلقه اصلی قرار دارد. از آنجاییکه مدار تطبیق آنتن باید در این فاصله قرار بگیرد مقدار  $t=5 \text{ mm}$  در نظر گرفته شده است. طبق روابط ارائه شده در [5]، اندازه اولیه هر یک از اضلاع حلقه‌های مستطیلی و پهنای شکاف‌ها حول فرکانس مرکزی باند (۸۶۶/۵ MHz) محاسبه می‌شوند.

**ب. گام دوم:** اعمال صفحه زمین.

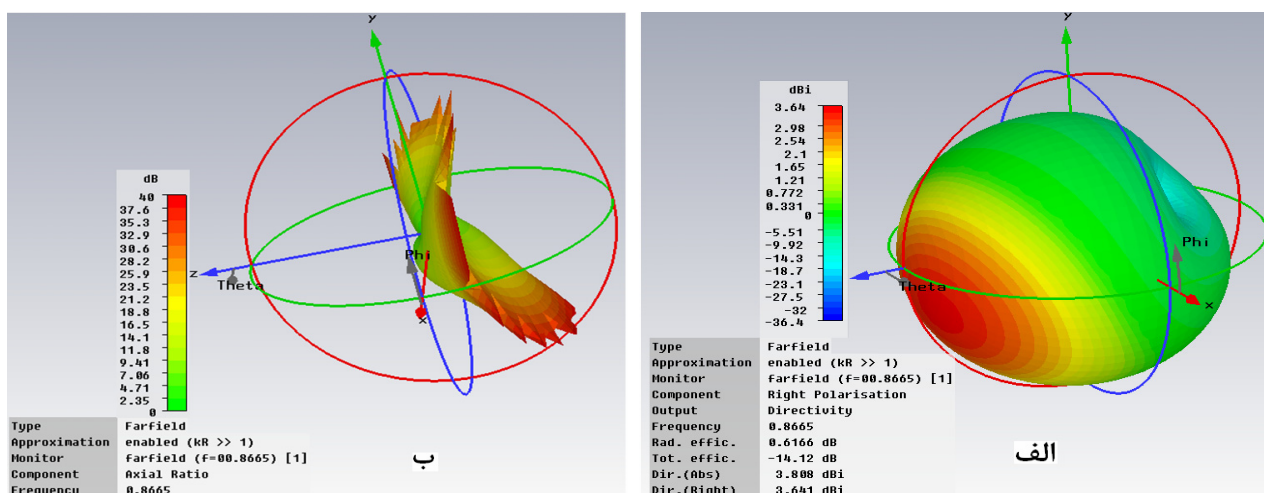
آنتن حلقوی پیشنهادی می‌بایست بالای یک صفحه فلزی مستطیل شکل  $(L_g \times W_g)$  (به عنوان صفحه زمین) قرار بگیرد. این صفحه در ارتفاع  $h$  از صفحه آنتن قرار دارد. از این صفحه جهت ایجاد تشعشع یک جهته و هم چنین در تغذیه آنتن استفاده می‌شود. در [5]، ابعاد صفحه زمین بزرگ در نظر گرفته شده و یکی از پارامترهای تاثیر گذار برای رسیدن به  $AR \leq 3 \text{ dB}$  تغییر  $h$  می‌باشد. اما در کاربرد مورد نظر ما، چون با محدودیت ابعاد آنتن tag مواجه هستیم مقدار  $h=1 \text{ mm}$  در نظر گرفته شده است. در اینجا برخلاف ساختار [5]، یکی از پارامترهای تاثیر گذار برای رسیدن به  $AR \leq 3 \text{ dB}$  ابعاد صفحه زمین می‌باشد. ساختار آنتن با صفحه زمین در شکل (۲-ب) نشان داده شده است. زیر لایه ای که در طراحی آنتن پیشنهادی استفاده شده از جنس FR4 با ضخامت  $h=1 \text{ mm}$  و  $\epsilon_r=4/7$  و  $\tan\delta=0/06$  می‌باشد که باعث پایین آمدن هزینه تولید آنتن شده و جزء یکی از محاسن ساختار پیشنهادی محسوب می‌شود. در این مرحله برای بدست آوردن مشخصات تشعشعی، ساختار موجود در شکل (۲-ب) را با استفاده از یک نرم افزار شبیه ساز میدانی (CST Microwave Studio Suite) شبیه سازی می‌نماییم. با توجه به [6]، برای تحریک ساختارهایی از نوع موج رونده (که آنتن مورد بحث نیز از آن نوع محسوب می‌شود) منبع تغذیه باید بین صفحه زمین و ساختار آنتن اعمال گردد. لذا جهت امکان تحریک درست ساختار موجود توسط chip، حفره‌ای فلزی با قطر  $d$  بین یکی از دهانه‌های تغذیه آنتن (دهانه سمت چپ) تا صفحه زمین با طولی به اندازه ضخامت لایه دی‌الکتریک ایجاد می‌گردد.

