

# طراحی یک آنتن مسطح تک قطبی نوین برای کاربردهای UWB با مشخصه فیلترینگ دوبانده و ارزیابی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

یاشار زهفروش<sup>۱</sup>، استادیار؛ مهدی سفیدی<sup>۲</sup>، مربی؛ علی شادمند<sup>۳</sup>، مربی

۱- گروه برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران – y.zehforoosh@srbiau.ac.ir

۲- گروه برق، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران – mehdi\_sefidi@yahoo.com

۳- گروه برق، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران – shadmand.ali@gmail.com

**چکیده:** در این مقاله، یک آنتن تک قطبی کوچک مسطح برای کاربردهای فرایه‌پهن باند (UWB) شامل مکانیسم فیلترینگ دوبانده ارائه شده است. فیلترینگ دوبانده با استفاده از یک شکاف V شکل وارونه و دو نوار باریک L شکل که در دو سمت پیچ تشعشعی قرار دارد ایجاد شده است. باندهای فیلترشده شامل باند مربوط به سیستم WiMAX (۳/۳ تا ۳/۶ گیگاهرتز) و سیستم WLAN (۵/۱۵ تا ۵/۸۵ گیگاهرتز) می‌باشند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تست آزمایشگاهی نشان می‌دهد که آنتن ارائه‌شده در باند فرکانسی ۲/۱۴ تا ۱۱ گیگاهرتز (۱۳۵٪) عمل می‌نماید. آنتن ارائه‌شده ابعاد ۲۴×۲۸×۱/۶ میلی‌متر مکعب را دارا می‌باشد. همچنین آنتن معرفی‌شده با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP که یک روش تصمیم‌گیری چندگانه است با آنتن‌های ارائه‌شده در مقالات اخیر مقایسه شده و ارزیابی می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آنتن تک قطبی، سیستم فرایه‌پهن باند، WLAN، WiMAX، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP

## Design of a Novel Planar Monopole Antenna for UWB Applications with Dual Band Notch Characteristic and Evaluating Using Analytical Hierarchy Process

Yashar Zehforoosh<sup>1</sup>, Assistant Professor; Mehdi Sefidi<sup>2</sup>, Instructor; Ali Shadmand<sup>3</sup>, Instructor

1- Department of Electrical Engineering, Urmia branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran, Email: y.zehforoosh@srbiau.ac.ir

2- Department of Electrical Engineering, Miandoab branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran, Email: mehdi\_sefidi@yahoo.com

3- Department of Electrical Engineering, Miandoab branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran, Email: shadmand.ali@gmail.com

**Abstract** In this article, a novel compact planar ultra-wideband (UWB) monopole antenna with dual band-notched characteristics is proposed. Two notched frequency bands are achieved by using a novel inverted V-shaped stub and a pair of novel L-shaped parasitic strips around the radiation patch. Two notched frequency bands are obtained in the WiMAX (3.3-3.6 GHz) and WLAN (5.15-5.85 GHz). Simulated and measured results show that proposed antenna could operate from 2.14 to 11 GHz (135%), defined by voltage standing wave ratio  $VSWR < 2$ . The proposed antenna has a small size of  $24 \times 28 \times 1.6 \text{ mm}^3$  and the prototype of the antenna is simulated and fabricated and tested. In addition, proposed antenna is evaluated and compared with antennas presented in recent papers, using analytical hierarchy process, which is a multi-criteria decision-making method.

**Keywords:** Monopole antenna, Ultra wideband system, WLAN, WiMAX, analytical hierarchy process.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

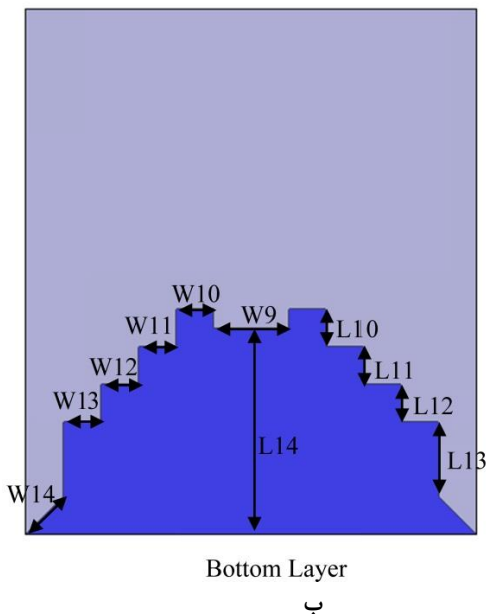
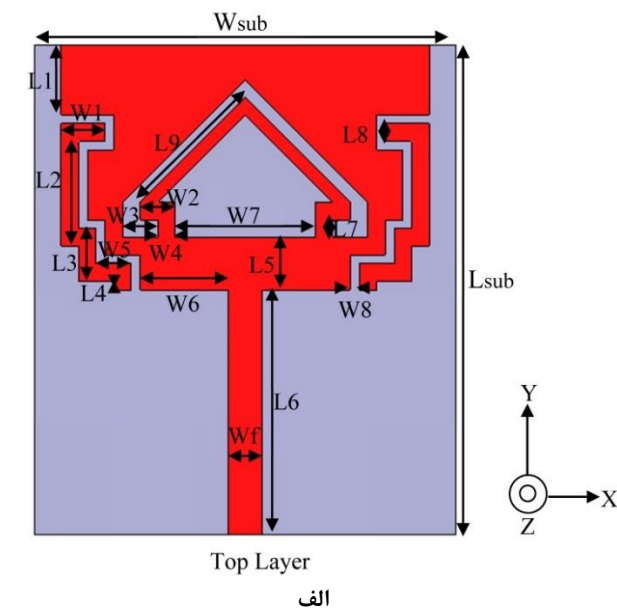
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۱۱

نام نویسنده مسئول: یاشار زهفروش

نشانی نویسنده مسئول: ایران - ارومیه - بلوار فرودگاه - دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

## ۱- مقدمه

تشعشی واقع شده است. همچنین شکاف V شکل و نوارهای باریک L شکل واقع در طرفین پچ تشعشی در شکل ۱ دیده می شوند.



