



دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده های فنی  
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر



آنتن ۱

دکتر راشد محصل

پروژه نهایی

سروش مس فروش مشهد

ش.د: ۸۱۰۱۹۸۴۷۲

بهار ۰۲

## فهرست مطالب

۳	۱	آشنایی با دو قطبی متقاطع (Turnstile Antenna or Crossed Dipole)
۴	۲	آنالیز تئوری
۴	۱.۲	میدان راه دور دوقطبی متقاطع
۵	۱.۱.۲	دوقطبی هرتز روی محور $x$
۶	۲.۱.۲	دوقطبی هرتز روی محور $y$
۷	۲.۲	محاسبه سازه آرایه و میدان راه دور کلی
۷	۳.۲	تحلیل راستاوری
۸	۳	شبیه سازی
۹	۱.۳	$N = 2$
۲۳	۲.۳	$N = 4$
۳۶	۳.۳	$N = 8$
۵۰	۴.۳	$N = 16$
۶۳	۴	شبیه سازی با کتابخانه MATLAB
۶۷	۱.۴	مقایسه شبیه سازی با مراجع

## ۱ آشنایی با دو قطبی متقاطع (Turnstile Antenna or Crossed Dipole)

آنتن دو قطبی متقاطع از خانواده آنتن های رادیویی است که به طور معمول برای دریافت و انتقال امواج رادیویی استفاده می شود. این آنتن به خاطر الگوی تابشی دایروی مورد توجه است و امواج را در تمام جهت های افقی به اندازه یکسان تابش و دریافت می کند.

طراحی آنتن دو قطبی متقاطع به طور معمول از دو دایپل نیم موج تشکیل شده است که عمود بر هم قرار می گیرند. این دو قطبی ها می توانند اختلاف فاز داشته باشند تا قطبش دایروی را ایجاد کنند. (در واقع اختلاف فاز در تغذیه آنهاست)

یکی از مزایای کلیدی این آنتن، تابش در همه جهات یا همان Omnidirectionality می باشد که بسیار مفید است و کار دریافت امواج را ساده تر می نماید. این آنتن دو نوع مود کاری کلی دارد که به اختصار اشاره می گردد.

### • Normal Mode

در این مود، آنتن امواج که قطبش افقی دارد و عمود بر محور آنتن است را منتشر می کند.

### • Axial Mode

در این مود، آنتن امواج که موازی با سطح زمین هستند را تابش می کند.

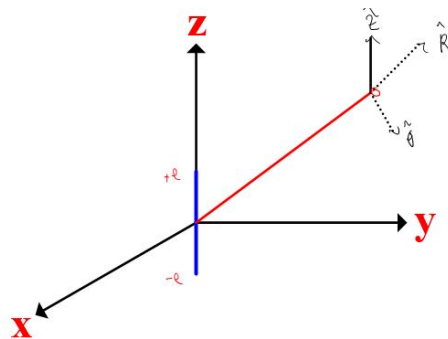


شکل ۱: Crossed Dipole Antenna

## ۲ آنالیز تئوری

### ۱.۲ میدان راه دور دوقطبی متقاطع

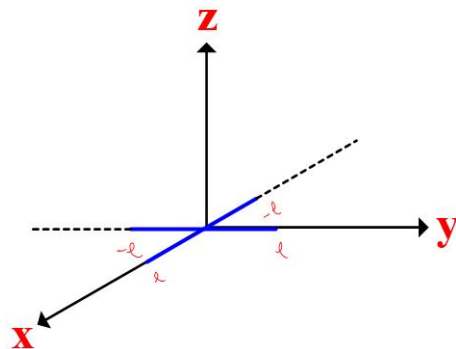
در جلسات درس آنتن ۱، ما با دایپل هرتز یا دوقطبی بسیار کوچک آشنا شدیم، میدان آن به صورت زیر عرضه شد.



شکل ۲: Hertzian Dipole

$$\vec{E} = \frac{jkZ_0ce^{-jkR}}{4\pi R} \sin(\theta)\hat{\theta}$$

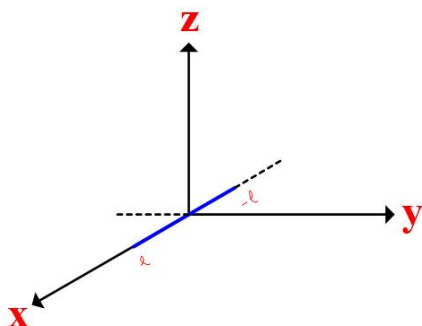
حال مجدداً شکل آنتن دو قطبی متقاطع را یادآوری می‌کنیم.



شکل ۳: Crossed Dipole

به سادگی مشخص است که این آنتن از دو تا دوقطبی هرتز که در راستی محورهای  $x$  و  $y$  هست تشکیل شده است. برای محاسبه میدان راه دور آن، میدان راه دور هر کدام از این ها را محاسبه و با هم جمع می‌کنیم.

### ۱.۱.۲ دوقطبی هرتز روی محور $x$



شکل ۴: Hertzian dipole on x axis

مطابق آنچه در درس آموختیم میدان راه دور این آنتن به شرح زیر است.

$$\vec{E}_{dipx} = \frac{jkZ_0ce^{-jkR}}{4\pi R} \sin(\theta_x)\hat{\theta}_x$$

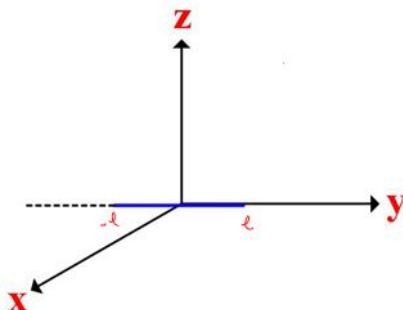
برای به دست آوردن  $\theta_x$  به شکل زیر از دستورگردایان استفاده خواهیم کرد.

$$\cos(\theta_x) = \hat{x} \cdot \hat{R} = \sin(\theta) \cos(\varphi)$$

$$\nabla \rightarrow -\sin(\theta_x)\hat{\theta}_x = \cos(\theta) \cos(\varphi)\hat{\theta} - \sin(\varphi)\hat{\varphi}$$

پس در نهایت خواهیم داشت:

$$\vec{E}_{dipx} = \frac{jkZ_0ce^{-jkR}}{4\pi R} \left( -\cos(\theta) \cos(\varphi)\hat{\theta} + \sin(\varphi)\hat{\varphi} \right)$$

۲.۱.۲ دوقطبی هرتز روی محور  $y$ 

شکل ۵: Hertzian dipole on y axis

مطابق آنچه در درس آموختیم میدان راه دور این آنتن به شرح زیر است.

$$\vec{E}_{dipy} = \frac{jkZ_0ce^{-jkR}}{4\pi R} \sin(\theta_y) \hat{\theta}_y$$

برای به دست آوردن  $\theta_y$  به شکل زیر از دستورگرادیان استفاده خواهیم کرد.

$$\cos(\theta_y) = \hat{y} \cdot \hat{R} = \sin(\theta) \sin(\varphi)$$

$$\nabla - \sin(\theta_y) \hat{\theta}_y = \cos(\theta) \sin(\varphi) \hat{\theta} + \cos(\varphi) \hat{\varphi}$$

پس در نهایت خواهیم داشت:

$$\vec{E}_{dipy} = \frac{jkZ_0ce^{-jkR}}{4\pi R} \left( -\cos(\theta) \sin(\varphi) \hat{\theta} - \cos(\varphi) \hat{\varphi} \right)$$

حال با انجام این محاسبات می‌توانیم به مساله اصلی خود بازگردیم.

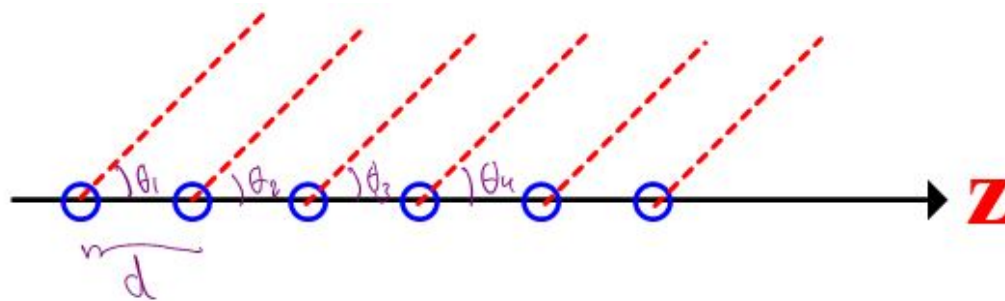
$$\vec{E}_{CrossedDip} = \vec{E}_{dipx} + \vec{E}_{dipy}$$

$$\vec{E}_{CrossedDip} = \frac{jkZ_0ce^{-jkR}}{4\pi R} \left( -\cos(\theta) [\sin(\varphi) + \cos(\varphi)] \hat{\theta} + [\sin(\varphi) - \cos(\varphi)] \hat{\varphi} \right)$$

پس میدان راه دور را موفق شدیم محاسبه کنیم.

## ۲.۲ محاسبه سازه آرایه و میدان راه دور کلی

فرض می‌کنیم که آرایه ما روی محور  $z$  قرار داده و به شکل زیر است.



شکل ۶: Crossed Dipole Array

برای محاسبه سازه آرایه خواهیم داشت:

$$AF = \sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{j(n-1)\psi}, \quad \psi = kd \cos(\theta) + \delta$$

و در نهایت برای میدان راه دور خواهیم داشت:

$$\vec{E}_{Farfield} = AF \times \frac{jkZ_0 c e^{-jkR}}{4\pi R} \left( -\cos(\theta) [\sin(\varphi) + \cos(\varphi)] \hat{\theta} + [\sin(\varphi) - \cos(\varphi)] \hat{\varphi} \right)$$

## ۳.۲ تحلیل راستاوری

برای محاسبه راستاوری مطابق آنچه در کلاس عنوان شد خواهیم داشت.

$$w_{avg} = \frac{|\vec{E}_{Farfield}|^2}{2Z_0},$$

$$|\vec{E}_{Farfield}|^2 = \frac{k^2 Z_0^2 c^2}{16\pi^2 R^2} (\cos^2(\theta) [1 + 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)] + 1 - 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)) |AF|^2$$

$$U(\theta, \varphi) = R^2 w_{avg} = \frac{k^2 Z_0 c^2}{32\pi^2} (\cos^2(\theta) [1 + 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)] + 1 - 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)) |AF|^2$$

$$A \triangleq \frac{k^2 Z_0 c^2}{32\pi^2}, \quad U(\theta, \varphi) = A (\cos^2(\theta) [1 + 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)] + 1 - 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)) |AF|^2$$

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P_{Rad}}, \quad P_{Rad} = \int U(\theta, \varphi) d\Omega, \quad d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin(\theta) d\theta d\varphi$$

$$P_{Rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi A \sin(\theta) (\cos^2(\theta) [1 + 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)] + 1 - 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)) |AF|^2 d\theta d\varphi$$

$$D(\theta, \varphi) = \frac{\frac{4\pi}{A} \max(U(\theta, \varphi))}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} \sin(\theta) (\cos^2(\theta) [1 + 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)] + 1 - 2 \sin(\varphi) \cos(\varphi)) |AF|^2 d\theta d\varphi}$$

### ۳ شبیه سازی

به منظور شبیه سازی، روابط به دست آمده در تئوری کدنویسی شده اند و برای مقادیر مختلف و درجه های آزادی مختلف شبیه سازی و نتایج عرضه شده است.

```

1 function Pattern = RadiationPattern(I,kd,theta , phi ,N)
2     psi = kd .* cos(theta);
3     for j=1:length(theta)
4         Afvector = 0;
5         for i=1:N
6             Afvector = Afvector + I(i).*exp(1j*i.*psi(j));
7         end
8         AF(j) = Afvector;
9     end
10    Pattern =AF.* sqrt(cos(theta).^2.*(1+2.*sin(phi).*cos(phi))+
11    1 -2.*sin(phi).*cos(phi));
12 end

```

Figure 7: Function to create radiation pattern



```

1 function Dir = Directivity(kd, I,N)
2     syms t p ;
3     psi = kd*cos(t);
4     Afvector = 0;
5     for i=1:N
6         Afvector = Afvector + I(i)*exp(1j*i*psi);
7     end
8     AF2 = abs(Afvector).^2;
9     U = cos(t).^2.*((1+2.*sin(p).*cos(p))) + 1 - 2.*sin(p).*cos(p);
10    E = sin(t) .* AF2.*U;
11    inte1 = int(E,t,0,pi);
12    inte2 = int(inte1,p,0,2*pi);
13    Dir = (4.*pi.*2.*N.^2)./inte2;
14 end
15

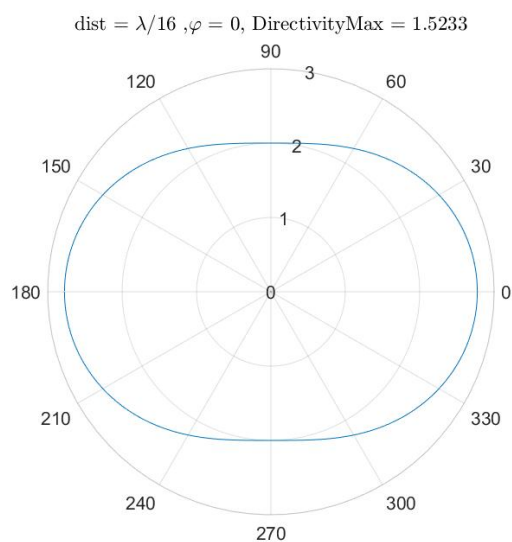
```

Figure 8: Function to calculate Directivity

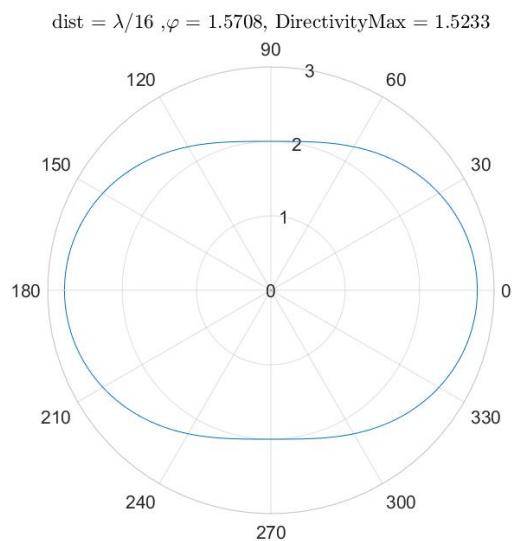
در ادامه در یک m.file اصلی فایل‌ها فراخوانی شده و به ازای درجه‌های آزادی مختلف برای تعداد عناصر آرایه و نوع جریان تحریک و همچنین و تفاوت فاز خروجی‌ها در نظر گرفته شده‌اند که در ادامه عرضه می‌شوند.

$$N = 2 \quad ۱.۳$$

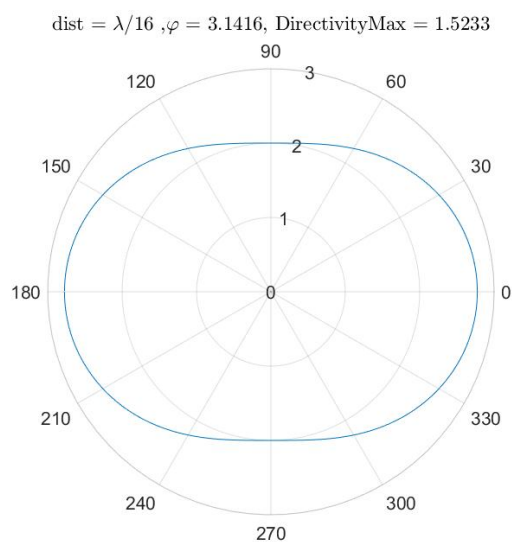
خروجی‌ها به شکل زیر عرضه می‌شوند.