ابتدا با استفاده از مقادیر محاسبه شده از [5]، ساختار آنتن طراحی شده و مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. پارامترهایی که در بدست آوردن بهترین نسبت محوری (AR) دخیل هستند عبارتند از: مکان شکاف‌ها بر روی حلقه‌ها  $(S_1$  و  $S_2)$ ، پهنای شکاف‌ها  $(dS_1$  و  $dS_2)$  و ابعاد صفحه زمین  $(L_g \times W_g)$ . در این حالت، پلاریزاسیون آنتن دایروی راستگرد می‌باشد در صورتیکه می‌توان با تغییر محل شکاف‌ها به ضلع روبرو، پلاریزاسیون آنتن را به حالت چپگرد تغییر داد. با استفاده از شبیه‌سازی‌های متعدد صورت گرفته، بهترین مقادیر برای این پارامترها به صورت  $L_g=146 \text{ mm}$ ،  $W_g=80/1 \text{ mm}$ ،  $dS_1=5/1 \text{ mm}$ ،  $dS_2=4 \text{ mm}$ ،  $S_1=40/3 \text{ mm}$ ،  $S_2=5 \text{ mm}$  بدست آمده است. به منظور اینکه نسبت محوری در باند مورد نظر ما به مقدار مطلوب برسد، با استفاده از شبیه‌سازی ابعاد حلقه‌های مستطیلی به صورت  $w=5 \text{ mm}$ ،  $r=11/4 \text{ mm}$ ،  $L_1=122 \text{ mm}$ ،  $W_1=80/2 \text{ mm}$ ،  $L_2=90 \text{ mm}$ ،  $W_2=48 \text{ mm}$  حاصل شده است.

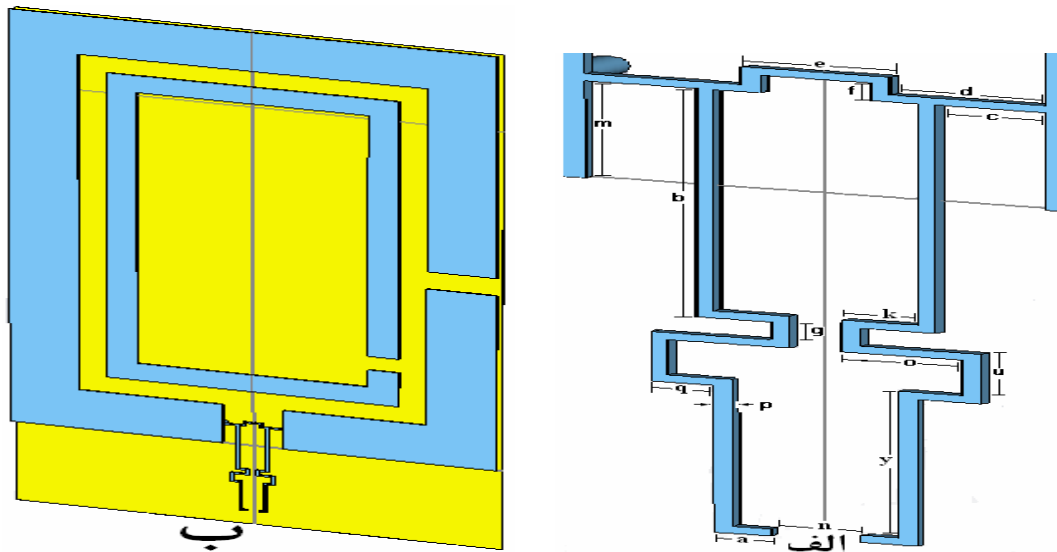


شکل (۲): الف) ساختار آنتن حلقوی مستطیل شکل پیشنهادی. ب) ساختار کلی آنتن با صفحه زمین.