شکل ۱: هندسه آنتن شبیه سازی شده و ابعاد مربوط به آن (الف) پچ تشعشی آنتن (ب) لایه زمین آنتن

تأثیر تغییرات پارامتر مهم فاصله (gap) فضایی بین پچ تشعشی و لایه زمین آنتن که به صورت  $L_6 - L_{14}$  تعریف می شود بر روی نمودار نسبت موج ساکن ولتاژ  $VS_{WR}$  در شکل ۲ دیده می شود. با توجه به شکل ۲ برای تطبیق امپدانس مناسب این مقدار برابر ۲ میلی متر در نظر گرفته شده است. نقش و عملکرد شکاف V شکل و نوارهای باریک L شکل واقع در طرفین پچ تشعشی را می توان در شکل ۳ مشاهده نمود.

از سال ۲۰۰۲ که کمیسیون ارتباطات فدرال امریکا FCC<sup>۱</sup> قوانین مربوط به استفاده از باند فرکانسی ۳/۱ تا ۱۰/۶ گیگاهرتز را برای استفاده در سیستم فرایهین باند UWB<sup>۲</sup> تصویب کرد [۱] مجال جدیدی برای مهندسان و طراحان آنتن به وجود آمد که بتوانند توانایی ها و استعدادشان را در ارائه ساختارها و طرح های مختلف نشان دهند. در این بین آنتن های مسطح ریزنوار<sup>۳</sup> به عنوان بهترین کاندید برای استفاده در سیستم UWB معرفی شده اند. در سال های اخیر آنتن های ریزنوار مختلفی بر روی زیرلایه های ارزان قیمت معرفی شده اند که همگی دارای ابعاد بسیار کوچک بوده اند [۴-۲].

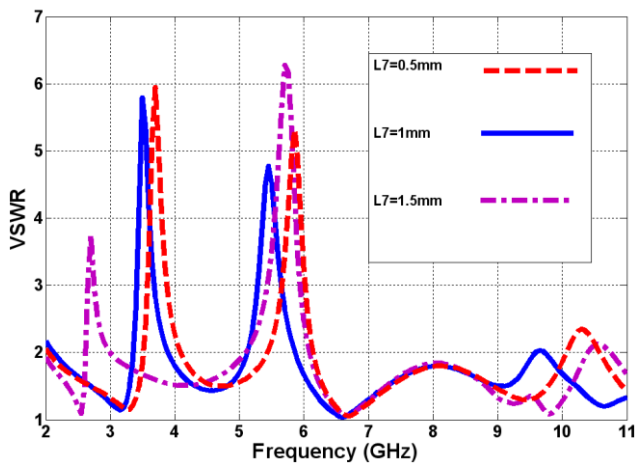
اما به علت بسیار پهن بودن باند مورد استفاده در سیستم UWB این سیستم با باند دیگر سیستم ها نظیر WLAN<sup>۴</sup> و WiMAX<sup>۵</sup> تداخل می نماید. این مورد می تواند یکی از معایب این سیستم باشد که می بایست به وسیله یک مکانیسم فیلترینگ که باعث عدم تداخل باندهای فرکانسی می شود جبران شود. یک ایده برای پیاده سازی این مکانیسم فیلترینگ استفاده از روش هایی است که بر روی ساختار آنتن ریزنوار اعمال می شود. روش های گوناگونی برای فیلتر کردن باندهای تداخلگر در مقالات مختلف در سال های اخیر معرفی شده است [۸-۵]. این روش ها شامل استفاده از عناصر پارازیتی [۵]، برش هایی با اشکال مختلف [۸]، اضافه کردن رزوناتورهای امپدانس پله ای [۹]، اضافه کردن نوارهای T شکل [۱۰]، استفاده از ساختارهای EBG [۱۱] و نیز افزودن عناصر U شکل [۱۲] می باشد.

در این مقاله یک آنتن ریزنوار مسطح کوچک برای کاربردهای UWB ارائه شده است که شامل مکانیسم جدیدی برای فیلتر کردن باندهای فرکانسی مربوط به WLAN و WiMAX می باشد. به منظور فیلتر کردن باندهای تداخلگر از یک شکاف V شکل و دو نوار باریک L شکل پارازیتی در دو کنار پچ تشعشی استفاده شده است. با استفاده از این عناصر باندهای ۳/۵ و ۵/۵ گیگاهرتز حذف می شوند. در بخش های بعد نتایج حاصل از شبیه سازی ها توسط نرم افزار HFSS<sup>۶</sup> بررسی و بحث می شود. همچنین جهت مشخص کردن مزیت های ساختار جدید معرفی شده در این مقاله به آنتن های ارائه شده در کارهای قبلی و نیز ارزیابی آن از یک روش تصمیم گیری چند متغیره<sup>۷</sup> بنام فرایند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۸</sup> استفاده شده است. جدول ها و نمودارهای مربوطه در بخش ۴ ارائه شده است.

## ۲- طراحی آنتن

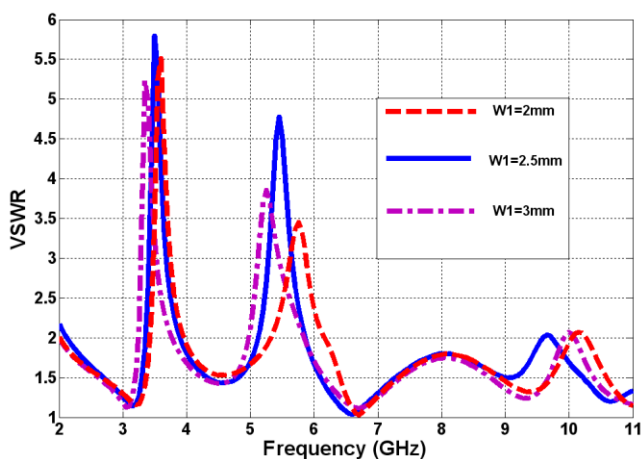
شکل ۱ هندسه آنتن تک قطبی پیشنهادی را ارائه می دهد. این آنتن دارای ابعاد کوچک  $۱/۶ \times ۲۸ \times ۲۴$  میلی متر مکعب می باشد که بر روی یک زیرلایه ارزان قیمت از جنس FR4 می باشد پیاده سازی شده است. مشخصات زیرلایه FR4 شامل ثابت دی الکتریک ۴/۴ و تانژانت تلفات ۰/۰۲ می باشد. عرض خط تغذیه آنتن مسطح تک قطبی که بر روی  $\Omega$  ۵۰ طراحی شده برابر ۲ میلی متر می باشد که مابین پورت تغذیه و پچ

در ادامه به بررسی اثرات برخی از مهم‌ترین این پارامترها می‌پردازیم. شکل ۴ اثرات تغییر اندازه پارامتر  $L7$  مربوط به شکاف  $V$  شکل را بر روی نمودار  $VSWR$  نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ پارامتر  $L7$  را می‌توان به عنوان یک پارامتر مؤثر در تنظیم باند حذفی WiMAX در نظر گرفت و با انتخاب مقدار مناسب دقت بالا در حذف باند تداخلگر را تضمین نمود.