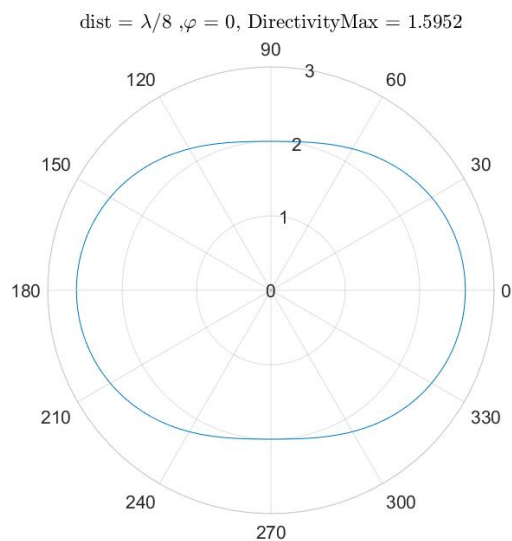
شکل ۹: Radiation Pattern and Directivity value



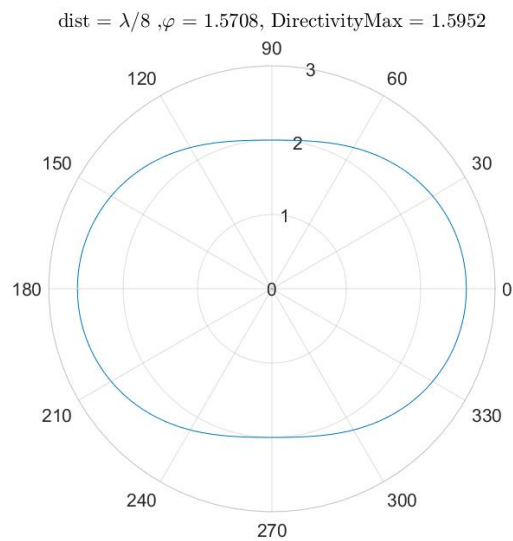
شکل ۱۰: Radiation Pattern and Directivity value



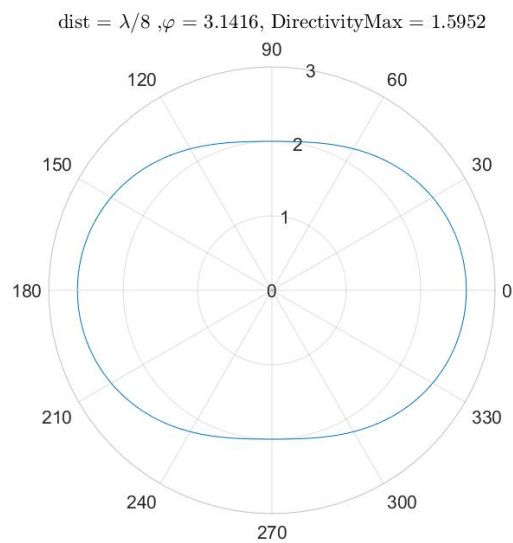
شکل ۱۱: Radiation Pattern and Directivity value



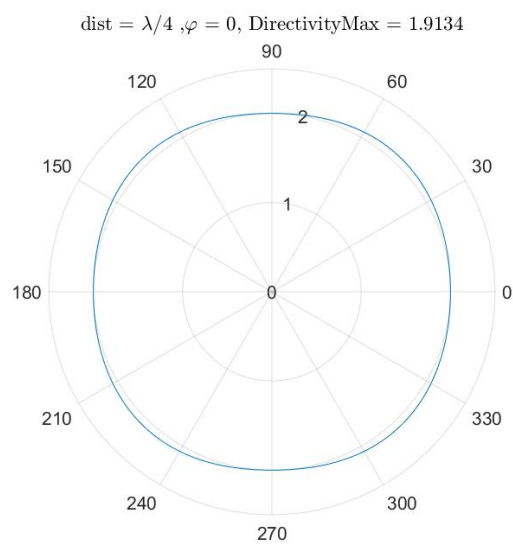
شکل ۱۲: Radiation Pattern and Directivity value



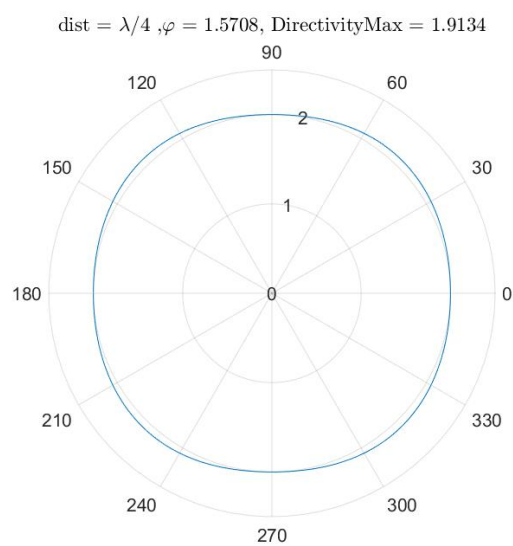
شکل ۱۳: Radiation Pattern and Directivity value



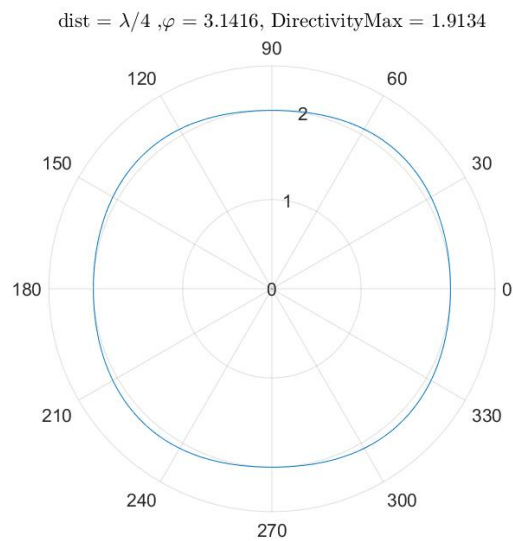
شکل ۱۴: Radiation Pattern and Directivity value



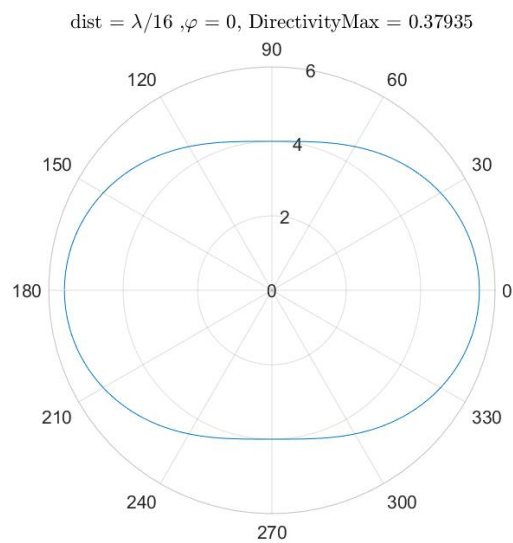
شکل ۱۵: Radiation Pattern and Directivity value



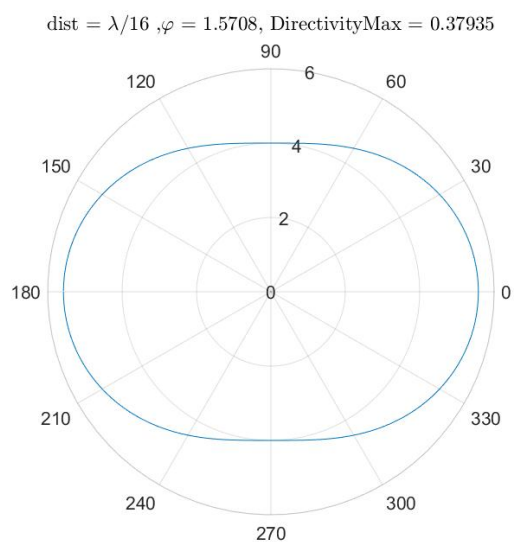
شکل ۱۶: Radiation Pattern and Directivity value



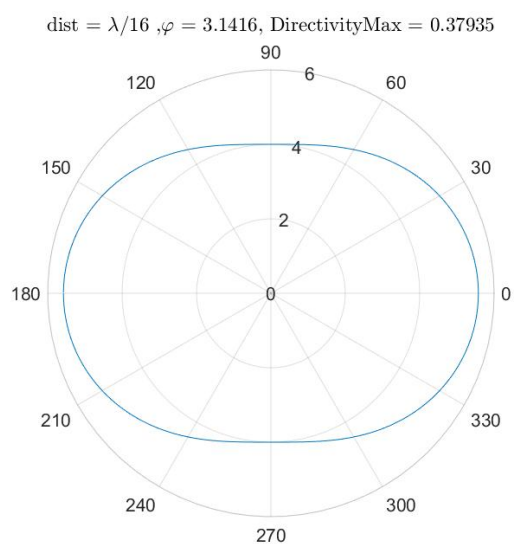
شکل ۱۷: Radiation Pattern and Directivity value



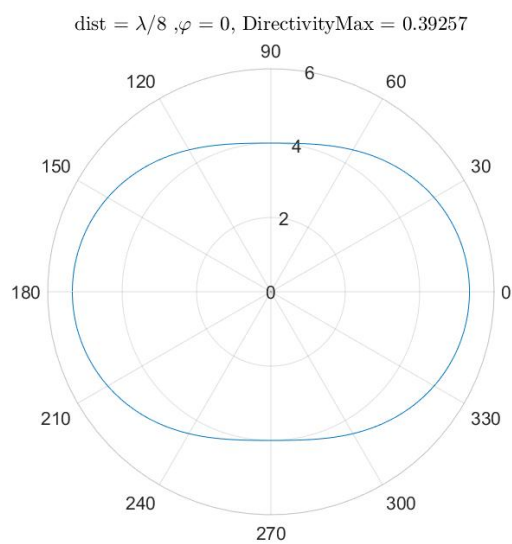
شکل ۱۸: Radiation Pattern and Directivity value



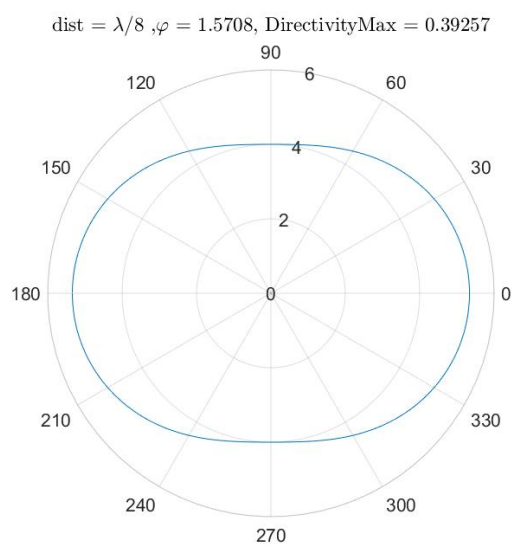
شکل ۱۹: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۲۰: Radiation Pattern and Directivity value

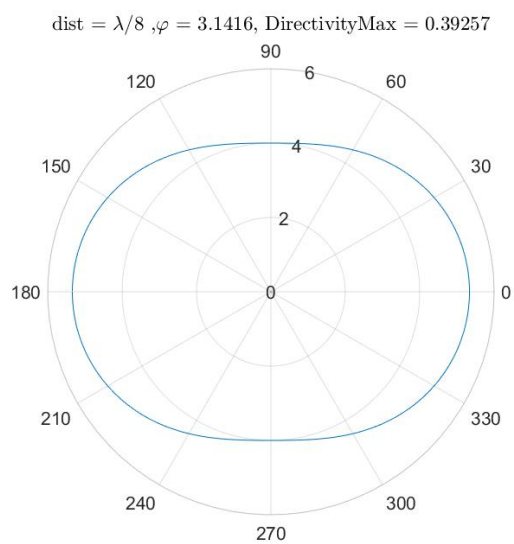


شکل ۲۱: Radiation Pattern and Directivity value

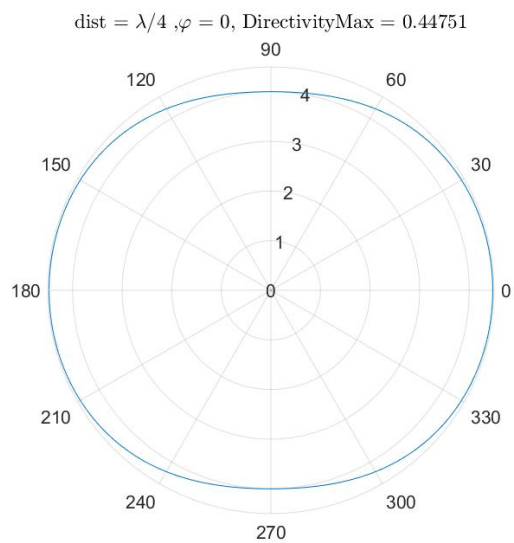


شکل ۲۲: Radiation Pattern and Directivity value

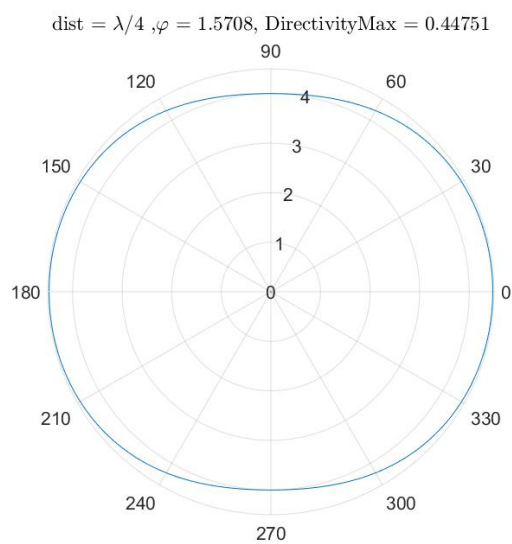




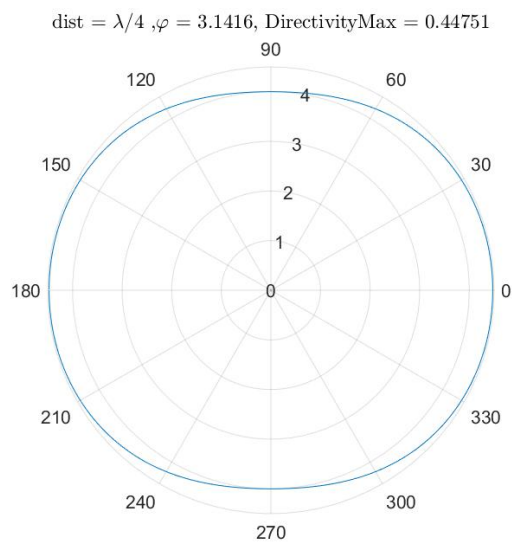
شکل ۲۳: Radiation Pattern and Directivity value



