

شبیه سازی یک سیستم شناساگر مبتنی بر فلزیاب جهت بهبود عملکرد سیستم جراحی ارتوپدی نیل درون اندامی

سیده شبنم حسینی، حمید ابریشمی مقدم

دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

sh_hosseini@ee.kntu.ac.ir , moghadam@eetd.kntu.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک سیستم شناساگر جهت تعیین محل دقیق پیچ‌های قفل‌شونده در سیستم جراحی ارتوپدی نیل درون اندامی شبیه‌سازی و ارائه گردیده است. سیستم نیل درون اندامی ابزار جراحی برای درمان شکستگی‌های ران و ساق به صورت بسته می‌باشد. به دلیل اینکه تنظیمات سیستم به صورت مکانیکی است، در برخی موارد سیستم در تعیین محل پیچ‌های قفل‌شونده‌ی انتهای نیل دچار خطا می‌شود. برای برطرف کردن این خطا یک سیستم شناساگر پیشنهاد گردیده است. در شبیه‌سازی این سیستم شناساگر، از تکنیک‌های متداول که در ساخت فلزیاب‌ها استفاده می‌شود، بهره خواهیم گرفت. با داشتن سیستم شناساگر در کنار سیستم نیل درون اندامی، میزان خطا در تعیین محل پیچ‌های قفل‌شونده در حد قابل قبول قرار خواهد گرفت. کلید واژه- سیستم نیل درون اندامی، پیچ‌های قفل‌شونده، سیستم شناساگر، فلزیاب.

نشان داده شده است.

۱- مقدمه



شکل ۱: درمان شکستگی با سیستم نیل درون اندامی

با توجه به دارا بودن میانگین زمان جوش خوردن و مدت بستری در بیمارستان کمتر، زمان بازگشت به کار زودتر و میزان عفونت پایین‌تر، در مقایسه با دیگر روش‌های درمانی [۴ و ۵]، روش ارجح درمانی محسوب می‌شود. ضعف این سیستم در این است که عمل جراحی به صورت بسته ضمن داشتن تخصص کافی جراح، نیازمند وسایل خاص مانند دستگاه عکس‌برداری حین عمل می‌باشد که در همه مراکز درمانی قابل اجرا نیست. همچنین چون سیستم به صورت مکانیکی راه‌اندازی می‌شود و نیل به صورت ضربه‌هایی به داخل کانال استخوان فرستاده می‌شود، احتمال جابه‌جایی نیل کمی به بالا و یا پایین از محل

امروزه عمل‌های ارتوپدی جهت درمان شکستگی پیشرفت‌های چشم‌گیری داشته است. همچنین تکنیک‌ها و ابزارآلات ارتوپدی مدام در حال تغییر در جهت عملکرد بهتر و مطمئن‌تر می‌باشند. سیستم نیل درون اندامی^۱، سیستمی برای درمان شکستگی‌های ران و ساق به صورت بسته می‌باشد. برای جراحی، ابتدا با استفاده از ابزارآلاتی که درون ست است سوراخی در بالای استخوان^۲ شکسته شده (ران یا ساق) ایجاد و مغز استخوان توسط ابزاری خارج می‌شود^۳. سپس میله (نیل) متناسب با طول و قطر استخوان، درون استخوان جایگذاری می‌گردد. البته قبل از جایگذاری، نیل روی ابزارآلاتی سوار می‌شود که مکان دریل کردن جهت جایگذاری پیچ‌های انتهای نیل را می‌توان از طریق آنها تنظیم کرد. در انتها، پیچ‌های قفل‌شونده^۴ دو عدد در بالا و دو عدد در پایین استخوان^۵ پیچ خواهند شد [۱ و ۲ و ۳]. در شکل ۱ سیستم نیل درون اندامی برای درمان شکستگی استخوان ساق

¹ Interlocking Nail Instrument

² Proximal

³ Reamer

⁴ Locking Screw

⁵ Distal

تنظیم شده (در برخی موارد حدود ۱-۱/۵ سانتی متر در شکستگی‌های ران) و خارج شدن سیستم نیل درون اندامی از تنظیم اولیه وجود دارد. در این حالت تنظیمات سیستم مکان دقیق پیچ‌های قفل‌شونده در انتهای نیل را نشان نخواهد داد. با توجه به این توضیحات نیاز مبرم به یک سیستم شناساگر جهت مکان‌یابی پیچ‌های انتهای نیل کاملاً احساس می‌شود. روش پیشنهادی برای این شناساگر، استفاده از امواج مغناطیسی و تشخیص تاثیر نیل بر میدان مغناطیسی می‌باشد که این روش همان تکنیک مورد استفاده در فلزیاب‌ها است.