شکل ۴: نمودارهای  $VSWR$  آنتن با اندازه‌های مختلف پارامتر  $L7$

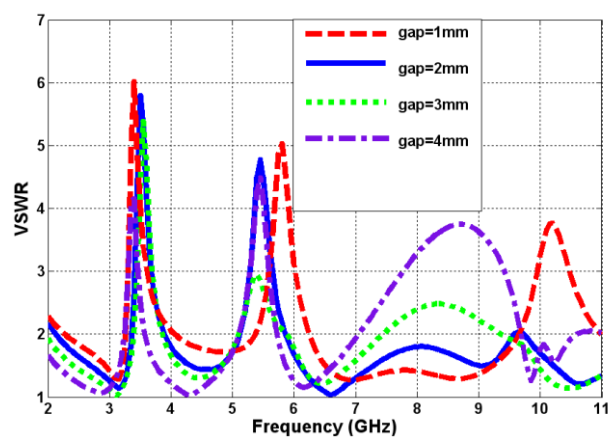
اثرات تغییر اندازه پارامتر  $W1$  مربوط به نوارهای پرازیتی باریک  $L$  شکل را بر روی نمودار  $VSWR$  در شکل ۵ آورده شده است. با عنایت به شکل ۵ مشهود است که تغییرات پارامتر  $W1$  تنها میزان نسبت موج ساکن را در فرکانس‌های نزدیک به باند حذفی دوم یعنی باند مربوط به سیستم WLAN تغییر داده و در بقیه باند فرکانسی تأثیر چندانی ندارد. همچنین با انتخاب مقادیر بزرگ‌تر برای پارامتر  $W1$  باند حذفی به سمت فرکانس‌های پایین‌تر کشیده می‌شود.



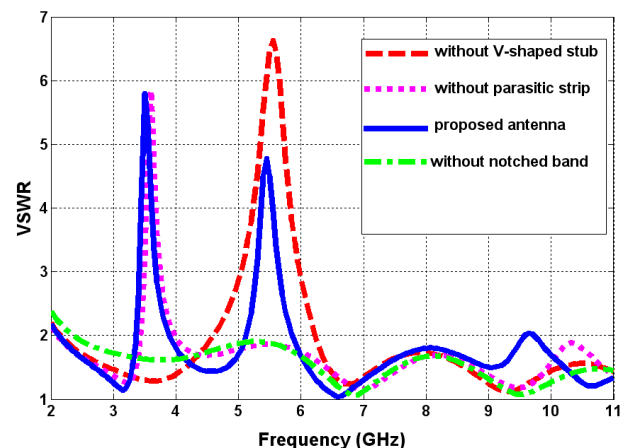
شکل ۵: نمودارهای  $VSWR$  آنتن با اندازه‌های مختلف پارامتر  $W1$

شکل ۶ نمودار توزیع جریان سطحی را برای دو فرکانس  $3/5$  و  $5/5$  گیگاهرتز نشان می‌دهد. در شکل ۶ - الف عدم همسویی جریان‌ها در دو سمت شکاف  $V$  شکل در فرکانس  $3/5$  گیگاهرتز به وضوح دیده می‌شود.

شکل ۳ شامل نمودار  $VSWR$  برای آنتن ارائه شده در حالات بدون شکاف  $V$  شکل، بدون نوارهای  $L$  شکل، بدون هیچ عامل فیلترینگی و آنتن کامل شامل شکاف  $V$  شکل و نوارهای باریک  $L$  شکل می‌باشد. مشاهده می‌شود که برش  $V$  شکل باعث حذف باند مربوط به سیستم WiMAX ( $3/3-3/6$  گیگاهرتز) می‌شود و نیز اضافه کردن نوارهای پرازیتی باریک  $L$  شکل در دو سوی پچ تشعشعی باعث حذف باند مربوط سیستم WLAN ( $5/15-5/18$  گیگاهرتز) می‌گردد. همچنین دیده می‌شود که در حالت بدون عوامل فیلتر کردن در تمامی بازه فرکانسی  $2/2$  تا  $11$  گیگاهرتز نمودار نسبت موج ساکن زیر معیار  $VSWR < 2$  قرار دارد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مکانیسم‌های حذف باند جدید معرفی شده در این مقاله یعنی اضافه کردن نوارهای باریک  $L$  شکل به کناره‌های پچ تشعشعی و نیز برش  $V$  شکل بر روی پچ است. باید متذکر شد که با مقایسه نمودارهای  $VSWR$  ارائه شده در شکل ۳ برای حالات آنتن بدون عناصر حذف باندهای تداخلگر و آنتن شامل عناصر حذف باند مشاهده می‌شود که اضافه شدن این عناصر تأثیری در میزان  $VSWR$  در فرکانس‌های غیر از باند حذفی ندارند که این خود نشانگر دقت فیلترهای طراحی شده است. با توجه به ساختار آنتن ارائه شده در شکل ۱ می‌توان دید که پارامترهای زیادی در شکل دهی به این ساختار نقش داشته‌اند.