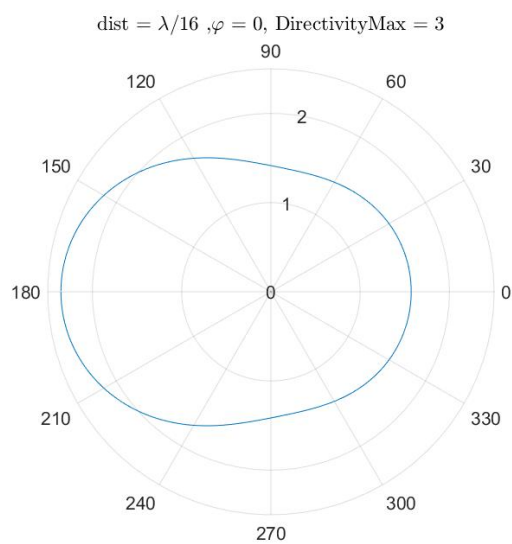
شکل ۲۴: Radiation Pattern and Directivity value



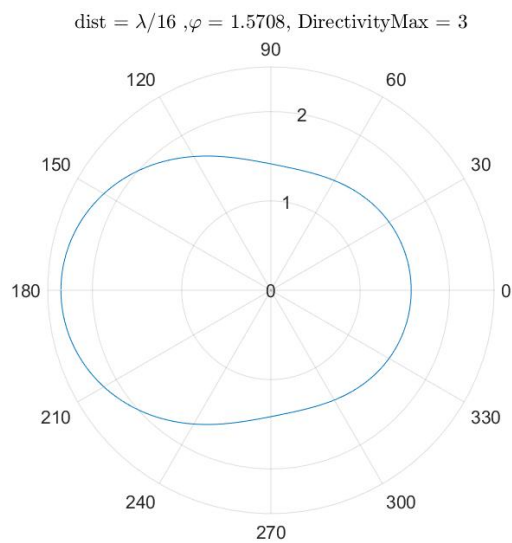
شکل ۲۵: Radiation Pattern and Directivity value



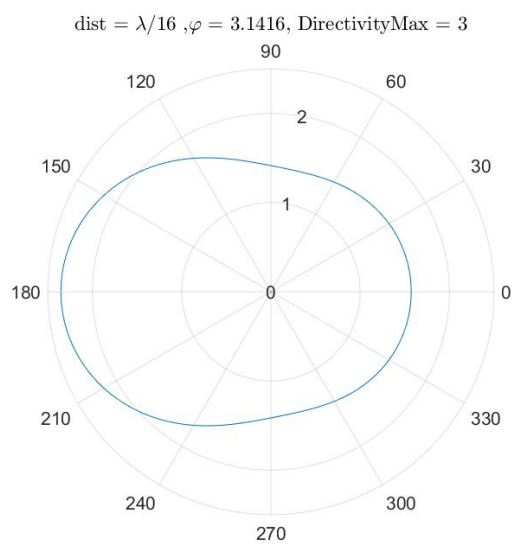
شکل ۲۶: Radiation Pattern and Directivity value



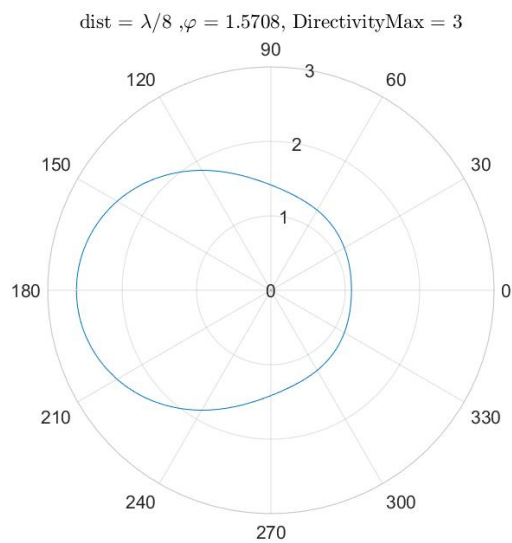
شکل ۲۷: Radiation Pattern and Directivity value



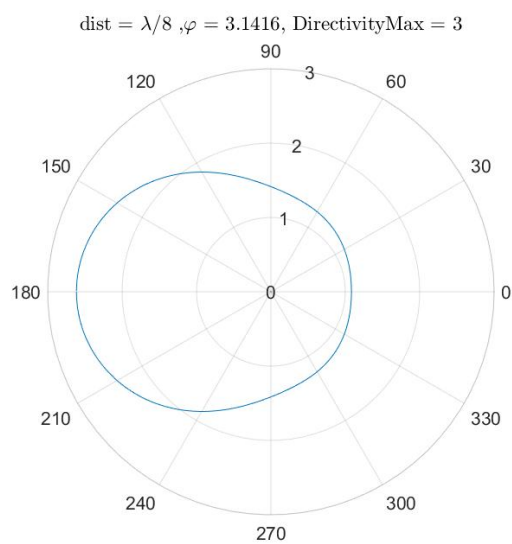
شکل ۲۸: Radiation Pattern and Directivity value



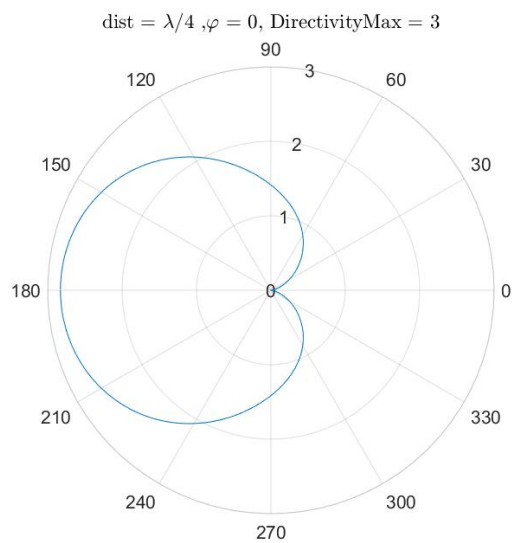
شکل ۲۹: Radiation Pattern and Directivity value



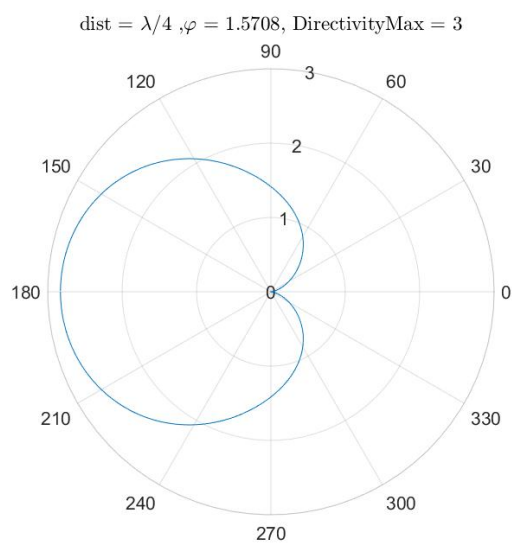
شکل ۳۰: Radiation Pattern and Directivity value



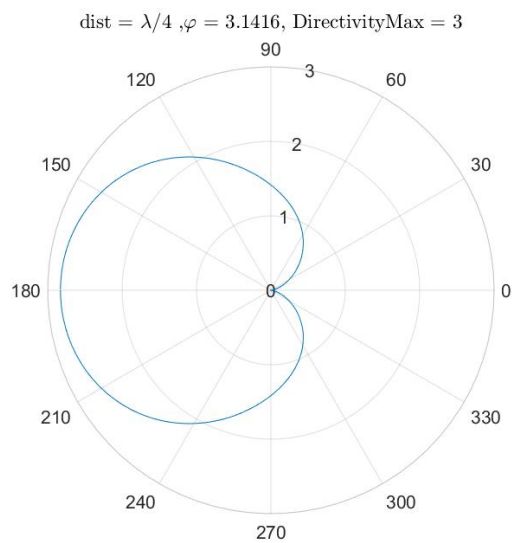
شکل ۳۱: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۳۲: Radiation Pattern and Directivity value



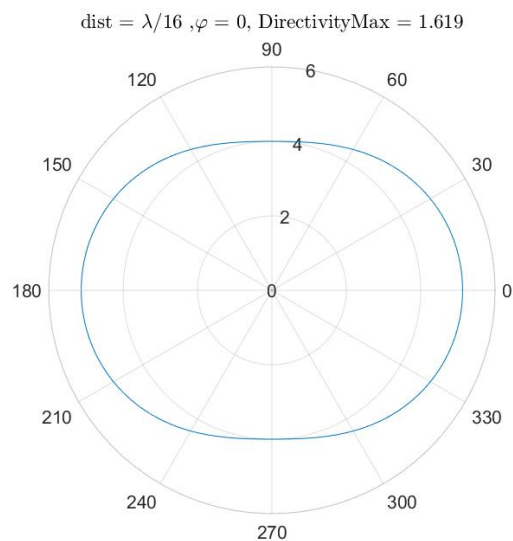
شکل ۳۳: Radiation Pattern and Directivity value



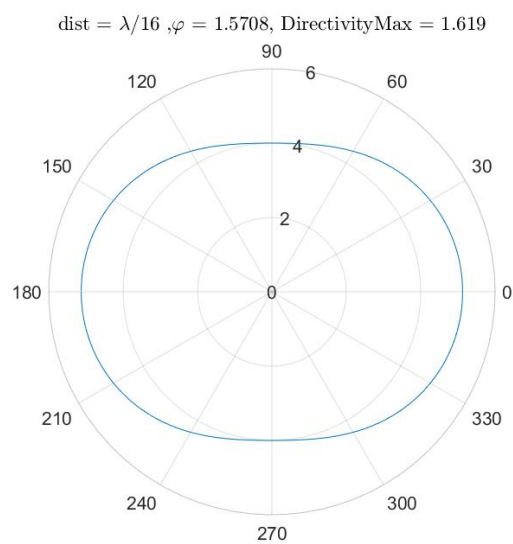
شکل ۳۴: Radiation Pattern and Directivity value

$$N = 4 \quad ۲.۳$$

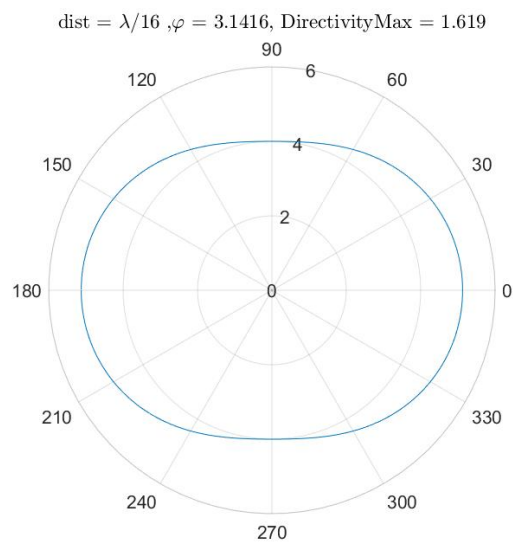
خروجی ها به شکل زیر عرضه می شوند.



شکل ۳۵: Radiation Pattern and Directivity value

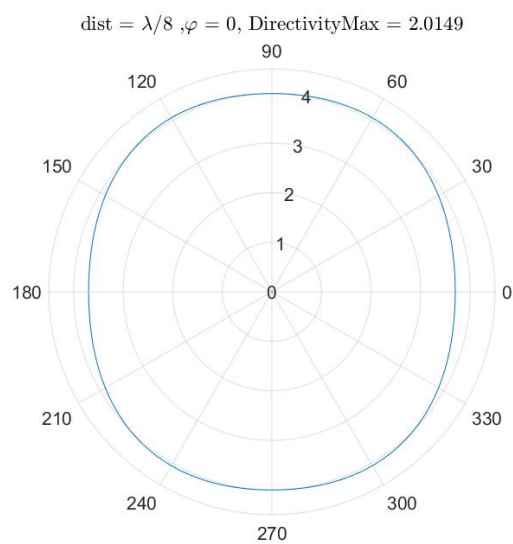


شکل ۳۶: Radiation Pattern and Directivity value

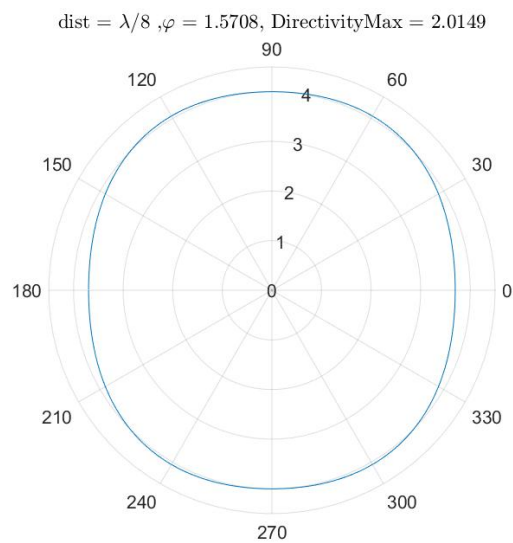


شکل ۳۷: Radiation Pattern and Directivity value

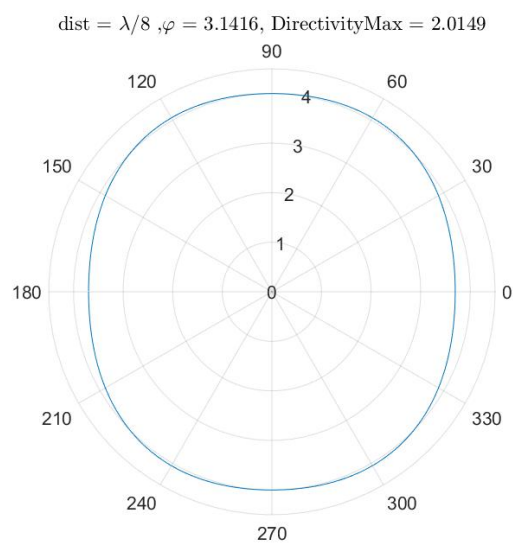




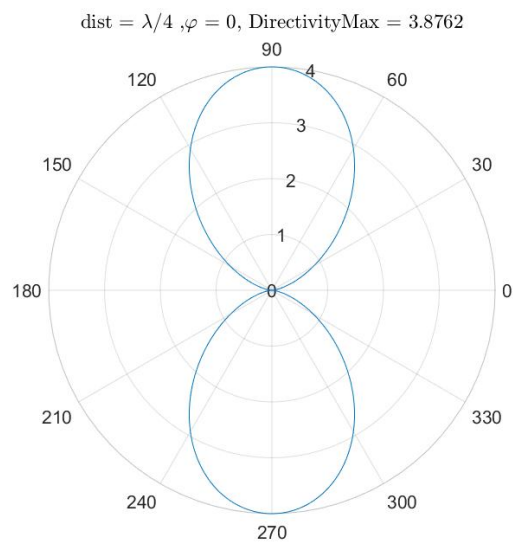
شکل ۳۸: Radiation Pattern and Directivity value



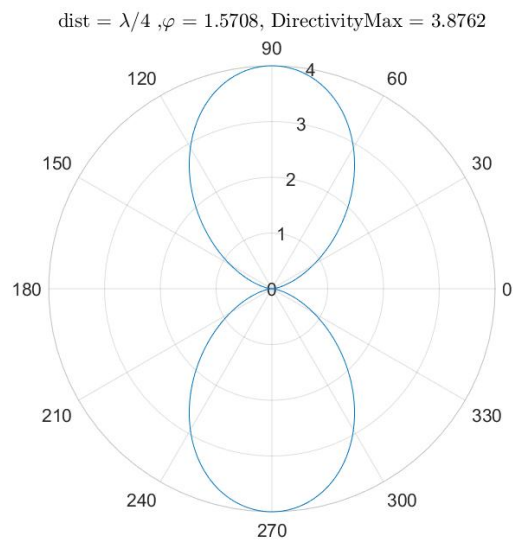
شکل ۳۹: Radiation Pattern and Directivity value