در این مقاله به منظور شبیه‌سازی سیستم شناساگر، ابتدا در بخش ۲ درباره‌ی نحوه‌ی عملکرد انواع فلزیاب‌ها به صورت اجمالی مباحثی بیان می‌گردد. همچنین توضیحاتی پیرامون خواص مغناطیسی و الکتریکی پوست، ماهیچه، استخوان و نیل داده می‌شود. در بخش ۳ برنامه‌های شبیه‌سازی نظیر Maxwell برای تعیین تغییرات میدان مغناطیسی فلزیاب در حضور نیل و در نتیجه تغییرات اندوکتانس سلف موجود در فلزیاب و برنامه Pspice برای مدل‌سازی مدار فلزیاب و تشخیص تغییر فرکانس در مدار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بخش ۴ نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها گردآوری می‌شوند و نتیجه‌گیری و جمع‌بندی در بخش ۵ بیان می‌گردد.

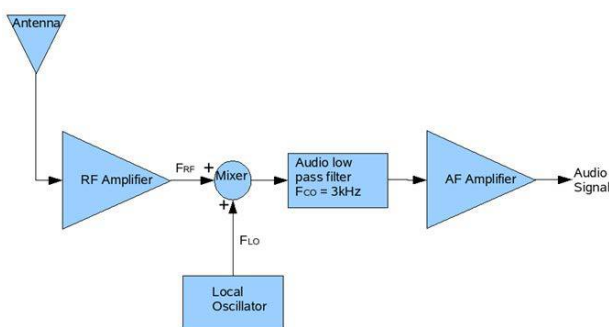
۲- روش کار

در ادامه گذری بر نحوه عملکرد فلزیاب‌ها خواهیم داشت به بررسی خواص مواد می‌پردازیم.

۲-۱- اساس کار فلزیاب‌ها

اصول کاوش در سیستم‌های فلزیاب معمولاً بر اساس تغییرات شدت میدان مغناطیسی سیم‌پیچ مدار، اختلاف فاز بین دو موج، بر هم زدن تعادل القایی مدار و یا آشکارسازی تغییرات فرکانس می‌باشد [۶]. سیم‌پیچ فرستنده یک میدان مغناطیسی تولید می‌کند. این میدان مغناطیسی روی فلز اثر می‌گذارد و در آن یک جریان گردابی ایجاد می‌کند. این جریان گردابی تولید شده به نوبه خود یک میدان مغناطیسی که در جهت مخالف با میدان فرستنده است، تولید می‌کند. این تغییر در شدت میدان مغناطیسی، توسط فلزیاب تشخیص داده می‌شود. از بین کاوشگرها، فلزیاب‌های BFO^6 ، PI^7 ، VLF^8 از شهرت بیشتری

برخوردارند. لذا تنها به معرفی این سه دسته اکتفا می‌نماییم. **فلزیاب BFO:** این دسته از جمله ساده‌ترین انواع فلزیاب‌ها می‌باشد. بلوک دیاگرام این نوع فلزیاب در شکل ۲ نشان داده شده است. این نوع فلزیاب‌ها از تغییرات حوزه‌ی مغناطیسی سیم‌پیچ خود بهره می‌گیرند. قسمت اصلی دستگاه را دو نوسان-ساز تشکیل می‌دهد. این دو نوسان‌ساز دارای دامنه نوسان برابر و همچنین فرکانس‌های برابر یا نزدیک به هم می‌باشند. یکی از نوسان‌سازها به عنوان مبنا انتخاب می‌شود و نوسان‌ساز دیگر توسط اندوکتانس سیم‌پیچ جستجو تنظیم می‌گردد. هنگامی که فرکانس دو نوسان‌ساز به هم نزدیک شود، در خروجی مخلوط-کننده، دو فرکانس حاصل می‌شود که معادل اختلاف و حاصل-جمع فرکانس دو نوسان است. برای حذف فرکانس حاصل جمع از یک فیلتر پایین گذر استفاده می‌شود. اختلاف فرکانس در باند فرکانس صوتی قرار می‌گیرد و پس از تقویت شدن توسط گوشی یا بلندگو به وضوح شنیده می‌شود. یکی از معایب این سیستم بهره‌گیری از دو نوسان‌ساز در مدار می‌باشد. زیرا ممکن است فرکانس‌ها تغییر کنند و دستگاه به طور متناوب نیاز به تنظیم داشته باشد. این عیب با استفاده از کریستال در نوسان‌ساز تا حد بسیار زیادی رفع می‌شود.