شکل ۶: نمودارهای  $VSWR$  آنتن با اندازه‌های مختلف (gap)



شکل ۳: نمودارهای  $VSWR$  آنتن با شکاف  $V$  شکل و نوارهای باریک  $L$  شکل و با هر کدام از آن‌ها به تنهایی و بدون هیچ کدام از آن دو

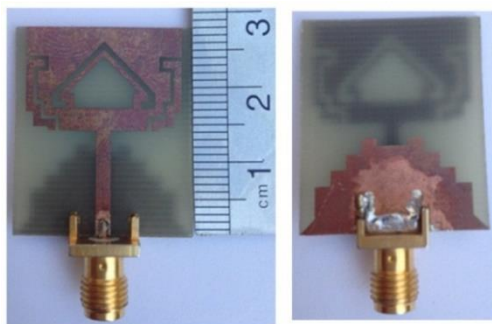
مقادیر نهایی پارامترهای آنتن معرفی شده در شکل ۱ در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: اندازه‌های پارامترهای آنتن ارائه شده (میلی‌متر)

$W_{sub}=24$	$L_{sub}=28$	$W_1=2.5$
$W_2=2$	$W_3=2$	$W_4=1$
$W_5=2$	$W_6=5$	$W_7=8$
$W_8=0.5$	$W_9=4$	$W_{10}=2$
$W_{11}=2$	$W_{12}=2$	$W_{13}=2$
$W_{14}=2.8$	$L_1=4$	$L_2=6$
$L_3=3$	$L_4=0.5$	$L_5=3$
$L_6=14$	$L_7=1$	$L_8=1$
$L_9=8.5$	$L_{10}=2$	$L_{11}=2$
$L_{12}=2$	$L_{13}=4$	$L_{14}=11$

### ۳- نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

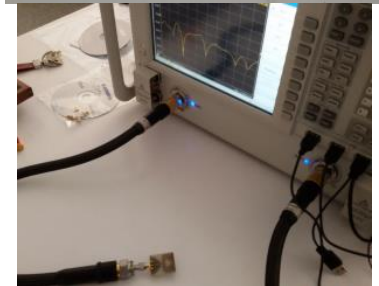
تصویر آنتن ساخته شده در شکل ۷ نشان داده شده است. آنتن بر روی زیرپایه FR4 با ابعاد  $24 \times 28 \times 1.6$  میلی‌متر مکعب پیاده‌سازی شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی آنتن که با استفاده از نرم‌افزار HFSS انجام شده است [۱۳] و نیز نتایج حاصل از اندازه‌گیری با دستگاه تحلیلی شبکه (KEYSIGHT-PNA-X-N5242A) صورت گرفته و در شکل ۸ نمایش داده شده است.



Top Layer

Bottom Layer

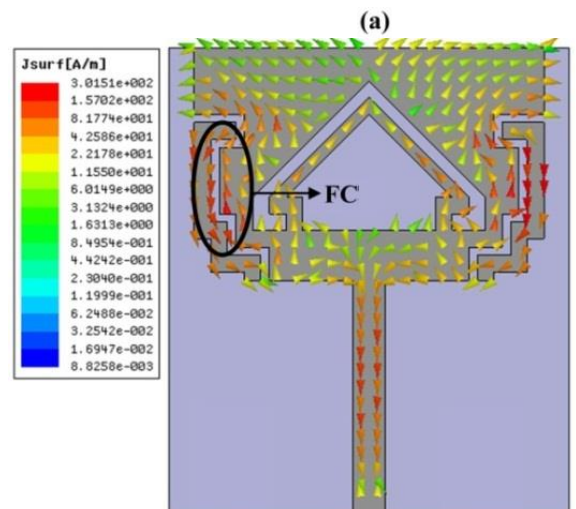
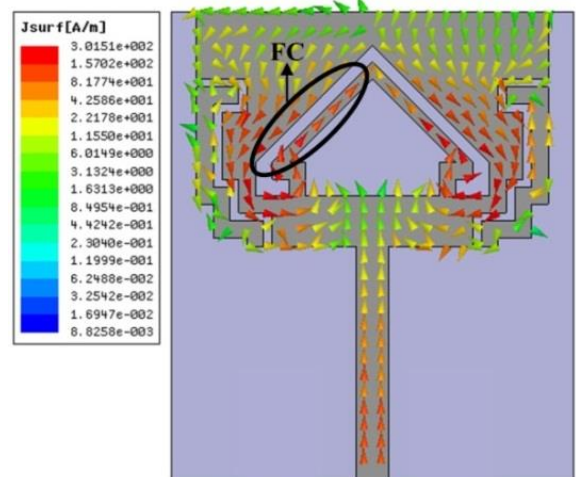
(الف)



(ب)

شکل ۷: تصویر آنتن ساخته شده (ب) آنتن حین اندازه‌گیری

مشابه این حالت در فرکانس ۵/۵ گیگاهرتز در شکل ۶ - ب نمایش داده شده است که سوی جریان‌ها در لبه داخلی نوار L شکل با جریان لبه بیرونی پج تشعشعی مخالف است. تشعشع آنتن در این فرکانس‌ها با توجه به نمودارهای شکل ۳ و ۶ حداقل می‌باشد.



(ب)

شکل ۶: توزیع جریان سطحی در آنتن مورد نظر (الف) در فرکانس ۳/۵ گیگاهرتز (ب) در فرکانس ۵/۵ گیگاهرتز

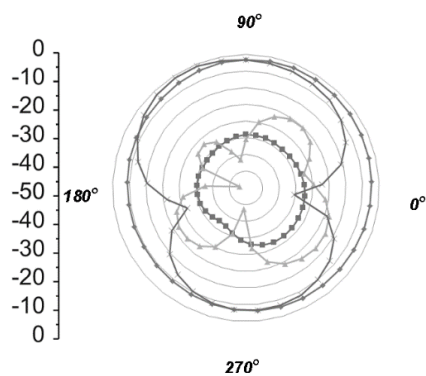
طول شکاف V شکل (Stub) و طول نوار L شکل (Strip) با توجه به روابط زیر محاسبه می‌شود [۱۳]:

$$L_{stub} = 2 \times (L_9 + L_7 + W_2) \sim \frac{\lambda_{WMAX}}{2} \sim \frac{C}{2f_{notch} \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