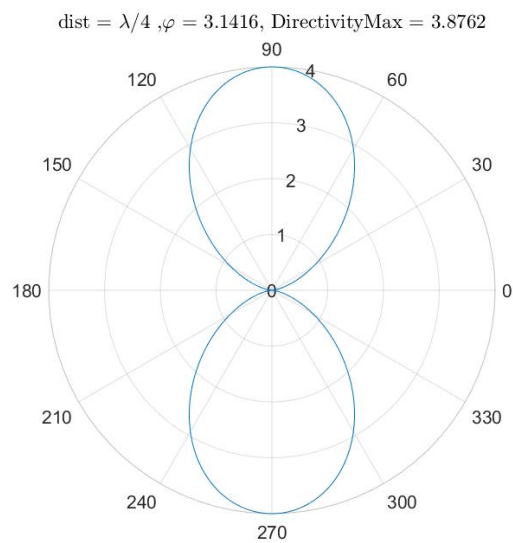
شکل ۴۰: Radiation Pattern and Directivity value



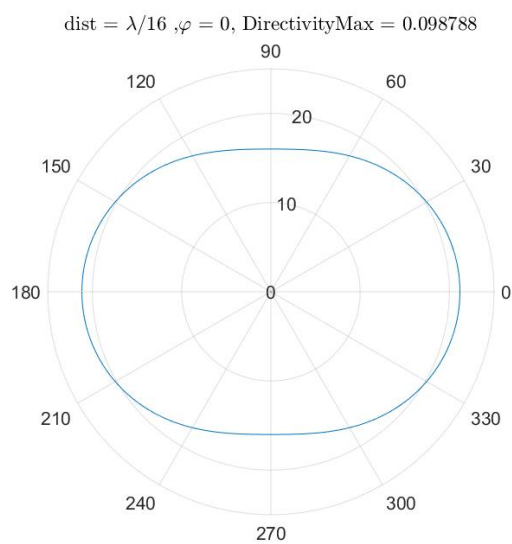
شکل ۴۱: Radiation Pattern and Directivity value



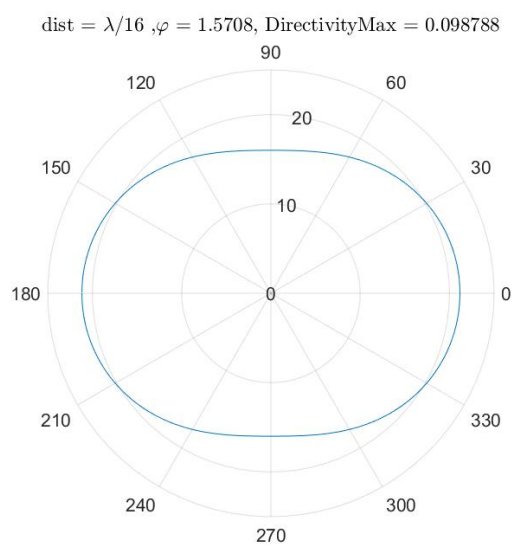
شکل ۴۲: Radiation Pattern and Directivity value



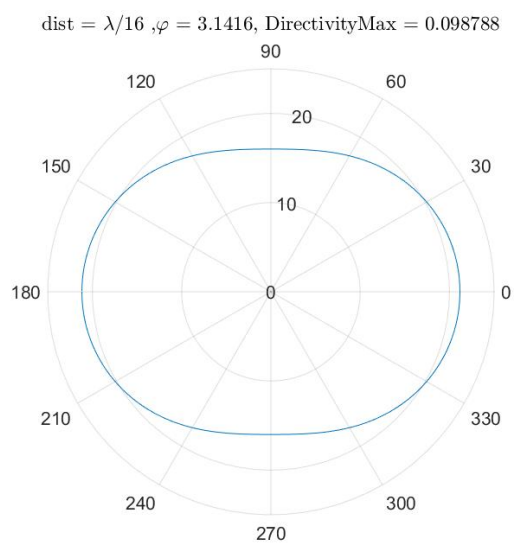
شکل ۴۳: Radiation Pattern and Directivity value



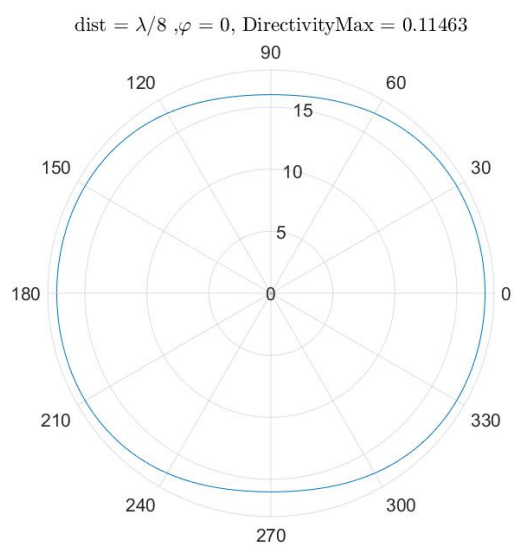
شکل ۴۴: Radiation Pattern and Directivity value



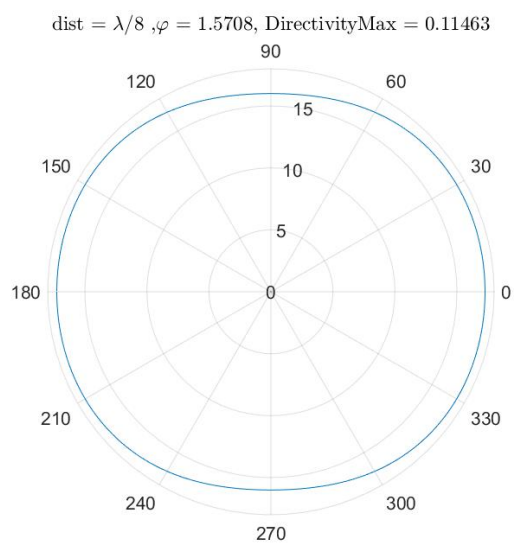
شکل ۴۵: Radiation Pattern and Directivity value



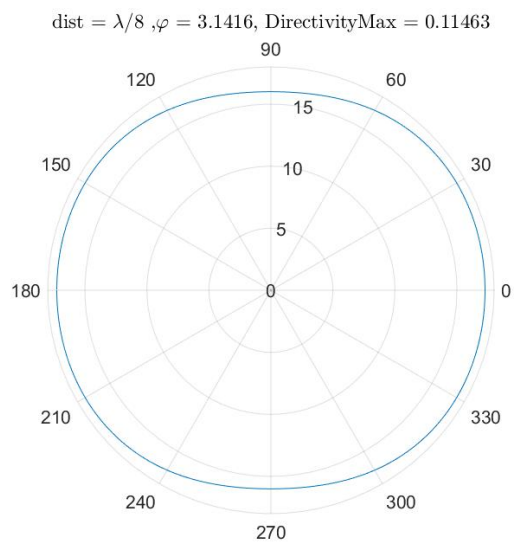
شکل ۴۶: Radiation Pattern and Directivity value



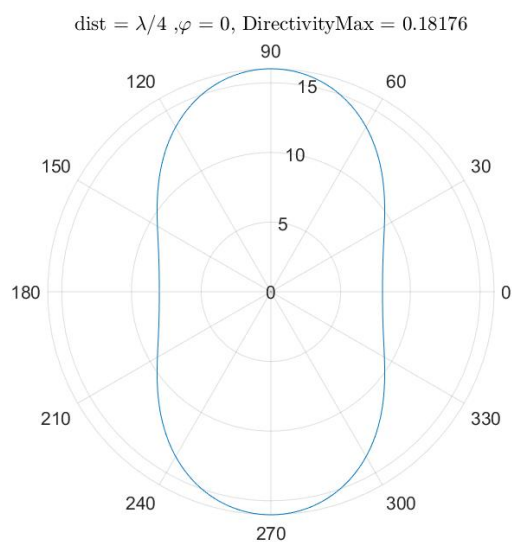
شکل ۴۷: Radiation Pattern and Directivity value



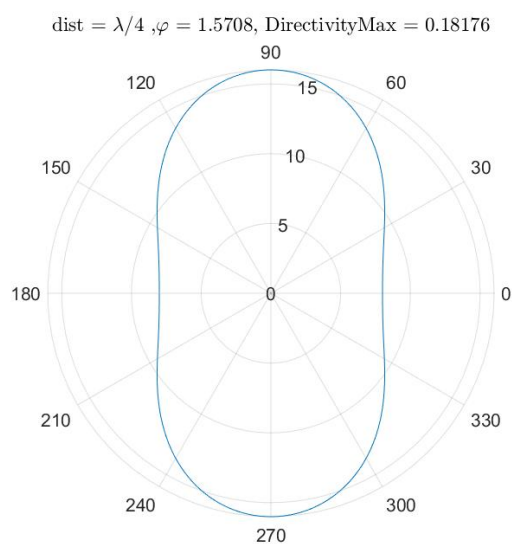
شکل ۴۸: Radiation Pattern and Directivity value



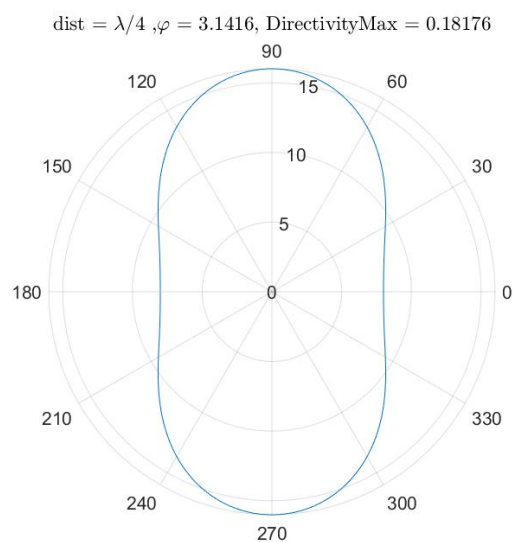
شکل ۴۹: Radiation Pattern and Directivity value



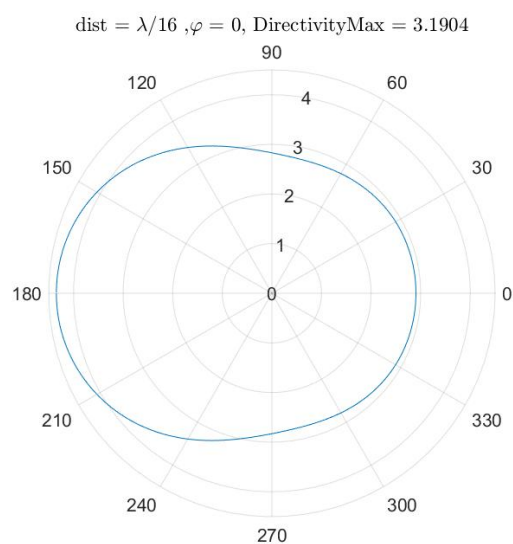
شکل ۵۰: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۵۱: Radiation Pattern and Directivity value

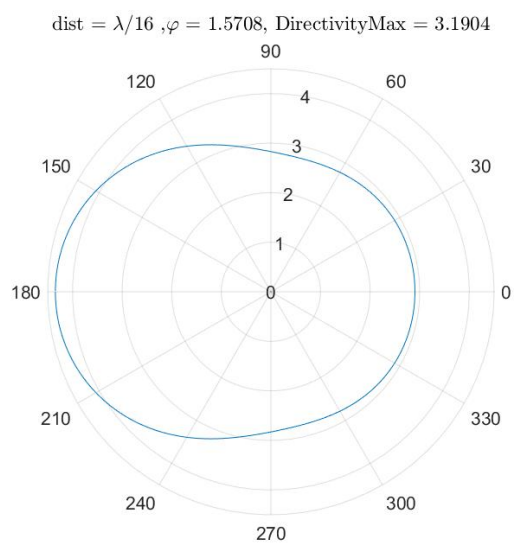


شکل ۵۲: Radiation Pattern and Directivity value

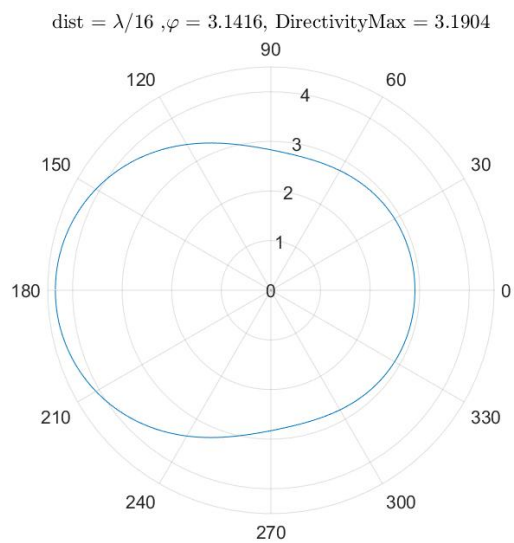


شکل ۵۳: Radiation Pattern and Directivity value

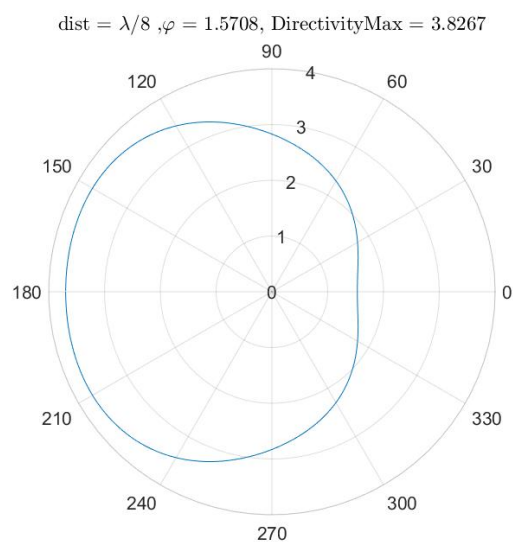




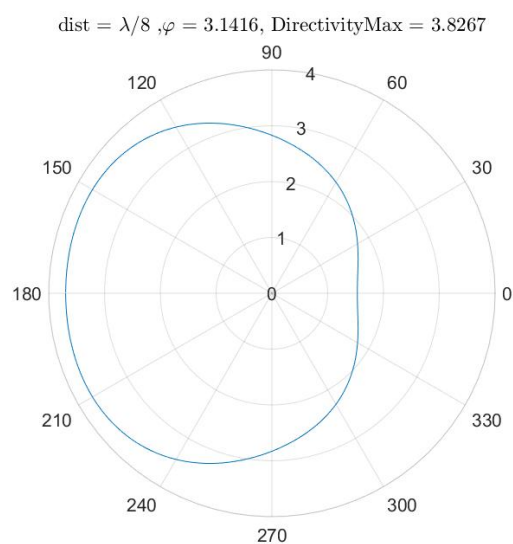
شکل ۵۴: Radiation Pattern and Directivity value



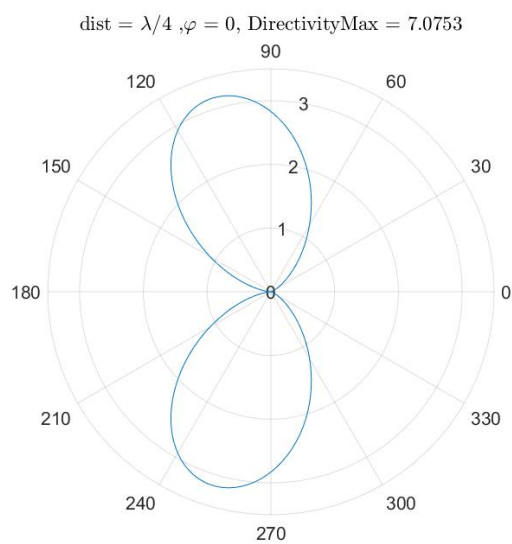
شکل ۵۵: Radiation Pattern and Directivity value