با این ابعاد فرکانس رزونانس ساختار هم به محدوده فرکانسی مورد نظر نزدیک می‌شود. الگوی تشعشعی آنتن و هم چنین الگوی مربوط به پلاریزاسیون در شکل (۳) نشان داده شده است. همانگونه که از شکل (۳-الف) پیداست این ساختار دارای الگوی تشعشعی نسبتاً پهن با پهنای پرتو نصف توان در حدود  $94^\circ$  است که نسبت به آنتن‌های دو قطبی رایج در این باند خیلی بیشتر است. همچنین شکل (۳-ب) عملکرد بسیار مناسب آنتن در ایجاد امواج الکترومغناطیس با پلاریزاسیون دایروی در محدوده وسیعی از مقابل آنتن به صورتیکه پهنای پرتو پلاریزاسیون برای  $AR \leq 3$  dB در حدود  $80^\circ$  حاصل شده است را نشان می‌دهد. در این طراحی سعی شده است تا در نیم صفحه جلویی آنتن ( $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ) کمترین مقدار AR وجود داشته باشد. این دو ویژگی بارز باعث می‌شود تا این آنتن برای کاربرد در tag سیستم RFID بسیار مناسب باشد.



شکل (۳): الف) الگوی سه بعدی تشعشعی سمت دهی راستگرد آنتن. ب) الگوی سه بعدی AR آنتن.



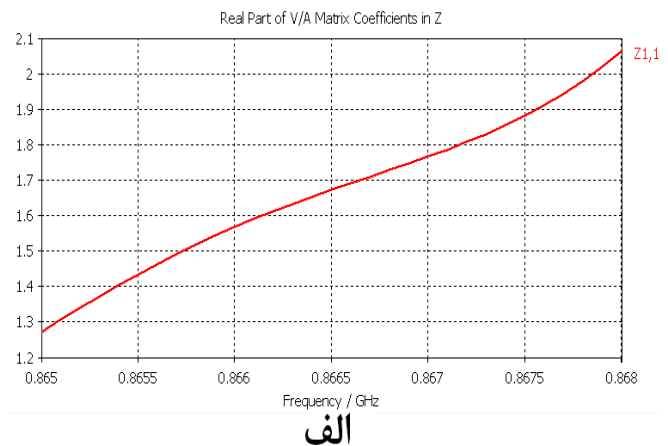
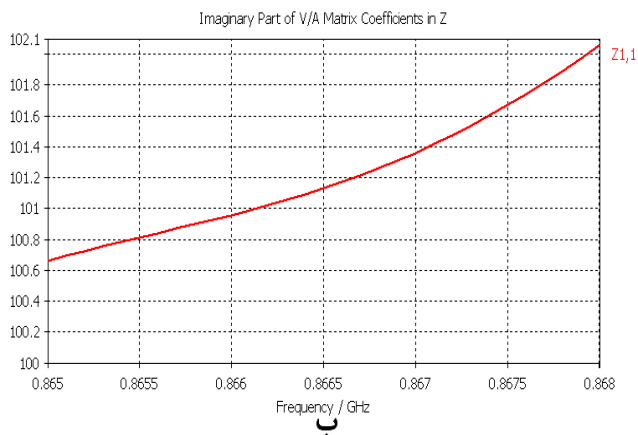
شکل (۴): الف) مدار تطبیق امپدانسی آنتن. ( $q=1/4 \text{ mm}$ ,  $y=8/3 \text{ mm}$ ,  $n=2 \text{ mm}$ ,  $c=2/4 \text{ mm}$ ,  $m=5/5 \text{ mm}$ ,  $b=12/9 \text{ mm}$ ,  $a=1/2 \text{ mm}$ ,  $f=1 \text{ mm}$ ,  $e=3/2 \text{ mm}$ ,  $k=1/6 \text{ mm}$ ,  $g=1 \text{ mm}$ ,  $o=2/6 \text{ mm}$ ,  $u=2/4 \text{ mm}$ ,  $d=3/4 \text{ mm}$ ,  $y=7/9 \text{ mm}$ ) ب) طرح کلی آنتن tag به همراه مدار تطبیق امپدانسی.