شکل ۲: بلوک دیاگرام فلزیاب BFO [۷]

فلزیاب PI: نحوه عملکرد این کاوشگر بدین صورت است که موجب ارسال یک پالس واحد می‌شود و سپس به سرعت سیم-پیچ را به یک مدار گیرنده‌ی حساس، سوئیچ می‌کند و منتظر مستهلک شدن جریان گردابی القا شده در مدت زمان ارسال پالس می‌شود. زمان به صفر رسیدن ولتاژ در حضور فلز طولانی تر خواهد شد. موج حاصل از سیم پیچ ابتدا تقویت شده و سپس از آن نمونه برداری می‌شود و در لحظه ای که سیگنال به صفر می‌رسد، از نمونه مورد نظر انتگرال گرفته می‌شود. خروجی انتگرال گیر یک سیگنالی است که با مدت زمان میرایی متناسب است. این ولتاژ، فرکانس نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO)

⁶ Beat Frequency Oscillator

⁷ Pulse Induction

⁸ Very Low Frequency

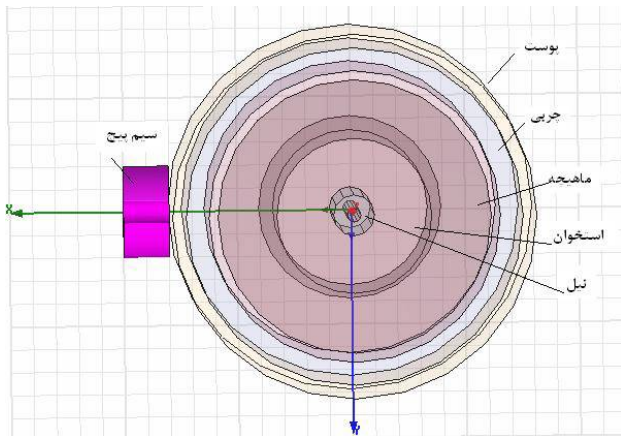
را تغییر داده و فرکانس حاصل از بلندگو شنیده می‌شود.

۲-۳- برنامه های شبیه سازی

برنامه‌ای که می‌توان از آن برای مدل کردن پا و سیستم شناساگر و تغییرات میدان مغناطیسی در اثر حرکت پا و تاثیر آن بر اندوکتانس استفاده کرد، برنامه Maxwell 13 ساخت شرکت Ansoft می‌باشد. همچنین از برنامه Pspice جهت ترسیم مدارات فلزیاب از قبیل نوسان‌سازها، ضرب‌کننده سیگنال، فیلتریگ و تقویت کننده سیگنال استفاده شده است.

۳- شبیه‌سازی سیستم شناساگر

برای شبیه‌سازی ابتدا مدل ساق پا با ابعاد مشخص شده در [۱۰] در محیط Maxwell و به صورت سه بعدی طراحی شد. ابعاد سیم‌پیچ (سنسور سیستم شناساگر) مهم‌ترین اثر را در شبیه سازی خواهد داشت. هرچه قطر سیم‌پیچ بزرگتر باشد عمق نفوذ میدان مغناطیسی بیشتر خواهد بود ولی در آن صورت حساسیت سنسور به اجسام با قطر کوچک از بین خواهد رفت. به همین دلیل ابعاد سنسور در حدود قطر نیل و سوراخ پیچ‌های قفل‌شونده انتهایی نیل در نظر گرفته شد: سیم‌پیچی با قطر خارجی ۲ سانتی‌متر، قطر داخلی ۰/۵ سانتی‌متر، طول ۱ سانتی-متر، جریان عبوری ۱ آمپر و تعداد دور ۲۰۰ دور در نظر گرفته شده است. مدل شبیه‌سازی شده در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: مدل سازی ساق پا و سنسور سیستم شناساگر

حال مدل ساق پا را در امتداد محور Y ها، ۴ سانتی متر حرکت می‌دهیم نمودار تغییر اندوکتانس سنسور در شکل ۳ نشان داده شده است. تغییر اندوکتانس در حدود ۴ میکرو هانری است.