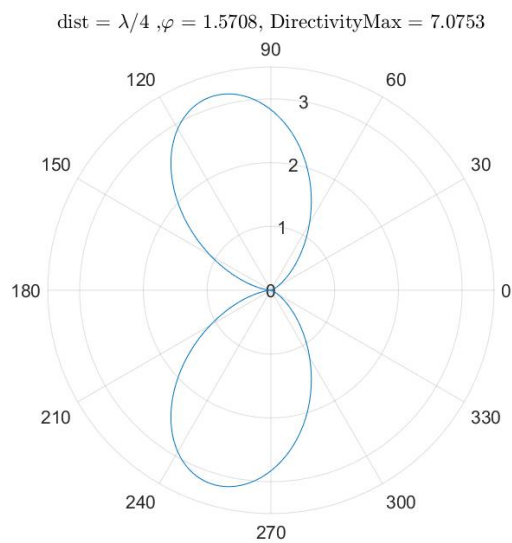
شکل ۵۶: Radiation Pattern and Directivity value



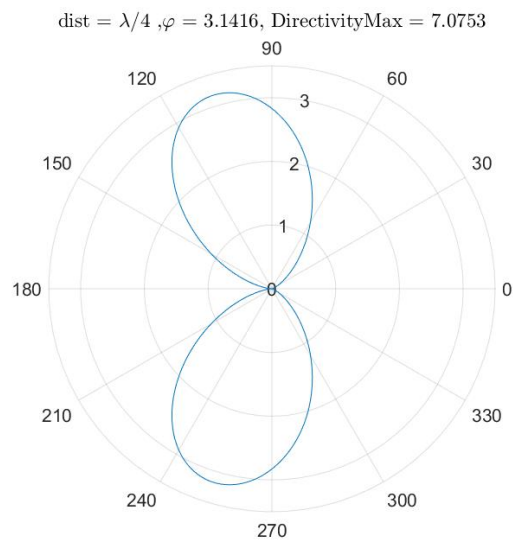
شکل ۵۷: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۵۸: Radiation Pattern and Directivity value



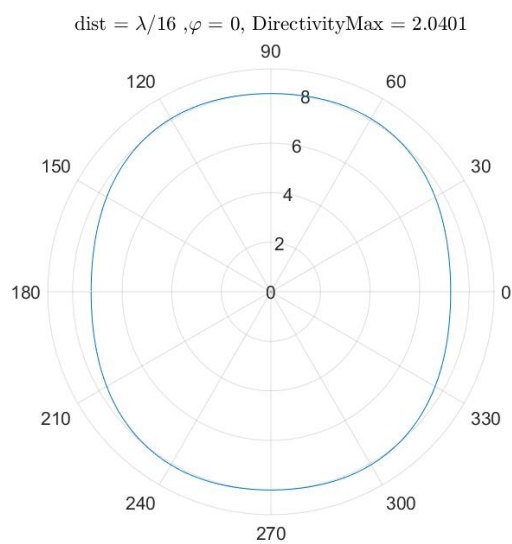
شکل ۵۹: Radiation Pattern and Directivity value



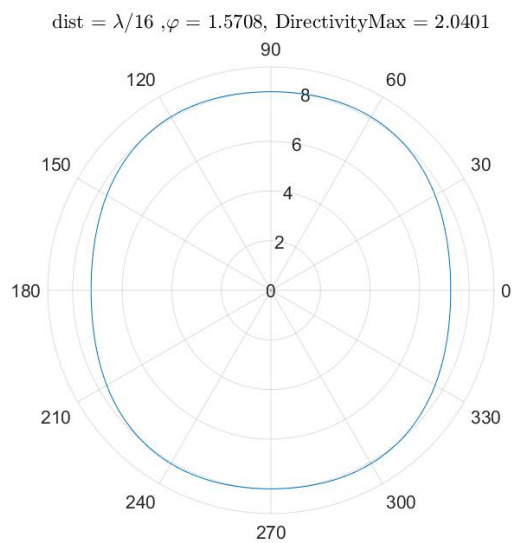
شکل ۶۰: Radiation Pattern and Directivity value

$$N = 8 \quad ۳.۳$$

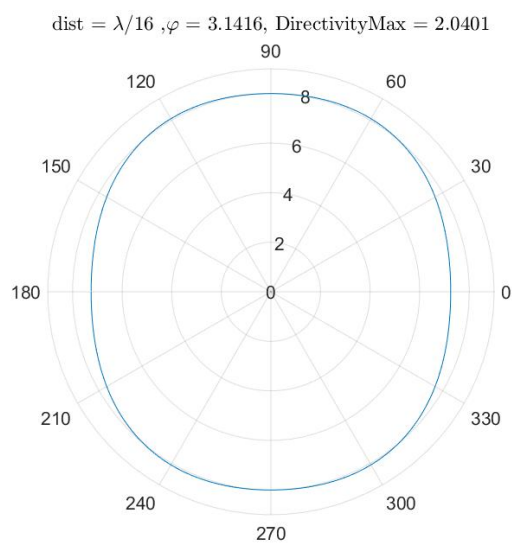
خروجی ها به شکل زیر عرضه می شوند.



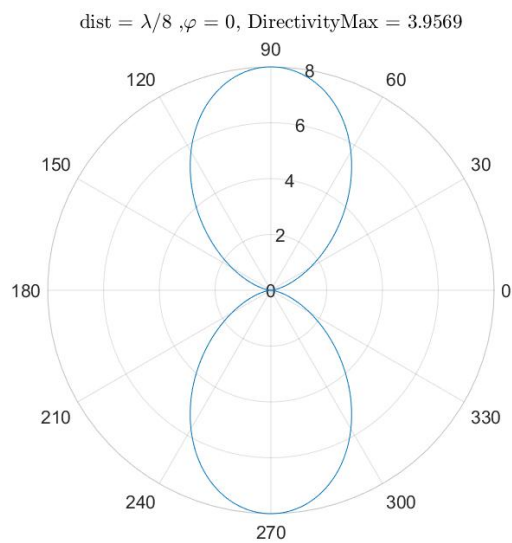
شکل ۶۱: Radiation Pattern and Directivity value



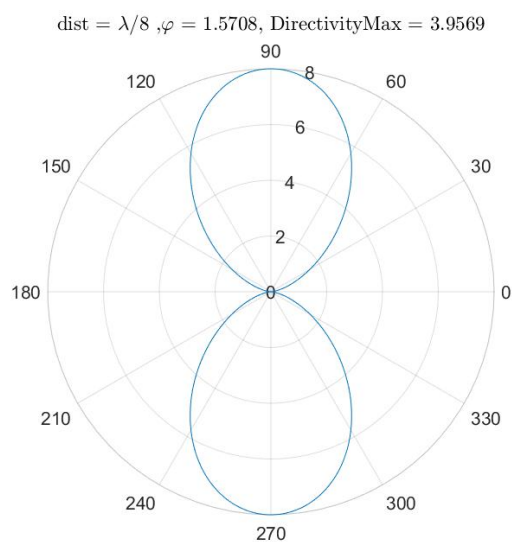
شکل ۶۲: Radiation Pattern and Directivity value



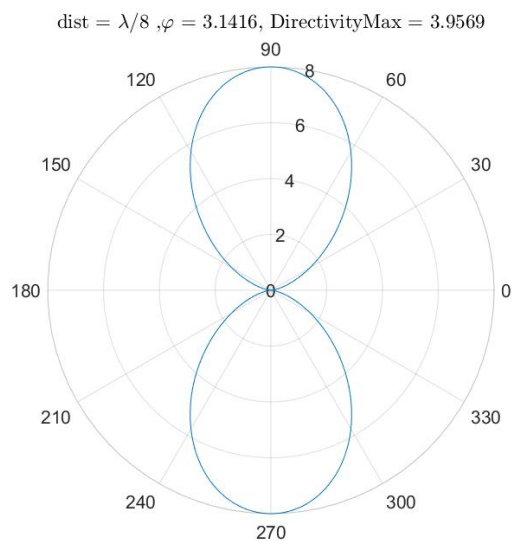
شکل ۶۳: Radiation Pattern and Directivity value



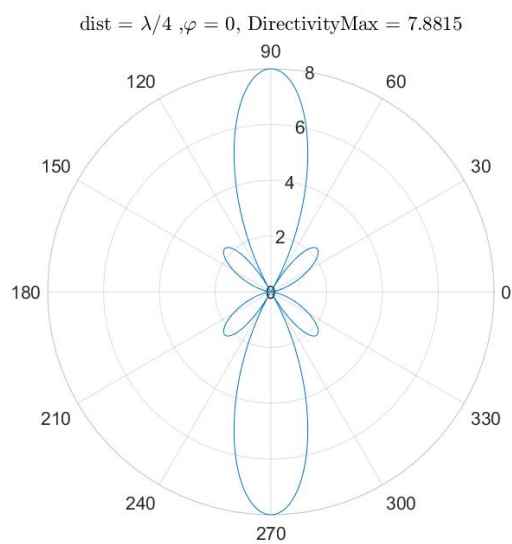
شکل ۶۴: Radiation Pattern and Directivity value



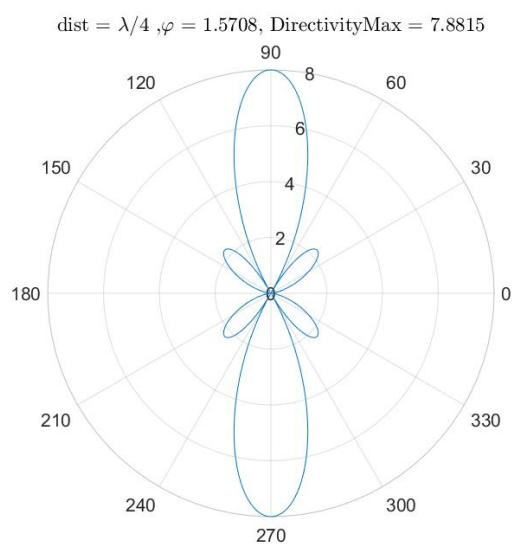
شکل ۶۵: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۶۶: Radiation Pattern and Directivity value

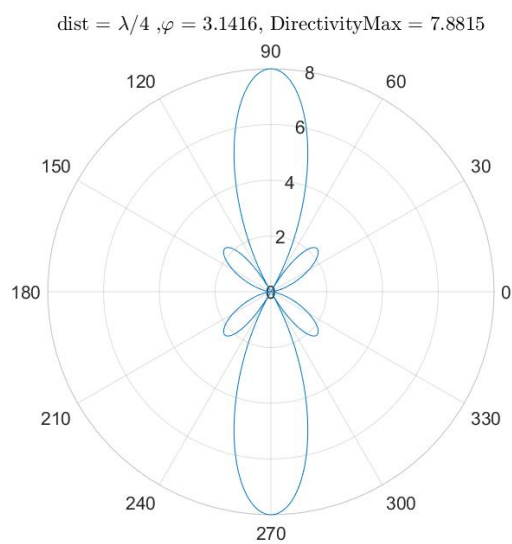


شکل ۶۷: Radiation Pattern and Directivity value

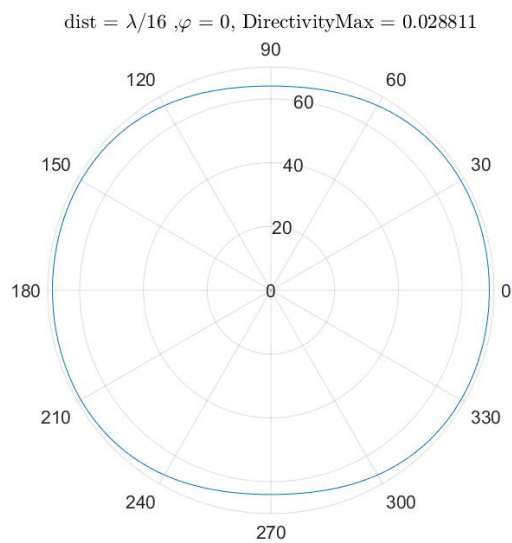


شکل ۶۸: Radiation Pattern and Directivity value

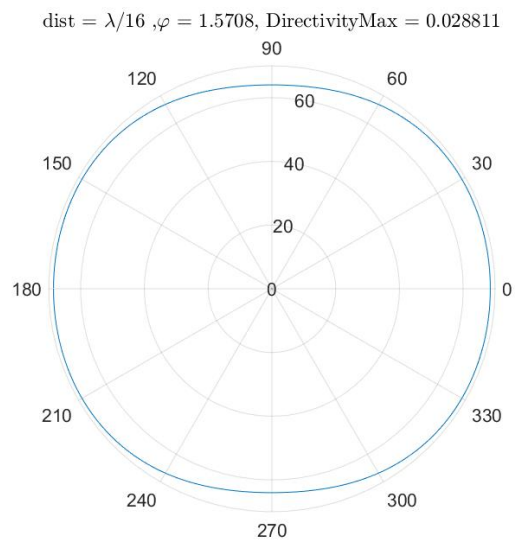




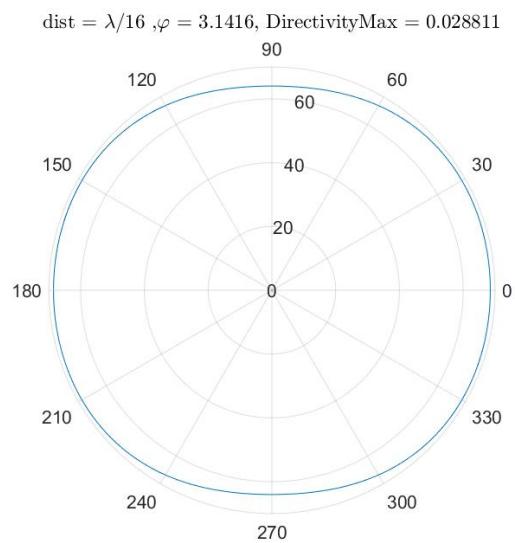
شکل ۶۹: Radiation Pattern and Directivity value



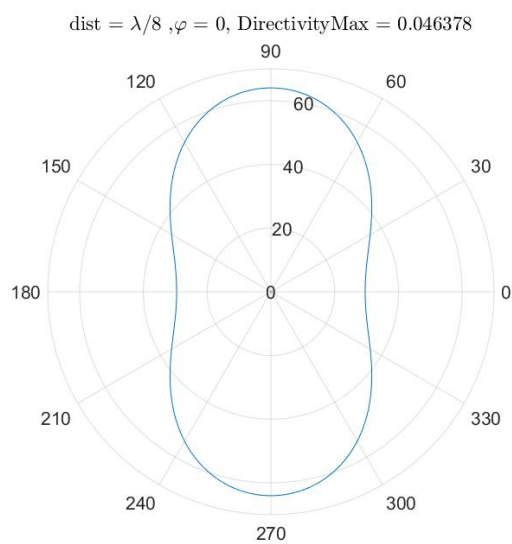
شکل ۷۰: Radiation Pattern and Directivity value



