

# ساخت سیم پیچ هلمهولتز

حسن قلمی باویل علیایی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

## مقدمه

ساخت وسیله‌های آزمایشگاهی به شاگردان کمک می‌کند شناخت بهتری از آنچه می‌آموزند به دست آورند. در این مقاله چگونگی ساخت سیم پیچ هلمهولتز بیان شده است.

**کلیدواژه‌ها:** میدان مغناطیسی یکنواخت، سیم پیچ هلمهولتز، پیچه

## محاسبه میدان مغناطیسی در سیم پیچ هلمهولتز

میدان مغناطیسی محوری یک سیم پیچ دایره‌ای حامل جریان  $I$  با  $N$  دور سیم و شعاع  $a$  در نقطه‌ای روی محور آن و به فاصله  $z$  از مرکز سیم پیچ برابر است با:

$$B(z) = \frac{\mu_0 NI}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

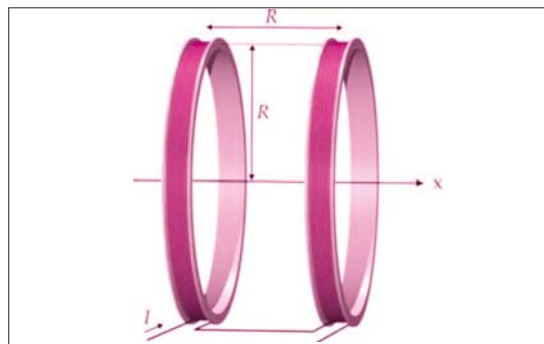
اندازه میدان مغناطیسی تولیدشده توسط پیچه‌های هلمهولتز به شعاع دایره‌ها، تعداد دور سیم پیچ‌ها، فاصله دو سیم پیچ و جریان عبور کرده از پیچه‌ها بستگی دارد. فاصله بین دو صفحه پیچه‌ها طوری انتخاب می‌شود که مشتق دوم  $\vec{B}$  در نقطه‌ای واقع بر محور پیچه‌ها به فاصله مساوی از هر یک از آن‌ها صفر شود.

حال اگر دو سیم پیچ مشابه را در فاصله معینی از یکدیگر قرار دهیم به گونه‌ای که صفحات آن‌ها موازی باشند (شکل ۲) و مبدأ دستگاه مختصات را بین دو سیم پیچ انتخاب کنیم و فاصله دو سیم پیچ را  $a$  بنامیم میدان مغناطیسی برابر است با:

$$B(z) = \frac{\mu_0 NI}{2R} \left[ \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{z-a}{R}\right)^2\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{z+a}{R}\right)^2\right)^{3/2}} \right]$$

هنگامی که  $z=0$  باشد برای  $a < R$  چگالی شار مغناطیسی بیشینه و برای  $a > R$  چگالی شار مغناطیسی کمینه است. برای حالتی که  $a=R$  باشد میدان یکنواخت است، به عبارتی

برای تولید میدان مغناطیسی یکنواخت از سیم پیچ هلمهولتز استفاده می‌شود. یک پیچه هلمهولتز دایره‌ای از دو سیم پیچ دایره‌ای شکل با شعاع و تعداد دور سیم پیچ یکسان تشکیل می‌شود. (شکل ۱) این دو سیم پیچ به صورت هم‌محور قرار گرفته و جریان یکسان  $I$  از هر دو سیم پیچ عبور داده می‌شود. برآیند میدان مغناطیسی این دو سیم پیچ در حوالی نقطه میانی آن‌ها به صورت یک میدان مغناطیسی تقریباً یکنواخت و موازی با محور این سیم پیچ‌ها خواهد بود. سیم پیچ‌ها را به شکل مربعی نیز می‌توان ساخت. پیچه هلمهولتز می‌تواند به صورت یک محوره، دو محوره یا سه محوره ساخته شود و در دو یا سه راستای متعامد میدان مغناطیسی یکنواخت تولید نماید. می‌توان ثابت کرد که در پیچه هلمهولتز دایره‌ای برای داشتن بیشترین میزان یکنواختی لازم است فاصله دو پیچه برابر شعاع پیچه‌ها باشد.