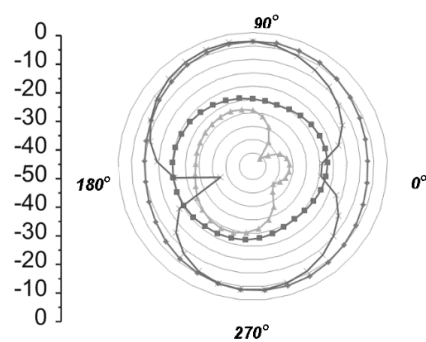
$$L_{strip} = (W_1 + W_5 + L_2 + L_3 + L_4) \sim \frac{\lambda_{WLAN}}{2} \sim \frac{C}{2f_{notch} \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

$$\epsilon_{eff} \sim \frac{1 + \epsilon_r}{2} \quad (3)$$

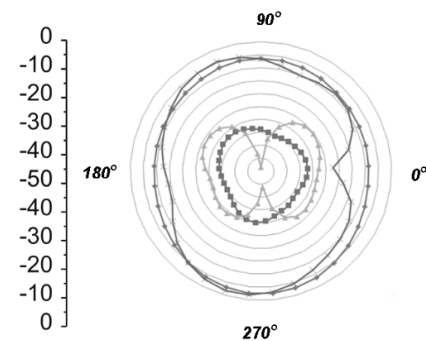
که در روابط فوق  $\epsilon_{eff}$  ثابت دی‌الکتریک مؤثر و C سرعت نور می‌باشد.



4.3 GHz



6.5 GHz



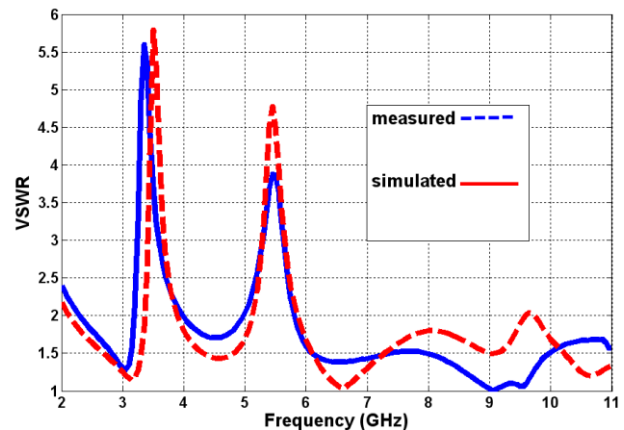
9 GHz

E-plane (—x— co, —■— cross)  
H-plane (—◆— co, —▲— cross)

شکل ۱۰: نمودارهای الگوی تشعشعی آنتن در فرکانسهای الف) ۹ گیگاهرتز (ب) ۶/۵ گیگاهرتز (ج) ۹ گیگاهرتز

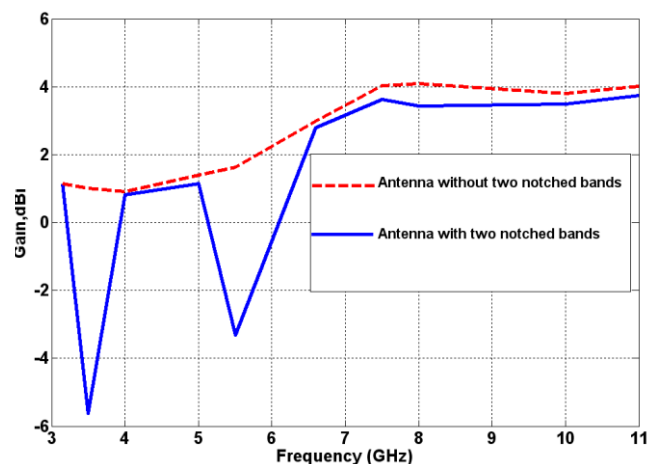
#### ۴- ارزیابی و مقایسه آنتن با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی

با توجه به گستردگی روشهای طراحی آنتنهای تک قطبی و نیز روشهای گوناگون افزایش پهنای باند این دست از آنتنهای، همچنین ساختارهای ایجاد مکانیسم حذف و فیلترینگ باندهای فرکانسی تداخلگر که در سالهای اخیر در مقالات مختلف ارائه شده است، مقایسه و اولویت



شکل ۸: نمودارهای VSWR آنتن شبیه سازی شده و ساخته شده

مطابقت خوب نتایج حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری نشان دهنده دقت و صحت شبیه سازیها می باشد. همچنین شکل ۸ بازه فرکانسی کاری نهایی آنتن ارائه شده را مشخص می نماید که برابر است با ۲/۳ تا ۱۱ گیگاهرتز که باندهای فرکانسی ۳/۱۵ تا ۴ گیگاهرتز و ۵ تا ۵/۸۵ از آن حذف شده است که شامل باندهای مربوط به سیستمهای WiMAX و WLAN است. شکل ۹ نمودار بهره را برای آنتن شامل المانهای فیلترینگ و فاقد این المانها نمایش می دهد. طبق شکل ۹ بهره آنتن در باند فرکانسی کاری به غیر از باندهای فرکانسی فیلتر شده مناسب می باشد و تغییرات بهره در کل باند فرکانسی کمتر از ۲/۵ دسی بل می باشد.