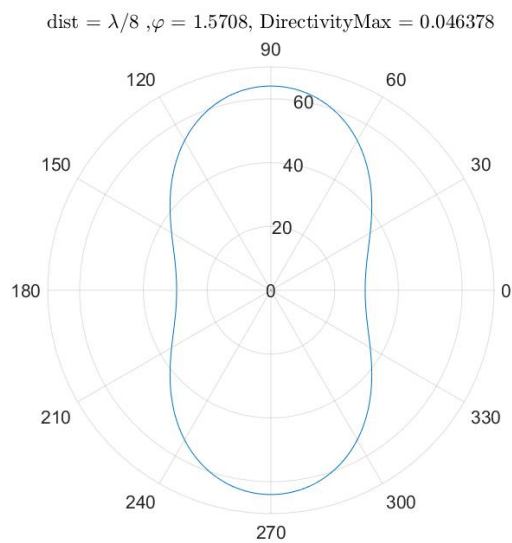
شکل ۷۱: Radiation Pattern and Directivity value



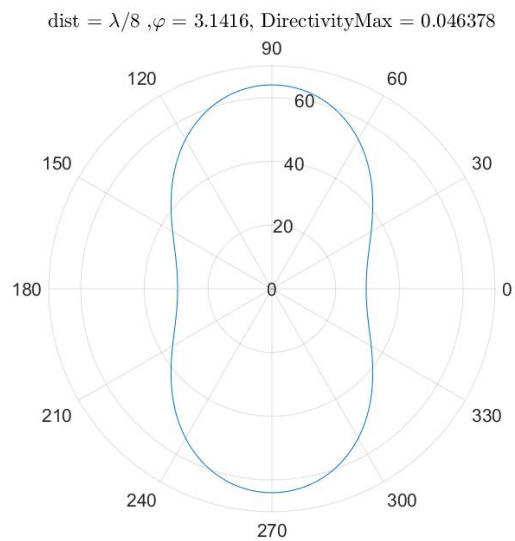
شکل ۷۲: Radiation Pattern and Directivity value



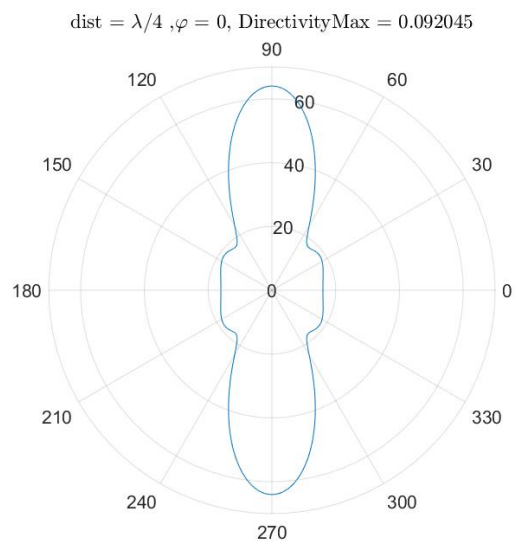
شکل ۷۳: Radiation Pattern and Directivity value



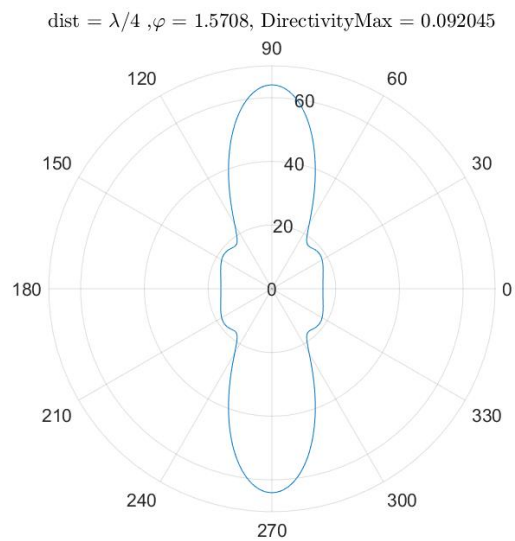
شکل ۷۴: Radiation Pattern and Directivity value



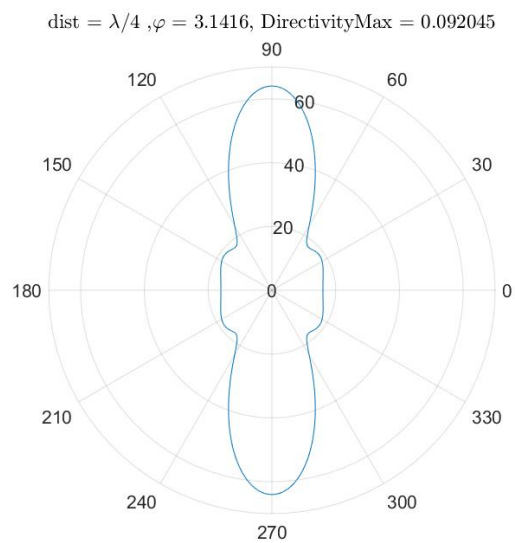
شکل ۷۵: Radiation Pattern and Directivity value



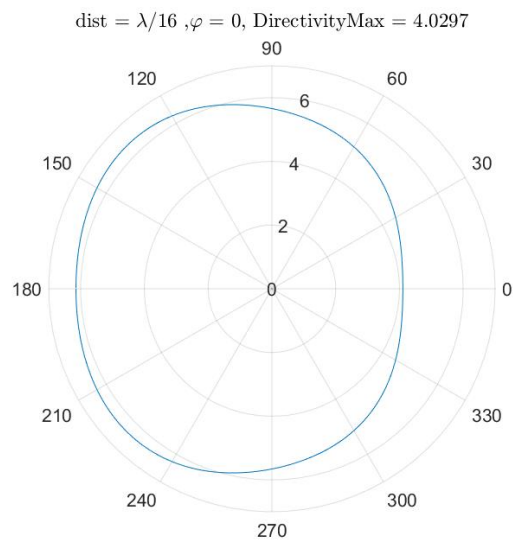
شکل ۷۶: Radiation Pattern and Directivity value



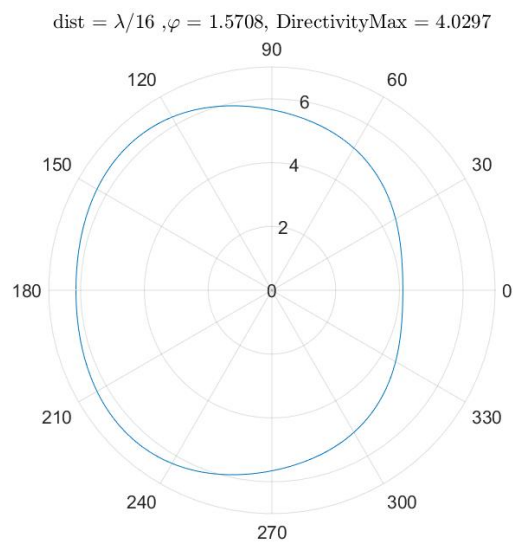
شکل ۷۷: Radiation Pattern and Directivity value



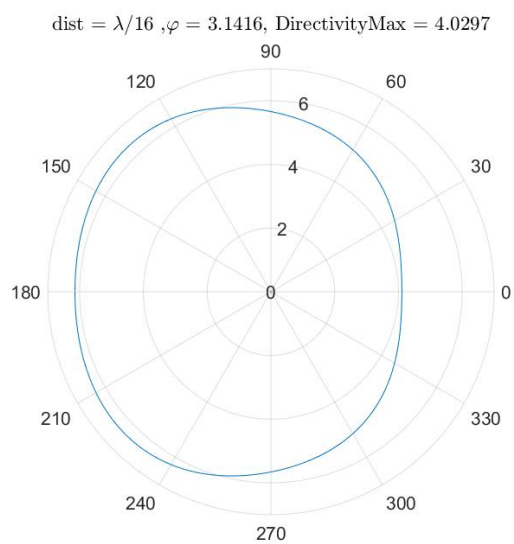
شکل ۷۸: Radiation Pattern and Directivity value



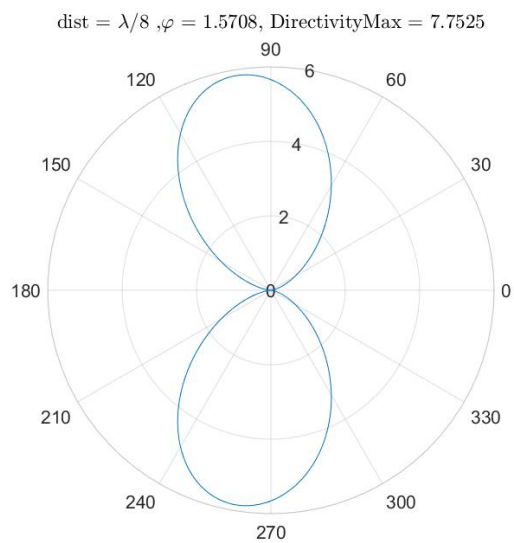
شکل ۷۹: Radiation Pattern and Directivity value



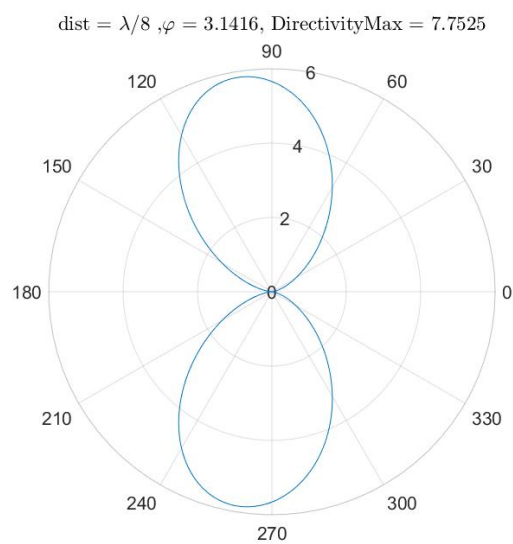
شکل ۸۰: Radiation Pattern and Directivity value



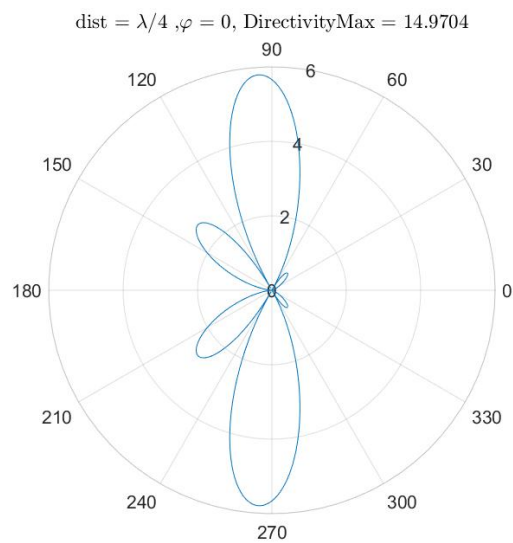
شکل ۸۱: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۸۲: Radiation Pattern and Directivity value

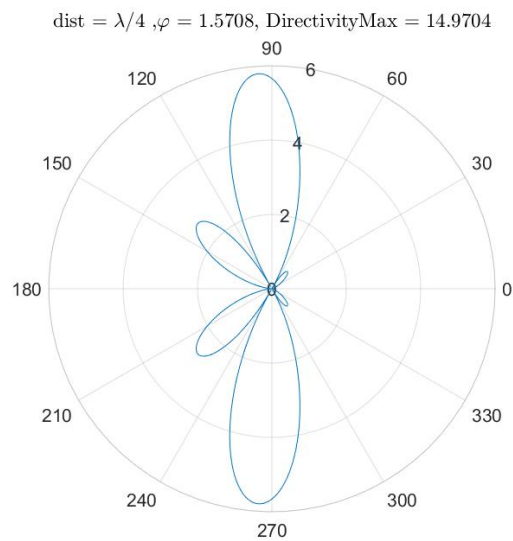


شکل ۸۳: Radiation Pattern and Directivity value

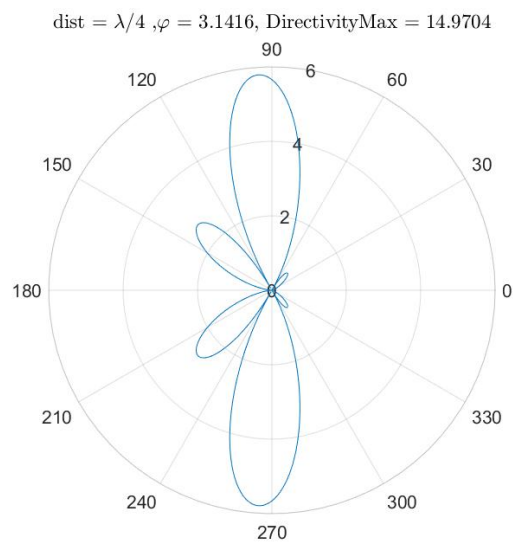


شکل ۸۴: Radiation Pattern and Directivity value





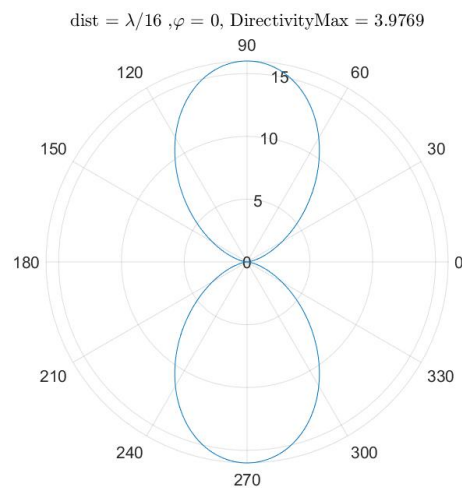
شکل ۸۵: Radiation Pattern and Directivity value



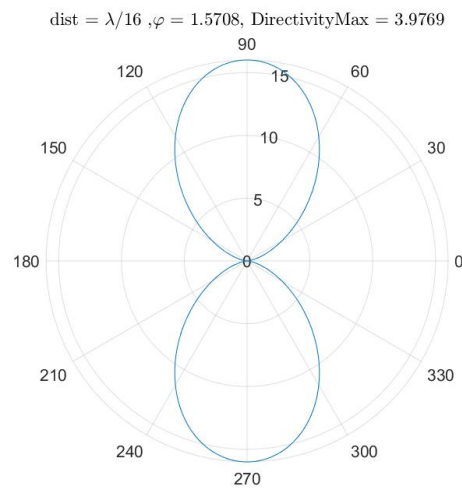
شکل ۸۶: Radiation Pattern and Directivity value

$$N = 16 \quad ۴.۳$$

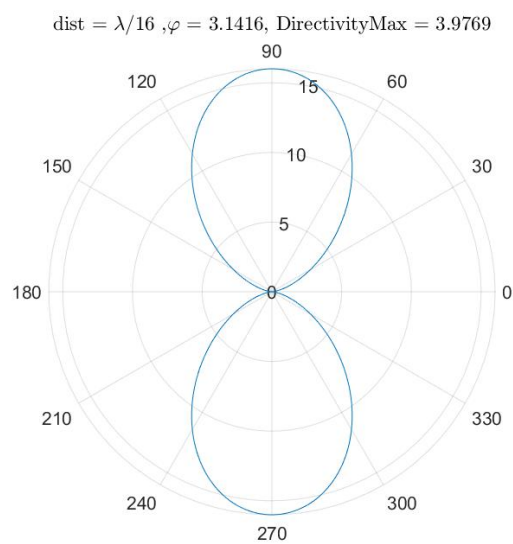
خروجی ها به شکل زیر عرضه می شوند.