شکل ۱: سیم پیچ هلمهولتز

در ناحیه  $\langle z \rangle \frac{R}{2}$  میدان مغناطیسی یکنواخت خواهیم داشت.

برای نقطه میانی ( $z=0$ ) واقع بر محورها بین سیم‌پیچ‌ها برای  $a=R$  نتیجه می‌شود.

$$B_z = \frac{\mu_0 NI}{a} \left( \frac{5}{4} \right)^{-3/2}$$

### سازوکار سیم‌پیچ هلمهولتز

شکل ۳ طرح سیم‌پیچ هلمهولتز را نشان می‌دهد. در اینجا فاصله بین دو سیم‌پیچ از هم به اندازه شعاع هر سیم‌پیچ است. جریان الکتریکی سیم‌پیچ یکسان است. فاصله بین دو سیم‌پیچ به اندازه شعاع آنهاست، تا میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیه مرکزی بین سیم‌پیچ‌ها ایجاد شود.

مادام که جریان از سیم‌پیچ عبور کند، میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. میدان تولیدشده تقریباً در قسمت مرکز یکسان و یکنواخت است. تا زمانی که فاصله بین سیم‌پیچ‌ها در مجموعه سیم‌پیچ هلمهولتز به اندازه قطر سیم‌پیچ باشد، این حالت برقرار است. با وجود اینکه میدان مغناطیسی در محور سیم‌پیچ با فاصله گرفتن از یک سیم‌پیچ کاهش می‌یابد، مجموع میدان‌های ایجادشده از دو سیم‌پیچ در ناحیه بین آن دو ثابت خواهد بود.

از این پیچ‌ها برای تولید میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیه کوچکی از فضا استفاده می‌شود. با داشتن  $a, N, I$  و با استفاده از رابطه بالا می‌توان  $B$  را به دست آورد.

### طرز ساخت سیم‌پیچ هلمهولتز

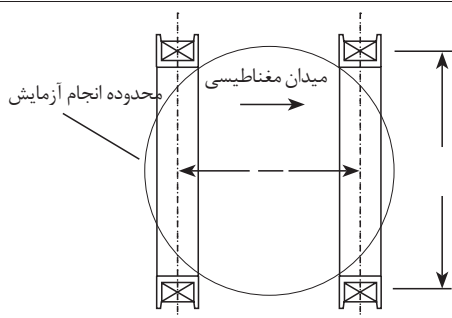
برای ساخت این سیم‌پیچ به صورت زیر عمل می‌کنیم: یک تخته نئوپان به ضخامت  $1/1$  سانتی‌متر انتخاب می‌کنیم و از آن دایره‌ای به ابعاد مشخص شده در شکل زیر را بیرون می‌آوریم. (شکل ۴)

منحنی دایره‌ای بالای نئوپان دارای شعاع  $20$  سانتی‌متر است. قسمت دایره‌ای بعدی که به این تخته متصل می‌شود، باید دارای ضخامت  $1$  سانتی‌متر از جنس فوم باشد. با کاتر حلقه‌ای به شعاع خارجی  $18/5$  سانتی‌متر برش می‌زنیم. عرض این حلقه  $7/5$  سانتی‌متر است.

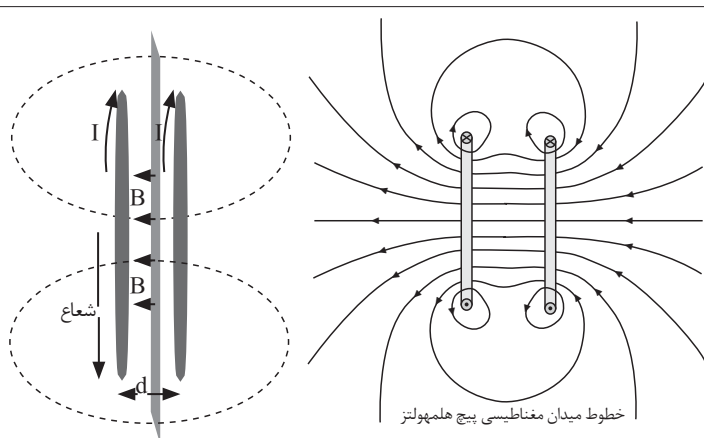
مرحله بعد برش حلقه‌ای از جنس تخته چندلا به ضخامت  $0/4$  سانتی‌متر با شعاع خارجی  $20$  سانتی‌متر و عرض آن  $9$  سانتی‌متر است.