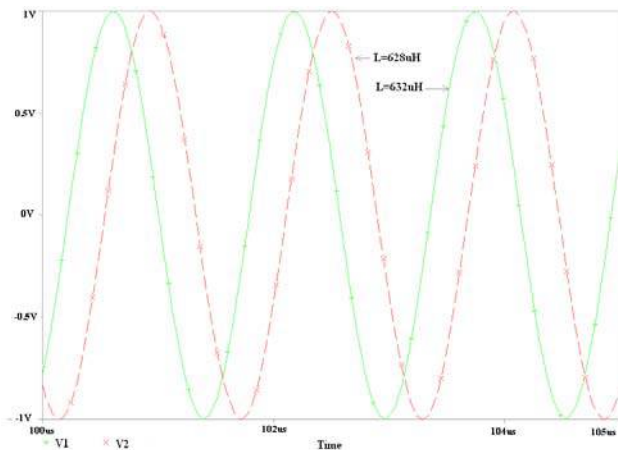
فلزیاب VLF: فرکانس‌های واقع شده در محدوده‌ی فرکانسی ۳ تا ۳۰ کیلوهرتز فرکانس‌های خیلی پایین می‌باشند. با پایین آمدن فرکانس، امواج به عمق بیشتری می‌توانند نفوذ کنند. سیستم‌های زاویه فاز به دلیل استفاده از تکنیک دیجیتال نسبت به سیستم‌های دیگر دارای قیمت پایین‌تری هستند. این نوع فلزیاب دارای دو سیم‌پیچ است. یکی از آنها به یک طبقه بافر که مانع تغییر فرکانس مدار توسط سیم‌پیچ می‌شود، متصل است. سیم‌پیچ دوم به یک تقویت‌کننده متصل است که این طبقه موج مربعی هم فرکانس با نوسان‌ساز تولید می‌کند. خود نوسان‌ساز هم به یک تقویت‌کننده متصل است تا موج مربعی تولید کند. حال اگر فلزی در نزدیکی سیم‌پیچ وجود داشته باشد، اختلاف فازی بین دو سیگنال مربعی حاصل می‌گردد که این اختلاف فاز باعث آشکارسازی فلز می‌شود. لازم به ذکر است که برای فلزات آهنی اختلاف فاز افزایش و برای فلزات غیر آهنی اختلاف فاز کاهش می‌یابد.

۲-۲- بررسی خواص مواد

برای شبیه‌سازی سیستم شناساگر، می‌بایست نسبت به خواص نیل و مواد و بافت‌های بدن که در ارتباط با سیستم شناساگر می‌باشند، اطلاعات کافی داشت. نیل‌های درون اندامی تقریباً به شکل استوانه‌هایی توخالی با قطر داخلی ۵ میلی‌متر و قطر خارجی متغییر ۸-۱۳ میلی‌متر و با طول‌های ۲۸۵ تا ۴۴۰ میلی‌متر موجود می‌باشند. قطر سوراخ پیچ‌های قفل‌شونده در انتهایی نیل برابر ۵ میلی‌متر است. نیل‌ها از جنس فولاد زنگ‌نزن پایه‌ی ۳۱۶ آل با نفوذپذیری نسبی (μ_r) ۱ و رسانایی (σ) ۱/۳۵ مگا زیمنس بر متر می‌باشند. رسانایی بافت‌هایی از بدن که مابین سیستم شناساگر و نیل قرار دارند در جدول ۱ نشان داده شده است. رسانایی تمامی بافت‌ها با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد [۹و۸]. فولاد زنگ‌نزن به نسبت بافت‌ها از رسانایی بالاتری برخوردار است و در نتیجه تاثیر مطلوب را بر سیستم شناساگر خواهد گذاشت.

جدول ۱: رسانایی چند بافت در فرکانس‌های مختلف

بافت	رسانایی (زیمنس بر متر)		
	۱ Mhz	۱۰۰ Khz	۱۰ Khz
استخوان	$2/435e-2$	$2/079e-2$	$2/043e-2$
ماهیچه	$5/027e-2$	$3/619e-2$	$3/408e-2$
چربی	$2/508e-2$	$2/441e-2$	$2/383e-2$
پوست	$1/324e-2$	$4/513e-4$	$2/041e-4$



شکل ۵: سیگنال های ورودی (اسیلاتور محلی و اسیلاتور متصل به سنسور) به مدار تشخیص اختلاف فرکانسی در دستگاه شناساگر.