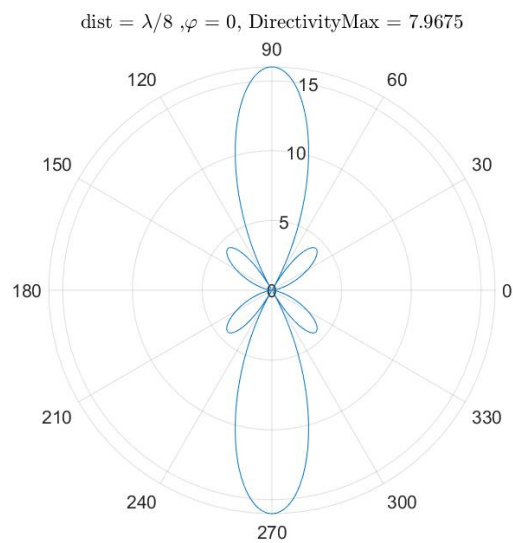
شکل ۸۷: Radiation Pattern and Directivity value



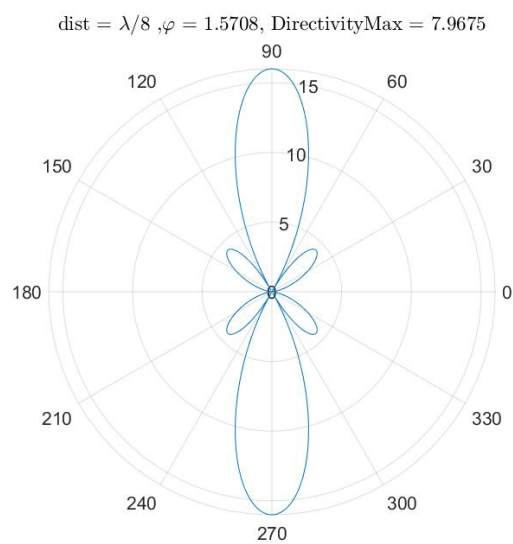
شکل ۸۸: Radiation Pattern and Directivity value



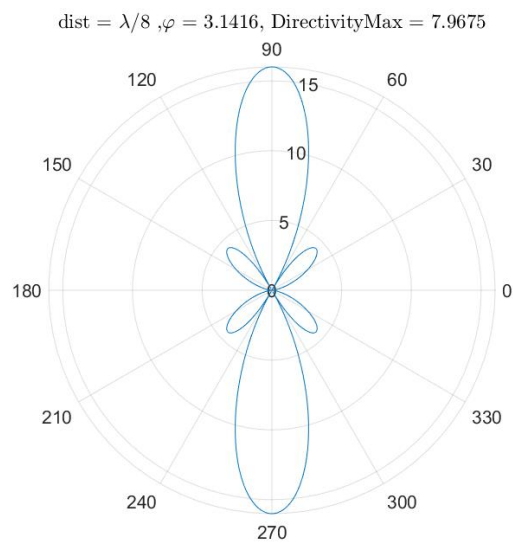
شکل ۸۹: Radiation Pattern and Directivity value



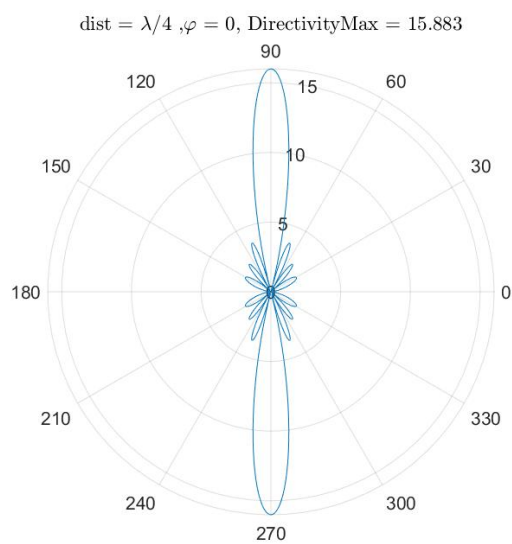
شکل ۹۰: Radiation Pattern and Directivity value



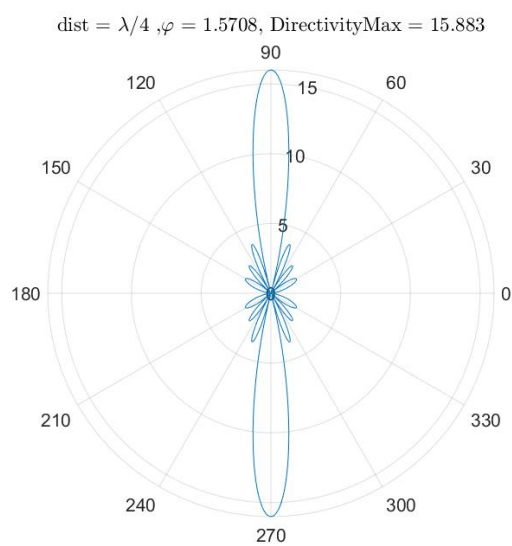
شکل ۹۱: Radiation Pattern and Directivity value



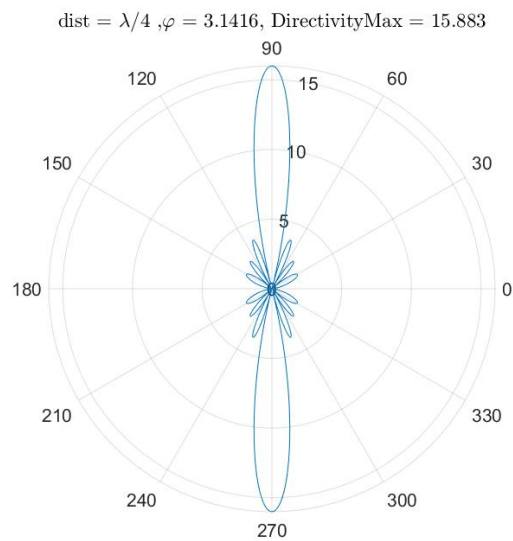
شکل ۹۲: Radiation Pattern and Directivity value



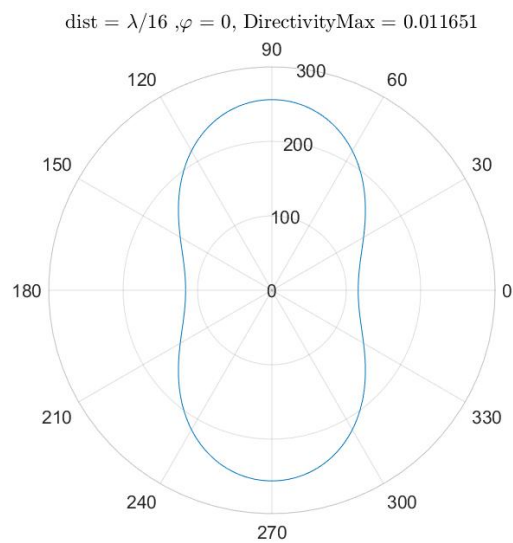
شکل ۹۳: Radiation Pattern and Directivity value



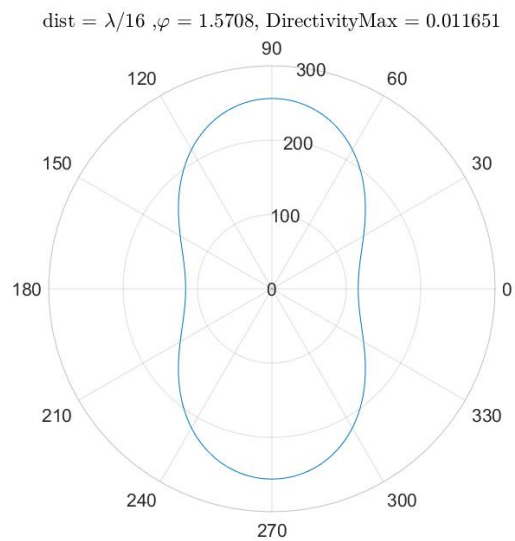
شکل ۹۴: Radiation Pattern and Directivity value



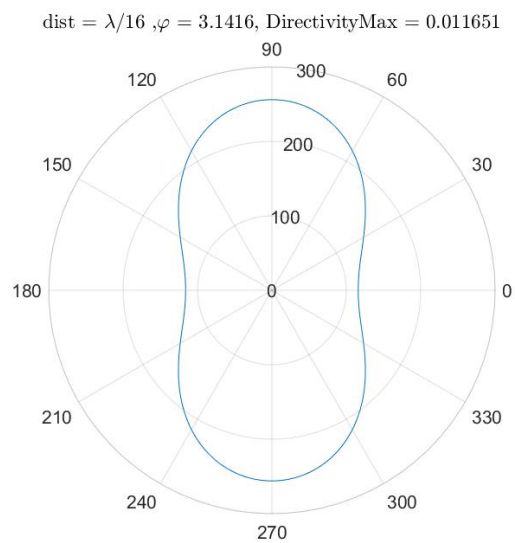
شکل ۹۵: Radiation Pattern and Directivity value



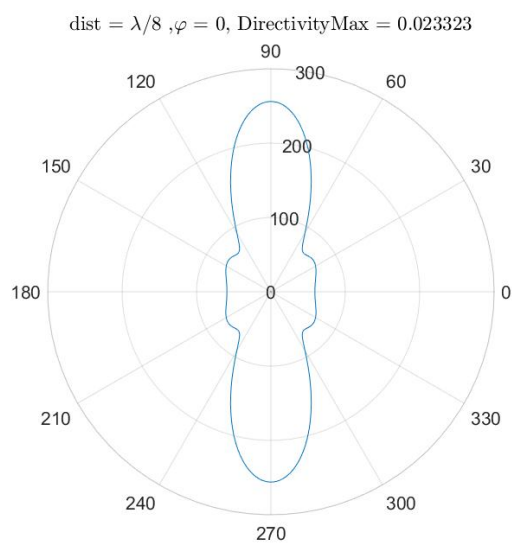
شکل ۹۶: Radiation Pattern and Directivity value



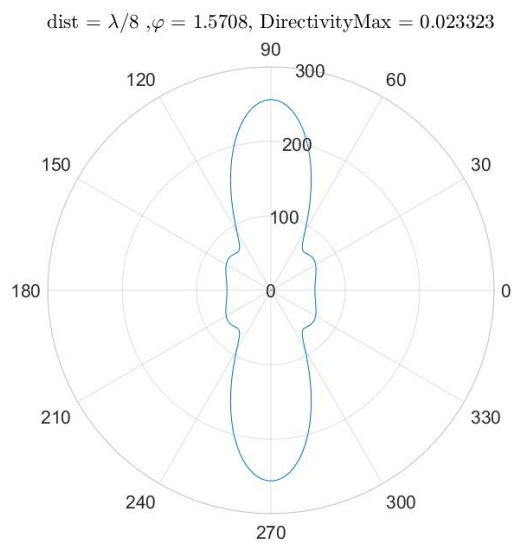
شکل ۹۷: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۹۸: Radiation Pattern and Directivity value

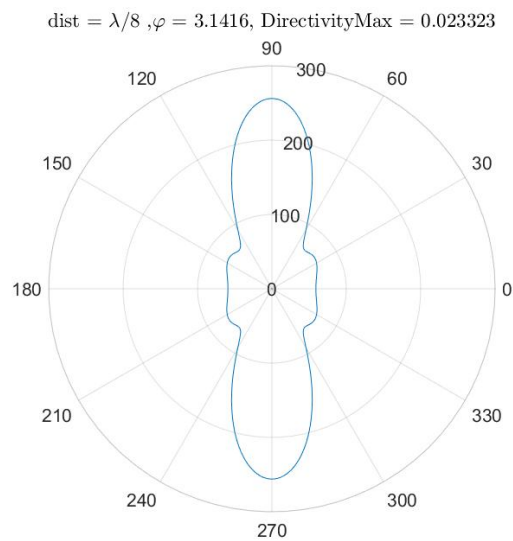


شکل ۹۹: Radiation Pattern and Directivity value

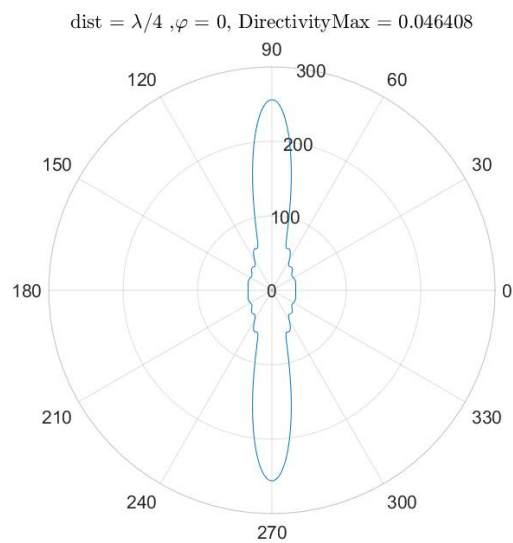


شکل ۱۰۰: Radiation Pattern and Directivity value

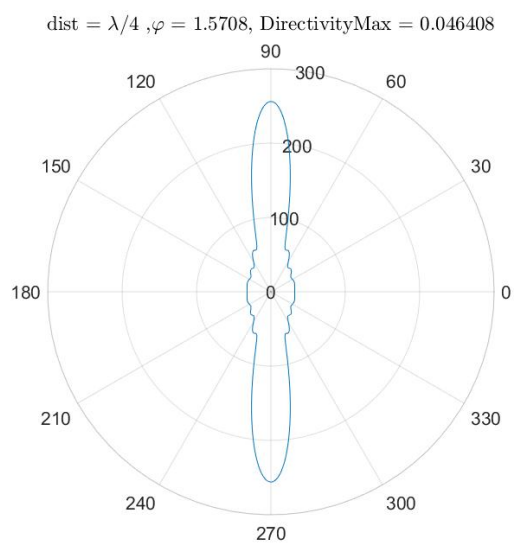




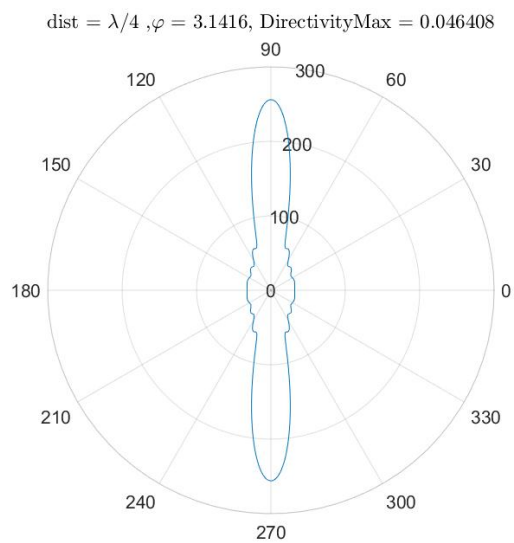
شکل ۱۰۱: Radiation Pattern and Directivity value



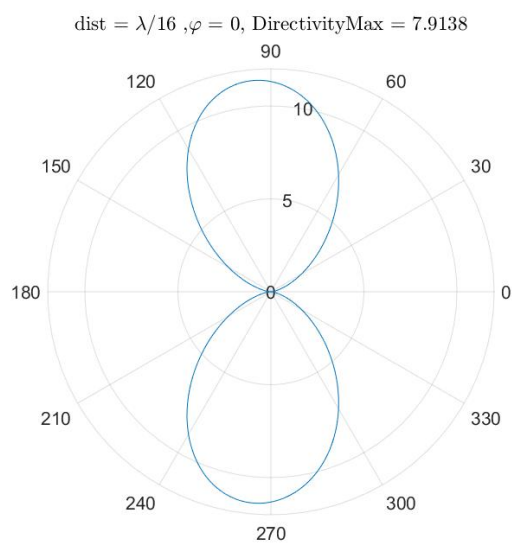
شکل ۱۰۲: Radiation Pattern and Directivity value