قسمت بالایی حلقه، یک مستطیل کوچک به ابعاد  $3 \times 2$  سانتی‌متر برش می‌زنیم.

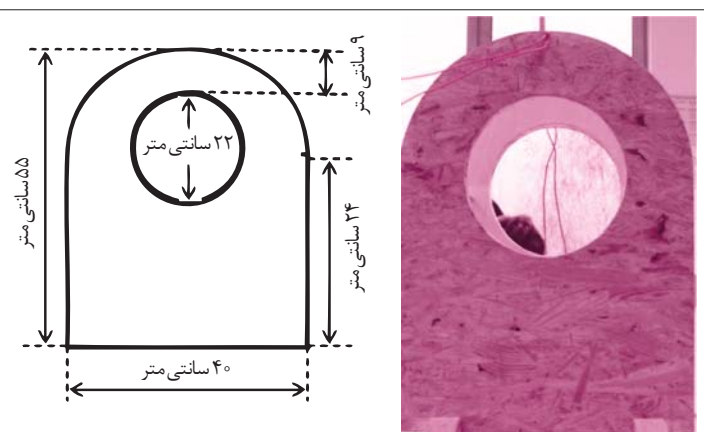
هر سه این مواد (نئوپان، فوم و تخته چندلا) دارای یک



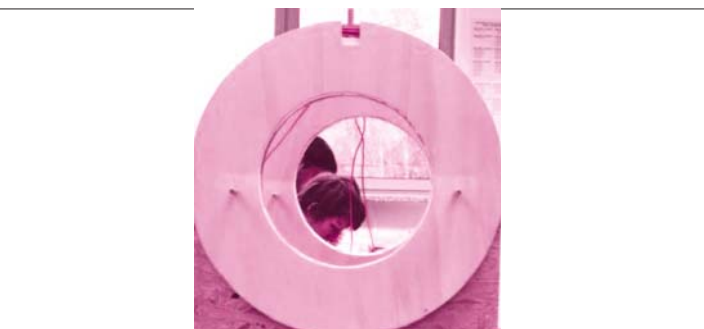
▲ شکل ۲: طرح سیم‌پیچ هلمهولتز



▲ شکل ۳: میدان مغناطیسی ایجاد شده در سیم‌پیچ هلمهولتز



▲ شکل ۴: برش تخته نئوپان برای ساخت سیم‌پیچ هلمهولتز



▲ شکل ۵: برش صفحه از جنس فوم برای ساخت سیم‌پیچ هلمهولتز

سوراخ دایره‌ای به قطر ۲۲ سانتی‌متر هستند. روی اولین صفحه نئوپان، فوم را وصل و تخته چندلا را به آن متصل می‌کنیم. برای این منظور از چسب نجاری استفاده می‌کنیم.

سرانجام یک حلقه روکش‌شده با تخته به دست می‌آید که بین آن حلقه فوم قرار گرفته است. در فاصله بین این دو حلقه چوبی شیار به وجود می‌آید که درون این شیار دقیقاً ۲۰ دور سیم پیچیده می‌شود. قطر سیم استفاده‌شده همراه با عایق ۲/۳ سانتی‌متر است و با این قطر تقریباً ۶۰ متر سیم نیاز دارد. شکل زیر محصول را پس از وصل کردن فوم و تخته چندلا نشان می‌دهد.

در ساخت این سیم‌پیچ هیچ قسمت آهنی نباید استفاده کرد. بالای حفره مستطیل‌شکلی که روی حلقه برش زدیم، یک زائده چوبی به‌عنوان نگهدارنده سیم قرار می‌دهیم.

پس از اینکه ۲۰ دور سیم را دور دیسک پیچیدیم، سیم را بالای زائده چوبی می‌گیریم و دو طرف سیم را به هم متصل می‌کنیم و می‌بندیم. یک تخته چوب به‌عنوان پایه برای این دستگاه تعبیه می‌شود که به طول ۳۵ سانتی‌متر، عرض ۴ سانتی‌متر، و ارتفاع ۵ سانتی‌متر است.