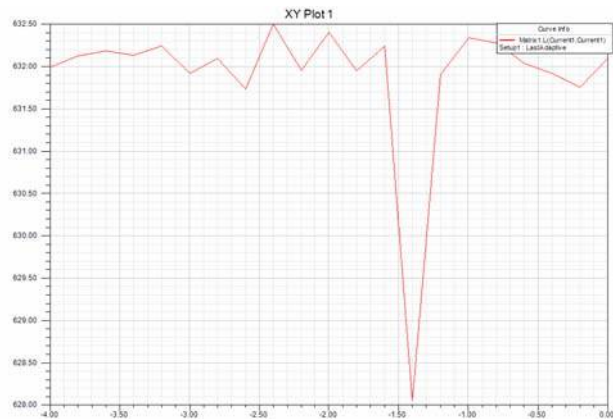
در شکل ۶- الف، خروجی مدار مخلوط کننده در دستگاه شناساگر نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود این سیگنال حامل فرکانس جمع و تفریق دو فرکانس ورودی می باشد. خروجی فیلتر پایین گذر در شکل ۶- ب و خروجی تقویت کننده (آپ- امپ) در شکل ۶- ج ارائه شده است. خروجی تقویت کننده می تواند به یک گوشی متصل شود. هرچقدر اختلاف فرکانس بیشتر شود فاصله ضربان ها در گوشی کمتر خواهد شد. اگر فرکانس دو سیگنال یکسان باشد خروجی آپ- امپ یک سیگنال ۵ ولت خواهد بود و در این صورت صدایی از گوشی شنیده نخواهد شد. معمولاً برای تنظیم اولیه دستگاه از همین خاصیت استفاده می شود.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک سیستم شناساگر جهت بهبود عملکرد ست نیل درون اندامی ارائه و شبیه سازی گردید. اگر بتوان دقت را با تنظیم کردن سنسور دستگاه به حالت بهینه نزدیک کرد به طوری که اختلاف فرکانس در راستای نیل به حداکثر خود برسد، می توان از آن به عنوان ابزار کمکی برای مشخص کردن مکان نیل و در نتیجه مکان پیچ های قفل شونده در انتهای نیل در ست جراحی ارتوپدی استفاده کرد. سعی مولف در این است که در آینده این سیستم شناساگر به صورت سخت افزاری پیاده و ساخته شود و مورد بهره برداری در مراکز درمانی قرار گیرد.

سپاسگزاری

از سرکار خانم مهندس سارا مداح که در طول انجام پروژه کمک شایانی به اینجانب نموده اند، بدین وسیله تقدیر به عمل می آید.



شکل ۴: تغییر اندوکتانس سنسور با جابجایی مدل پا، محور افقی: فاصله، محور عمودی: اندوکتانس.

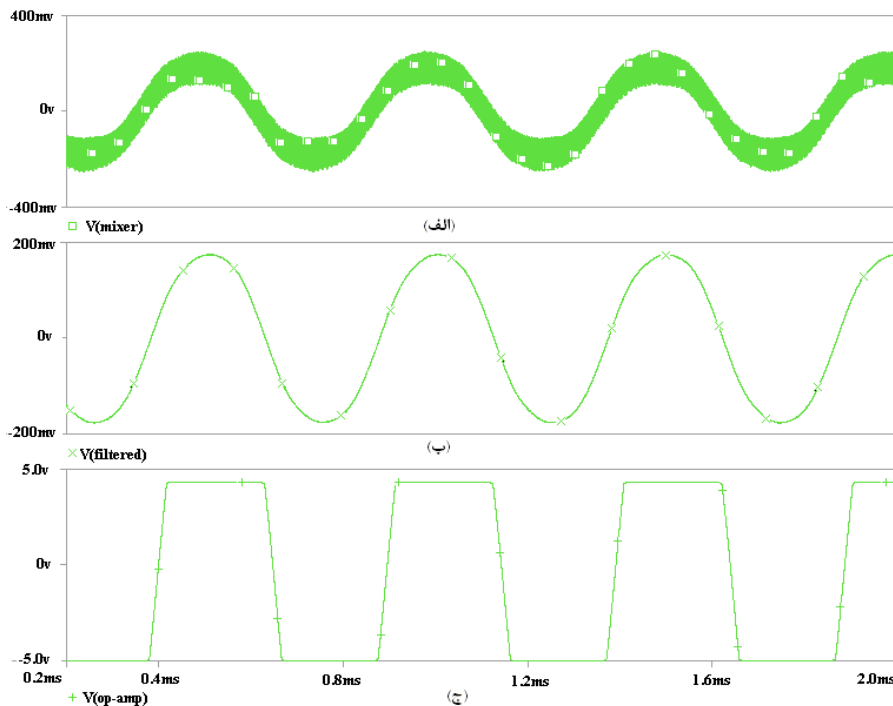
برای تشخیص مکان نیل لازم است که یک سیستم فلزیاب طراحی شود. در سیستم فلزیاب شبیه سازی شده، از تکنیک مورد استفاده در BFO استفاده شده است. بدین صورت که از دو نوسان ساز استفاده می شود. بعد از ضرب کردن دو سیگنال، با یک فیلتر پایین گذر مولفه ی فرکانس پایین که همان اختلاف فرکانسی دو سیگنال می باشد، جداسازی و سپس توسط یک تقویت کننده، تقویت خواهد شد. مدار نوسان ساز طراحی شده، یک نوسان ساز کولپیتس با خازن های ۰/۱ و ۱۰ نانو فاراد و سلف با اندوکتانس ۶۲۸-۶۳۲ میکرو هانری (خروجی گرفته شده از شبیه سازی در Maxwell) می باشد. از معادله ۱ برای محاسبه فرکانس نوسان استفاده می کنیم.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.(C_1.C_2/(C_1+C_2))}} \quad (1)$$