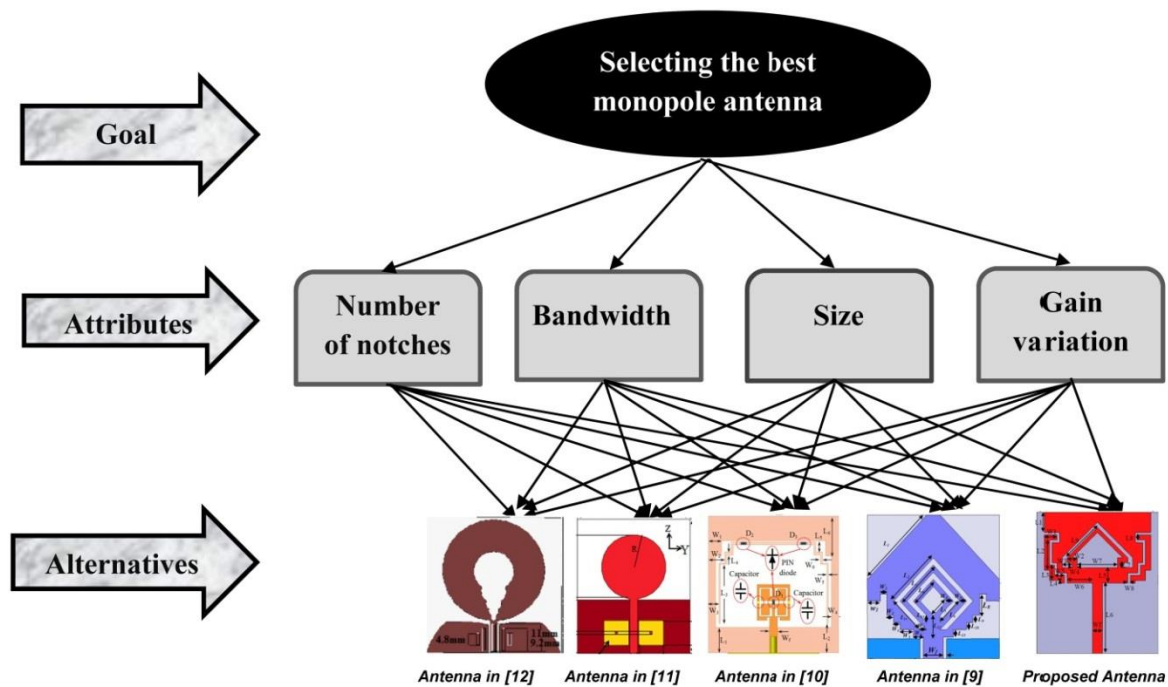
شکل ۹: نمودار شبیه سازی بهره آنتن در باند فرکانسی کاری

الگوی تشعشعی یکی از مشخصه های یک آنتن است که می تواند کاربرد و عملکرد یک آنتن را آشکار سازد. شکل ۱۰ الگوی تشعشعی آنتن نمایش داده شده در شکل ۷ را در سه فرکانس مختلف ۴/۳، ۶/۵ و ۹ گیگاهرتز نشان می دهد. الگوهای تشعشعی در دو صفحه X-Z و X-Y نمایش داده شده است که همه جهت بودن الگوی تشعشعی را به وضوح نمایان می نماید.



ساده، هوشمندانه و قوی که در مواردی که ناچار به تصمیم‌گیری و گزینش بر اساس معیارهای متفاوت و بعضاً متضاد بین گزینه‌های مختلف هستیم، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش زیرمجموعه تصمیم‌گیری چند معیاری است که ابتدا در سال ۱۹۸۰ به وسیله توماس ال ساعتی پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است [۱۵]. انتخاب معیارها بخش اول تجزیه و تحلیل AHP است. سپس بر اساس معیارهای مشخص شده کاندیداها یا گزینه‌های مختلف ارزیابی می‌شوند. در این روش مقایسه و ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف با توجه به هدف و تعیین وزن نسبی این معیارها انجام می‌شود. نهایتاً با جمع‌آوری داده‌ها در ارتباط با تمامی معیارها و به تفکیک هر یک از گزینه‌ها مقایسه زوجی گزینه‌های مختلف صورت می‌گیرد. تحلیل نتایج و تعیین اولویت هر یک از گزینه‌ها یکی از مهم‌ترین کاربردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی در تصمیم‌گیری گروهی می‌باشد.

دادن این روش‌ها و مکانیسم‌ها بر یکدیگر ضروری به نظر می‌رسد. جهت شفاف‌سازی و بیشتر مشخص کردن نوآوری‌های ارائه شده در مقالات معمولاً از جدول‌ها مقایسه و نیز بحث‌های بعضاً طولانی استفاده می‌شود که در بسیاری از این موارد ارجحیت و برتری آنتن ارائه شده به دلیل نزدیکی مشخصه‌های آنتن‌ها به یکدیگر به درستی مشخص نمی‌شود. دلیل این امر مقایسه بر اساس تنها یکی از مشخصه‌های آنتن‌ها مانند ابعاد یا پهنای باند فرکانسی یا بهره می‌باشد. زیرا در این حالت ممکن است آنتن مورد نظر در تمامی این مشخصه‌ها و معیارها بر دیگر آنتن‌های مورد مقایسه ارجحیت نداشته باشد و در نتیجه نتوان برتری کامل و یا معقولانه‌ای را برای آنتن مورد نظر متصور شد. در این وضعیت استفاده از روش تصمیم‌گیری چندگانه (MCDM) مناسب‌ترین روش می‌تواند باشد که می‌تواند بهترین گزینه را بر اساس چندین معیار از بین گزینه‌های مختلف انتخاب نماید. تصمیم‌گیری چندگانه با روش‌های مختلفی انجام می‌شود که یکی از این روش‌ها استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است [۱۴]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی روشی است



شکل ۱۱: شماتیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب بهترین آنتن تک‌قطبی

FR4 پیاده‌سازی شده و در دو سال اخیر ارائه شده‌اند. معیارهای مقایسه که در شکل ۱۱ دیده می‌شوند شامل ابعاد آنتن، پهنای باند فرکانسی، تغییرات بهره در باند فرکانسی به‌غیر از باندهای حذفی و نیز تعداد باندهای حذف شده است. مشخص است که ابعاد کوچک، پهنای باند فرکانسی وسیع، تغییرات بهره پایین در باند فرکانسی مورد نظر و نیز عدم تداخل با سیستم‌های دیگر برای یک آنتن مزیت محسوب می‌شود و طراحان آنتن‌ها همواره در تلاش هستند که این موارد هرچه بیشتر و مؤثرتر در ساختارهای ارائه شده خود رعایت نمایند. مشخصه‌های آنتن‌های مورد مقایسه و ارزیابی در جدول ۲ آمده است. در جدول ۲