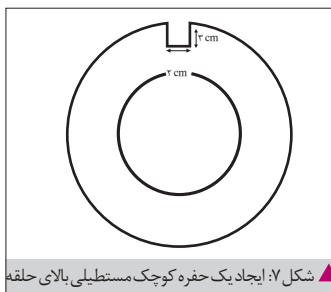
در مرکز این سیم‌پیچ هلمهولتز (یعنی میان این دو دیسک متقارن) یک صفحه چوبی (به کمک ۴ تا نگهدارنده) قرار می‌دهیم و می‌توانیم روی آن تخته قطب‌نما قرار دهیم و نیز زاویه‌سنج را روی آن می‌چسبانیم. از روی آن‌ها می‌توانیم چرخش سوزن مغناطیسی در میدان مغناطیسی همگن ایجادشده درون سیم‌پیچ را بخوانیم. این میدان با تغییر جریان درون سیم‌پیچ ایجاد می‌شود.

هر سیم‌پیچ دو تا اتصال دارد؛ یک سر هر اتصال در سیم‌پیچ به آمپرسنج متصل می‌شود. اتصال دوم در سیم‌پیچ اول به مقاومت ۳۰ اهم وصل می‌شود و در سیم‌پیچ دوم به منبع ولتاژ متصل می‌گردد. از منبع ولتاژ یک سیم دیگر به مقاومت وصل می‌کنیم و به این ترتیب مدار الکتریکی بسته می‌شود. وقتی جریان الکتریکی در سیم‌پیچ هلمهولتز برقرار می‌شود (آن را از روی حرکت قطب‌نمای واقع روی تخته چوبی میان دو سیم‌پیچ می‌فهمیم)، مشاهده می‌کنیم که میدان مغناطیسی نسبتاً همگن است.

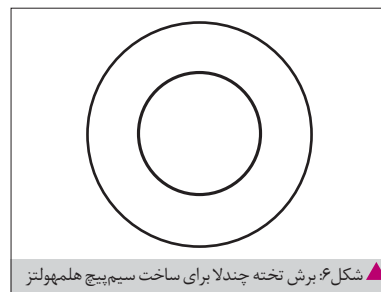
و چنانچه سیم‌ها را اشتباه متصل کنیم، میدان غیر همگن به دست خواهد آمد. عقربه قطب‌نما باید صحیح و سالم انتخاب شود تا جهت درست را نشان دهد.

#### ← منابع

1. Tine Golež, prof., Škofjiska gimnazija Ljubljana, Slovenia. Instructions to make Helmholtz coil
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz-coil> (21. 10. 2013)
۳. فیزیک هالیدی، الکتریسیته و مغناطیس



▲ شکل ۷: ایجاد یک حفره کوچک مستطیلی بالای حلقه



▲ شکل ۶: برش تخته چندلا برای ساخت سیم‌پیچ هلمهولتز



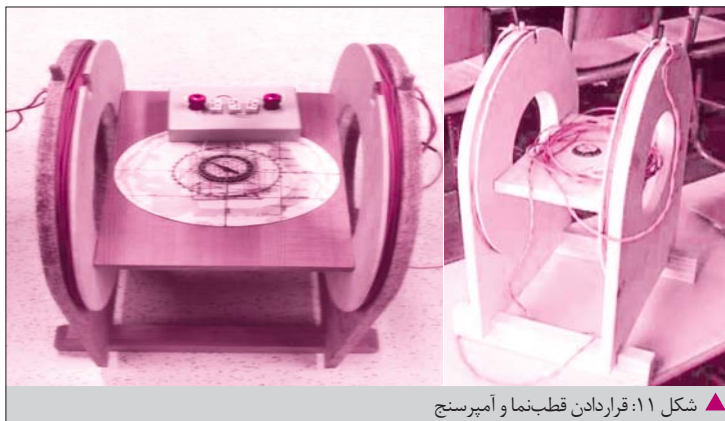
▲ شکل ۹: ایجاد یک زائده چوبی بالای حفره مستطیلی



▲ شکل ۸: اتصال هر سه صفحه حلقه‌ای برش زده شده



▲ شکل ۱۰: تعبیه یک تخته چوب به‌عنوان پایه برای دستگاه



▲ شکل ۱۱: قرار دادن قطب‌نما و آمپرسنج