با کم شدن اندوکتانس، فرکانس افزایش می یابد. با عناصر مداری گفته شده، فرکانس مدار نوسان ساز برای اندوکتانس های ۶۲۸ و ۶۳۲ میکرو هانری، به ترتیب ۶۳۸/۵۸۰ و ۶۳۶/۵۶۴ کیلوهرتز می شود. برای جداسازی فرکانس اختلاف، یک مخلوط کننده دیودی طراحی شده است که در خروجی آن یک فیلتر پایین گذر RC با فرکانس قطع در حدود ۷ کیلو هرتز قرار داده می شود.

۳-۱- نتایج

در شکل ۵ سیگنال های نوسان ساز که یکی به عنوان مرجع در مدار فلزیاب مورد استفاده قرار می گیرد، نشان داده شده است. اختلاف فرکانسی این دو سیگنال در حدود ۲ کیلو هرتز است.



شکل ۶: الف) سیگنال خروجی مخلوط کننده. ب) سیگنال فیلتر شده. ج) سیگنال تقویت شده برای ارسال به گوشی.

مراجع

- [۴] مرتضی دهقان و همکاران "مقایسه نتایج درمانی شکستگی تنه استخوان تیبیا با روش ثابت کردن با پلاک و کارگذاری میله داخل استخوانی" مجله دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۵، صفحات ۴۲-۴۵.
- [۵] ناصر صرافان و همکاران "درمان شکستگی های باز تنه استخوان تیبیا به وسیله میخ های اینترلاک بدون ریم تیبیا" مجله جراحی استخوان و مفاصل ایران، شماره ۲، زمستان ۱۳۸۴، صفحات ۱۱۰-۱۱۶.
- [۶] محمدرضا عزیزی "اصول طراحی و ساخت دستگاه های فلزیاب"، انتشارات مارلیک، ۱۳۷۸.
- [7] HSC Technical Wiki, available at: <http://wiki.hsc.com>
- [8] S. Saha and P. Williams, "Electric and dielectric properties of wet human bone cancellous bone as a function of frequency" *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, Vol. 39, No. 12, pp. 1298-1304, 1992.
- [9] C. Gabriel et al, "The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey" *phys. Med. Biol.*, Vol 41, pp. 1231-2249, 1996
- [10] University of England, available at: www-personal.une.edu.au/~pbrown3/skeleton.pdf.

- [۱] محمد روحی و همکاران، "درمان شکستگی باز استخوان ساق پا با روش flexible medullary nailing"، مجله دانشگاه علوم پزشکی بابل، دوره دهم، شماره ۲، خرداد ۱۳۸۷، صفحه ۶۷-۶۲.
- [۲] خدامراد جمشیدی و همکاران، "نتایج درمان جراحی شکستگی باز استخوان درشت نی با میله داخل کانال از نوع بدون تراش"، مجله دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد، شماره ۸۵، سال چهل و هفتم، پاییز ۱۳۸۳، صفحه ۳۲۳-۳۱۹.
- [۳] فردین میرزا طلوعی و همکاران، "نتایج درمان شکستگی های سگمنتال استخوان تیبیا با روش میله گذاری داخل کانال به صورت بسته"، مجله پزشکی ارومیه، شماره ۴، سال دوازدهم، زمستان ۱۳۸۰، صفحه ۳۳۰-۳۲۳.