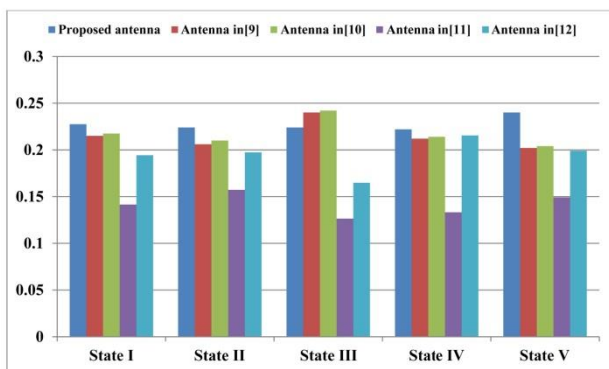
در این مقاله آنتن تک‌قطبی معرفی شده در شکل ۱ را با آنتن‌های ارائه شده در مراجع [۹-۱۲] با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP مقایسه می‌کنیم. شکل ۱۱ شماتیک تحلیل سلسله مراتبی را برای انتخاب بهترین آنتن تک‌قطبی مسطح نشان می‌دهد که شامل سه طبقه، کاندیداها یا گزینه‌ها (Alternatives)، معیارها یا ویژگی‌ها (Attributes) و نیز نهایتاً هدف که در اینجا انتخاب بهترین ساختار آنتن است، می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد گزینه‌ها شامل آنتن معرفی شده در این مقاله و نیز مقالات مربوط به مراجع [۹-۱۲] است که جهت انجام یک مقایسه درست و منصفانه کلیه گزینه‌ها هستند که روی زیرلایه

برای سهولت وقت در استفاده از روش AHP، نرم افزار Expert Choice به کار گرفته شده است [۱۷]. جدول ۴ مقادیر به دست آمده برای هریک از آنتن های مورد مقایسه در هر یک از حالات تعریف شده در جدول ۳ را نشان می دهد. همچنین شکل ۱۲ نمودار میله ای برای مقادیر جدول ۴ را ارائه می دهد که مقایسه آنتن ها را در حالات مختلف آسان تر می نماید.

جدول ۴: مقادیر به دست آمده از رابطه (۴) برای هریک از آنتن ها در

حالات مختلف

	حالت I	حالت II	حالت III	حالت IV	حالت V
آنتن پیشنهادی	۰/۲۲۷۵	۰/۲۲۴	۰/۲۲۴	۰/۲۲۲	۰/۲۴
[۹]	۰/۲۱۵	۰/۲۰۶	۰/۲۴	۰/۲۱۲	۰/۲۰۲
[۱۰]	۰/۲۱۷۵	۰/۲۱	۰/۲۴۲	۰/۲۱۴	۰/۲۰۴
[۱۱]	۰/۱۴۱۵	۱/۵۷۲	۱/۲۶۴	۰/۱۳۳۲	۱/۴۹۲
[۱۲]	۰/۱۹۴۲	۱/۹۷۴	۱/۶۴۸	۰/۲۱۵۴	۰/۱۹۹



شکل ۱۲: نمودار میله ای برای مقادیر جدول ۴ برای حالات مختلف

طبق نمودارهای شکل ۱۲ مشخص است که ساختار آنتن معرفی شده در این مقاله در تمامی حالات به غیر از حالت ۳ وضعیت مطلوب تر و ارجح تری را نسبت به دیگر آنتن ها دارد که این نشان دهنده مؤثر بودن تکنیک های استفاده شده در طراحی آنتن شکل ۱ جهت رسیدن به یک ساختار مطلوب و مناسب برای استفاده در سیستم UWB است. همچنین با توجه به شکل ۱۲ امکان رتبه بندی و ارزیابی کلیه آنتن های مورد مقایسه فراهم می باشد.

۵ - نتیجه

در این مقاله یک آنتن تک قطبی مسطح با ساختار پچ تشعشی و زمین جدید برای کاربردهای UWB معرفی شد. با استفاده از یک برش V شکل باند مربوط به سیستم WiMAX (۳/۳ تا ۳/۶ گیگاهرتز) حذف شده است همچنین باند فرکانسی سیستم WLAN (۵/۱۵ تا ۵/۸۵ گیگاهرتز) نیز توسط دو نوار L شکل پارازیتی که در دو سمت پچ تشعشی به صورت مقارن اضافه شده بود فیلتر شده است. نتایج به دست آمده از شبیه سازی

به وضوح دیده می شود که هیچ یک از آنتن های مورد مقایسه ارجحیت کامل از لحاظ معیارهای مشخص شده بر یکدیگر ندارند برای مثال آنتن معرفی شده در این مقاله از لحاظ پهنای باند فرکانسی از آنتن های [۹ و ۱۰] وضعیت بهتری دارد ولی از لحاظ ابعاد بزرگ تر از آن ها می باشد.

جدول ۲: مشخصات آنتن ارائه شده و آنتن های [۹-۱۲]

تعداد فیلترها	زیرلایه	تغییرات بهره	عرض باند (%)	سایز (میلیمتر مربع)	آنتن پیشنهادی
۲	FR4	۳	۱۳۵	۲۴×۲۸	آنتن پیشنهادی
۲	FR4	۶	۱۱۳	۲۰×۲۰	[۹]
۲	FR4	۶	۱۱۶	۲۰×۲۰	[۱۰]
۱	FR4	۵	۱۴۲	۵۰×۴۲	[۱۱]
۳	FR4	۴	۱۳۷	۵۵×۵۴	[۱۲]

برای به کارگیری روش AHP ابتدا یک تابع خطی چندمتغیره به صورت رابطه (۴) تشکیل داده می شود که شامل وزن ها (W Bandwidth و W Number of notches و W Size و W gain variations) و مقادیر نرمالیزه (U Number of notches و U Bandwidth, U Size, U gain variations) برای هر یک مشخصه های آنتن ها (معیارهای مقایسه) می باشد [۱۶].

$$U_{Antenna(i)} = W_{Number\ of\ notches} \cdot U_{Number\ of\ notches(Antenna(i))} + W_{Gain\ variation} \cdot U_{Gain\ variation(Antenna(i))} + W_{Bandwidth} \cdot U_{Bandwidth(Antenna(i))} + W_{Size} \cdot U_{Size(Antenna(i))} \quad (4)$$

مقادیر طوری نرمالیزه می شوند که آنتن با بهترین و بالاترین مقدار مطلوب در مشخصه مورد نظر بیشترین ارزش را دریافت نماید. به عنوان مثال آنتنی که کوچک ترین ابعاد را دارد بالاترین ارزش و آنتنی که بزرگ ترین ابعاد را دارد پایین ترین ارزش را دارا خواهند بود. جدول ۳، پنج حالت مختلف را برای وزن های مربوط به هر یک از معیارهای مقایسه را مشخص می کند. برای مثال در حالت ۱ مطابق جدول ۳ دیده می شود که تمامی معیارها اهمیت یکسانی دارند ولی در حالت ۲ وزن مربوط به پهنای باند دو برابر بقیه وزن ها می باشد که مشخص کننده حالتی است که برای کاربر آنتن اهمیت پهنای باند پوشش داده شده توسط آنتن بیشتر است و یا در حالت ۳ اهمیت دارا بودن ابعاد کوچک دو برابر بیشتر از بقیه مشخصه های آنتن در نظر گرفته شده است.