#### ج. گام سوم: طراحی مدار تطبیق امپدانسی.

به دلیل اینکه طبقه ورودی microchip های tag مورد استفاده در باند UHF یک مدار یکسو ساز می باشد، لذا امپدانس ورودی microchip عمدتاً به صورت  $R-jX$  است. با توجه به بحث تطبیق امپدانس، برای اینکه ماکزیمم توان از آنتن به microchip منتقل گردد باید امپدانس آنتن به صورت  $R+jX$  انتخاب گردد. برای ایجاد امپدانس با این ویژگی برای آنتن، نمی توان از مدارات تطبیق با المان های فشرده استفاده کرد؛ زیرا المان های فشرده (مثل سلف و خازن و...) در فرکانس های بالا دارای ابعاد بسیار کوچکی خواهند بود. لذا پیچیدگی طراحی مدارات آنها و بالا بودن قیمت این المانها، باعث می شود از این راهکار برای ایجاد تطبیق امپدانس نتوان استفاده نمود. لذا راه حل مناسب برای رفع این مشکل استفاده از تکنیک ها و مدارهای گسترده برای ایجاد تطبیق امپدانس در فرکانس های بالا است. معمولاً برای این کار از سه تکنیک مختلف که در مرجع [7] به آنها اشاره شده استفاده می شود. در این مقاله از تلفیق تکنیک های T-match اصلاح شده و Meandering برای ایجاد تطبیق امپدانس بهره گرفته شده است. امپدانس ورودی microchip استفاده شده برابر  $Z_{chip} = 1/6 - j10/2 \Omega$  می باشد. ساختار مدار تطبیق امپدانس در شکل (۴-الف) و طرح کلی آنتن مورد نظر در شکل (۴-ب) ارائه گردیده به گونه ای که ابعاد مدار تطبیق نیز در زیرنویس این شکل مشخص شده است.

#### د. گام چهارم: بهینه سازی نهایی.

با اتصال مدار تطبیق به محل تغذیه آنتن، و با بهینه سازی مناسب پهنا و ابعاد مدار تطبیق (شکل ۴-الف) و هم چنین قطر حفره فلزی، مشخصه تغییرات امپدانس ورودی مدار تطبیق متصل به آنتن در باند UHF مانند شکل (۵) خواهد بود که حاکی از وضعیت خوب تطبیق امپدانس حول امپدانس ورودی microchip در باند UHF است. در بهینه سازی نهایی ساختار به این نکته پی برده شد، برای اینکه هم الگوی پلاریزاسیون و هم تطبیق امپدانس در بهترین حالت ممکن قرار گیرد باید قطر حفره فلزی  $d=0/5 \text{ mm}$  و به فاصله  $0/2 \text{ mm}$  از لبه دهانه تغذیه و در ارتفاع  $r/2$  از لبه پایین آنتن



شکل (۵): الف) مشخصه تغییرات قسمت حقیقی امپدانس آنتن در باند UHF. ب) مشخصه تغییرات قسمت موهومی امپدانس آنتن در باند UHF.

انتخاب شود. بعد از بهینه سازی، مقدار سمت دهی آنتن مورد نظر حدود  $3/5$  dBi بدست آمد که این مقدار بیش از سمت دهی آنتن های دوقطبی tagهای تجاری می باشد.

### ۳- نتیجه گیری

در این مقاله، یک آنتن با پلاریزاسیون دایروی برای tag غیرفعال سیستم RFID در باند UHF ارائه شده است. ما روند مناسب برای رسیدن به بهترین نسبت محوری را مورد بحث قرار دادیم. نتایج شبیه سازی حکایت از وضعیت خوب پلاریزاسیون در باند UHF دارد. در این ساختار در جهتی که ماکزیمم سمت دهی اتفاق می افتد مقدار نسبت محوری dB  $1/65$  می باشد. بنابراین با جبران افت ناشی از عدم تطبیق پلاریزاسیون بین آنتن reader و آنتن tag فاصله خواندن در سیستم می تواند افزایش چشمگیری پیدا کند.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می دانند از مرکز تحقیقات مخابرات ایران که این پروژه را مورد حمایت قرار داده است تقدیر و تشکر نمایند.

### مراجع

- [1] K. V. Rao, P. V. Nikitin, S. F. Lam, "Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application", *Antennas and propagation*, vol. 53, no. 12, pp. 3870-3876, 2005.
- [2] P. V. Nikitin and K. V. S. Rao, "Performance of RFID tags with multiple RF ports," in *Proc. 2007 IEEE International Symposium Antennas and Propagation*, pp. 5459-5462, 2007.
- [3] H. Morishita and K. Hirasawa, "Wideband circularly-polarized loop antenna", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1286-1289, 1994.

- [4] M. Sumi, K. Hirasawa, and S. Shi, "Two rectangular loops fed in series for broadband circular polarization and impedance matching," *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, vol. 52, no. 2, pp. 551-554, 2004.
- [5] R. Li, J. Laskar, and M. M. Tentzeris, "Broadband circularly polarized rectangular loop antenna with impedance matching," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 16, no. 1, 2006.
- [6] C. A. Balanis, "*Antenna Theory: Analysis and design*," 3<sup>th</sup> ed., J. Wiley & Sons Inc., pp. 549-566, 2005.
- [7] G. Marrocco, "The art of UHF RFID antenna design: impedance matching and size-reduction techniques," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, no. 1, pp. 67-79, 2008.