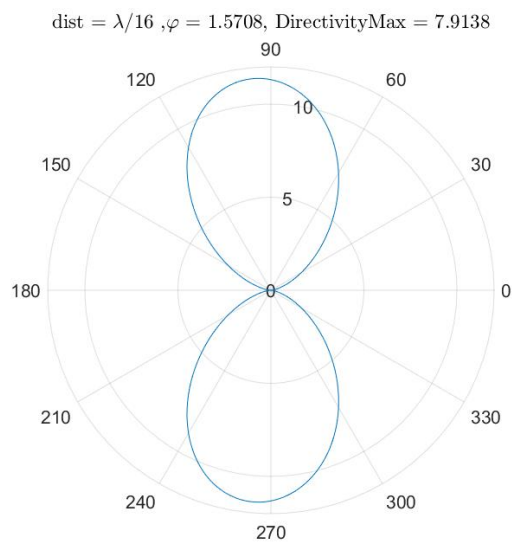
شکل ۱۰۳: Radiation Pattern and Directivity value



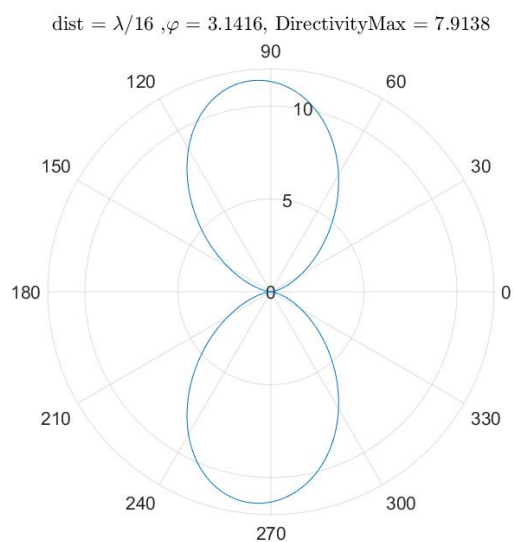
شکل ۱۰۴: Radiation Pattern and Directivity value



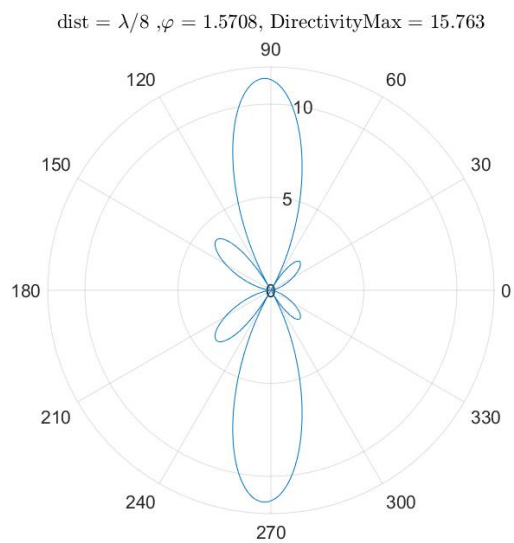
شکل ۱۰۵: Radiation Pattern and Directivity value



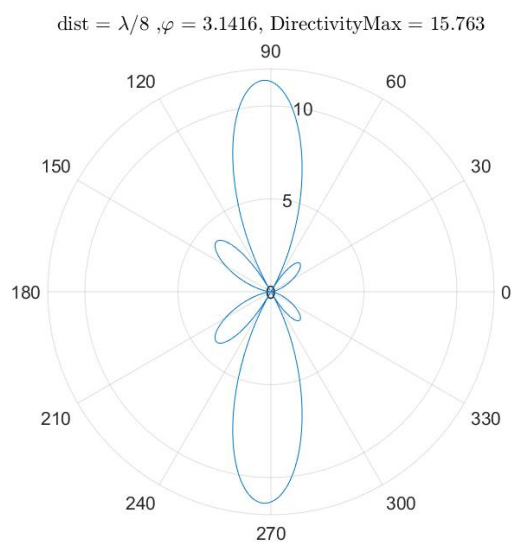
شکل ۱۰۶: Radiation Pattern and Directivity value



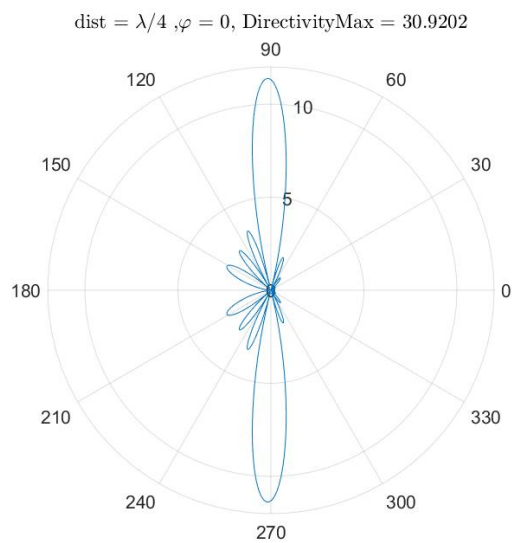
شکل ۱۰۷: Radiation Pattern and Directivity value



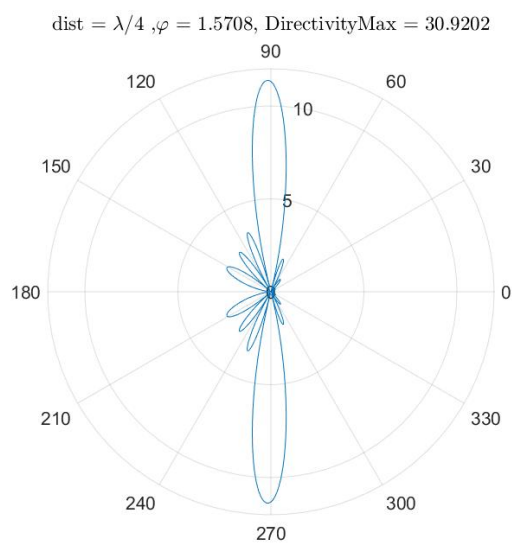
شکل ۱۰۸: Radiation Pattern and Directivity value



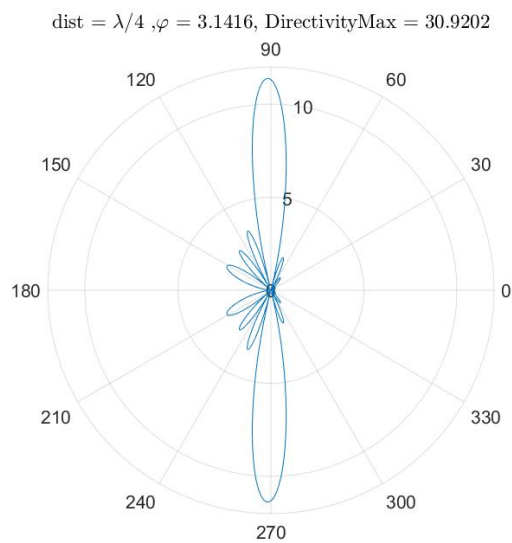
شکل ۱۰۹: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۱۱۰: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۱۱۱: Radiation Pattern and Directivity value



شکل ۱۱۲: Radiation Pattern and Directivity value

## ۴ شبیه‌سازی با کتابخانه MATLAB

در ادامه برای کنجکاوی و کنکاش بیشتر در مفاهیم این آنتن، به بررسی کتابخانه نرم‌افزار برای این آنتن می‌پردازیم. (این مثال و نحوه پیاده‌سازی آن در سایت Mathworks عرضه شده است.)

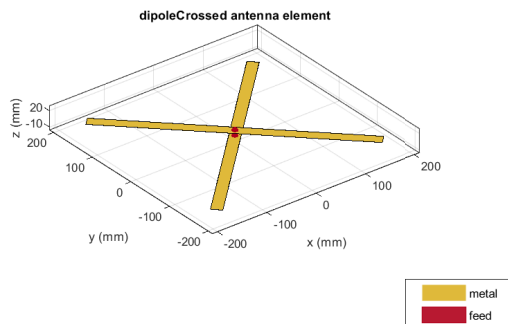
```

1 %Preliminary Values
2 freq    = 300e6;
3 lambda  = 3e8/freq;
4 offset  = lambda/50;
5 spacing = lambda/2;
6 length  = lambda/2.1;
7 width   = lambda/50;
8 anglevar= 0:10:180;
9 freqrange = 200e6:2e6:400e6;
10 gndspacing = lambda/4;
11

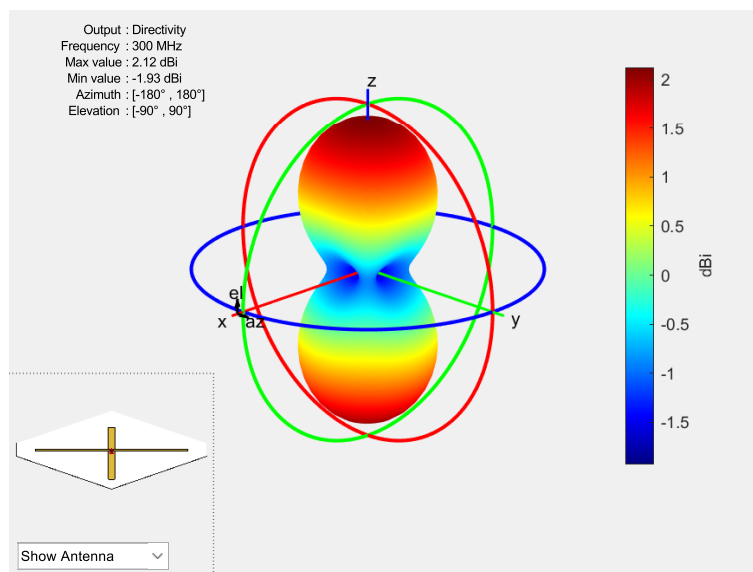
```

Figure 113: Function to calculate Directivity

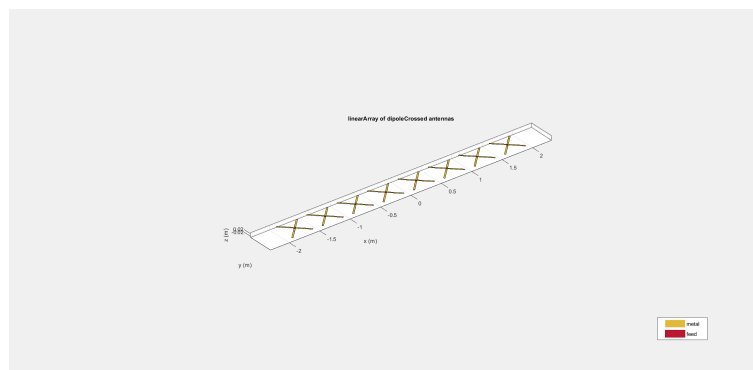
سایر موارد به ترتیب عرضه می‌شوند.



شکل ۱۱۴: Crossed Dipole Antenna

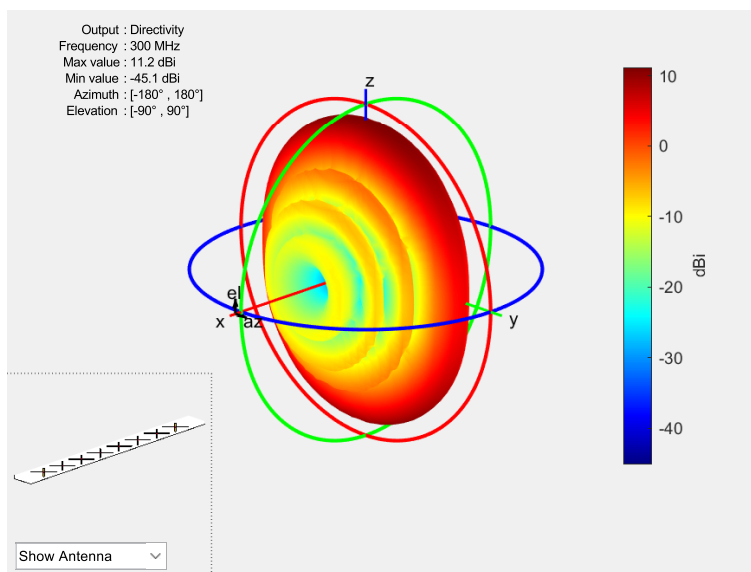


شکل ۱۱۵: Crossed Dipole Antenna Pattern



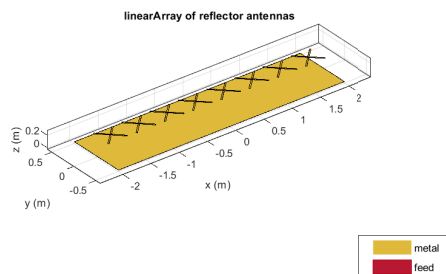
شکل ۱۱۶: Array of Crossed Dipole Antennas Pattern



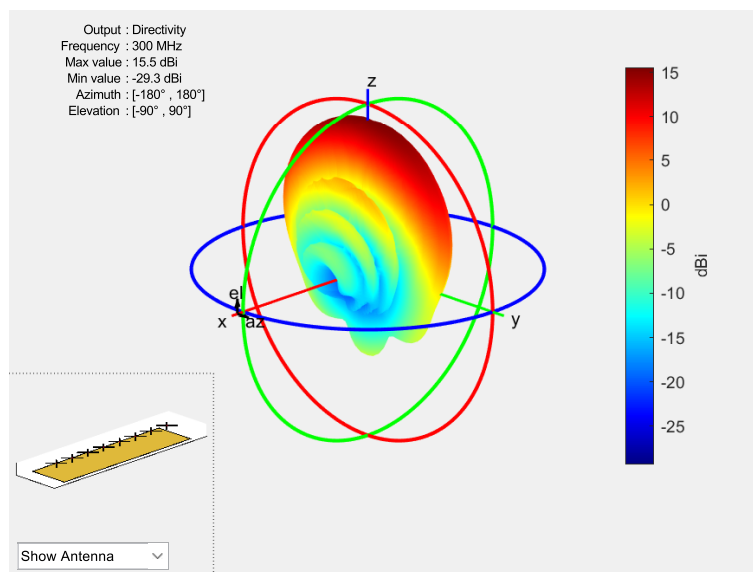


شکل ۱۱۷: Array of Crossed Dipole Antennas Pattern

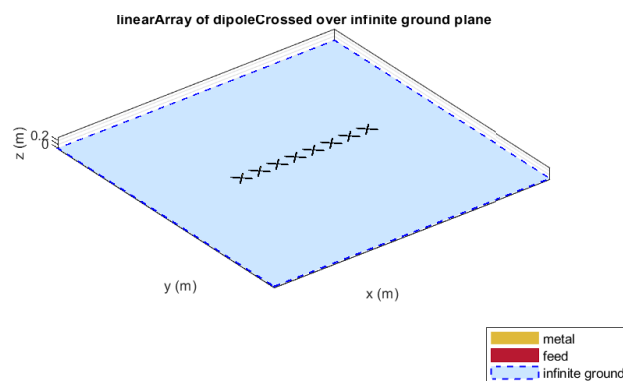
همینطور که قابل ملاحظه است، مقادیر ماکسیمم با کدی که در قسمت قبل ارائه شد تطابق دارد. در ادامه به دو سناریو که یکی صفحه زمین دارد و یکی Reflector برخورد کردم که برایم جالب بود و نتایج را اینجا ضمیمه می‌کنم.



شکل ۱۱۸: Array of Crossed Dipole Antennas with reflector



شکل ۱۱۹: Array of Crossed Dipole Antennas with reflector pattern



شکل ۱۲۰: Array of Crossed Dipole Antennas with ground



## مراجع

- [1] [Jalil Rashed-Mohassel](#), *Antenna theory lecture notes, Spring 02*
- [2] [Reza Faraji-Dana](#), *Fields and Waves lecture notes, Spring 01*