جدول ۳: حالات مختلف برای وزن های مربوط به معیارهای مقایسه

	حالت I	حالت II	حالت III	حالت IV	حالت V
W Bandwidth	۰/۲۵	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲
W Size	۰/۲۵	۰/۲	۰/۴	۰/۲	۰/۲
W Number of notches	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۲
W Gain variation	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۴

- [6] Ki-Hak Kim and Seong-Ook Park, "Analysis of the Small Band-Rejected Antenna with the Parasitic Strip for UWB." IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 54, no. 6, pp. 1688-1692, 2006.
- [7] Raha Eshtiaghi, Javad Nourinia, and Changiz Ghobadi, "Electromagnetically Coupled Band-Notched Elliptical Monopole Antenna for UWB Applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 58, no. 4, pp. 1397-1402, 2010.
- [8] Mehdi Sefidi, Yashar Zehforoosh, and Shahram Moradi, "A Novel CPW-Fed Antenna With Dual Band-Notched Characteristics For UWB Applications," Microwave Opt Technol Lett., vol. 57, no. 10, pp. 2391-2394, 2015.
- [9] Mehdi Sefidi, Yashar Zehforoosh, and Shahram Moradi, "A Small CPW-Fed UWB Antenna with Dual Band-Notched Characteristics Using Two Stepped Impedance Resonators., vol. 58, no. 2, pp. 464-467, 2016.
- [10] Badamchi, Z. and Zehforoosh, Y. (2015), Switchable single/dual band filtering UWB antenna using parasitic element and T-shaped stub wave cancellers. Microw. Opt. Technol. Lett., 57: 2946–2950.
- [11] N. Jaglan, S. D. Gupta, B. K. Kanaujia, and S. Srivastava, "Band notched UWB circular monopole antenna with inductance enhanced modified mushroom EBG structures," *Wireless Networks*, Aug. 2016.
- [12] K. Srivastava, A. Kumar, A. K. Verma, Q. Zhang, B. K. Kanaujia, and S. Dwari, "Integrated GSM and UWB fractal monopole antenna with triple notches," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 58, no. 10, pp. 2364–2366, Jul. 2016.
- [13] Ansoft High Frequency Structure Simulation (HFSS). Ver 10, Ansoft Corporation, Pittsburgh, PA, 2005.
- [14] G.-H. Tzeng, J.-J. Huang, T. Gwo-Hshiung, and H. Jih-Jeng, *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 2011.
- [15] Saaty, T.L. (1980) *The analytic hierarchy process: Planning setting priorities, resource allocation*. 2nd edn. New York: McGraw-Hill International Book Co.
- [16] Ghobadi Changiz and Majidzadeh Maryam, " Novel CPW-fed antenna for dual frequency band notch applications evaluated in AHP framework", *Journal of Intelligent & Fuzzy* 509–516 DOI:10.3233/IFS-141274 Systems 2015.
- [17] <http://expertchoice.com/academic-program/for-students>
- و نیز اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که آنتن ارائه‌شده گزینه مناسبی برای استفاده در سیستم UWB می‌باشد. همچنین ساختار پیشنهادی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل استفاده از نرم‌افزار Expert Choice نشانگر برتری آنتن معرفی شده از لحاظ ابعاد کوچک، پهنای باند فرکانسی وسیع، توانایی حذف باندهای فرکانسی تداخلگر و نیز تغییرات کم‌بهره در باند فرکانسی پوشش داده‌شده بر آنتن‌های ارائه‌شده در دیگر مقالات است.

## مراجع

- [1] Chia-Ching Lin, Peng Jin, Richard W. Ziolkowski, "Single, Dual and Tri-Band-Notched Ultrawideband (UWB) Antennas Using Capacitively Loaded Loop (CLL) Resonators," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 60, no. 1, pp. 102-109, 2012.
- [۲] فرهاد خسروی افوسی، محمدتقی آذرمنش و جواد نورینیا، «به کارگیری ساختارهای EBG به منظور افزایش پهنای باند و دایرکتیویته آنتن میکرواستریپ»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۳، شماره ۲، صفحات ۱-۸، ۱۳۹۲.
- [۳] آزاده ایمانی، جواد نورینیا و چنگیز قبادی، «آنتن دایورسیتی مسطح جدید پهنبند جهت استفاده در ارتباطات سیار»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۹، شماره ۲، صفحات ۱۳-۱۹، ۱۳۸۹.
- [4] Wang-Sang Lee, Dong-Zo Kim, Ki-Jin Kim, and Jong-Won Yu, "Wideband Planar Monopole Antennas with Dual Band-Notched Characteristics," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 54, no. 6, pp. 2800-2806, 2006.
- [5] Keyvan Bahadori, and Yahaya Rahmat-Samii, "A Miniaturized Elliptic-Card UWB Antenna With WLAN Band Rejection for Wireless Communications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 55, no. 11, pp. 3326-3332, 2007.

## زیر نویس ها

- <sup>6</sup> High Frequency Structure Simulator
- <sup>7</sup> Multi Attribute Decision Making techniques
- <sup>8</sup> Analytical Hierarchy Process
- <sup>9</sup> Voltage standing wave ratio

- <sup>1</sup> Federal Communication Commission
- <sup>2</sup> Ultra Wideband
- <sup>3</sup> Planar Microstrip Antennas
- <sup>4</sup> Wireless Local Area Network
- <sup>5</sup> Worldwide Interoperability for Microwave Access