

شبیه‌سازی حسگر قندخون ماکروویو

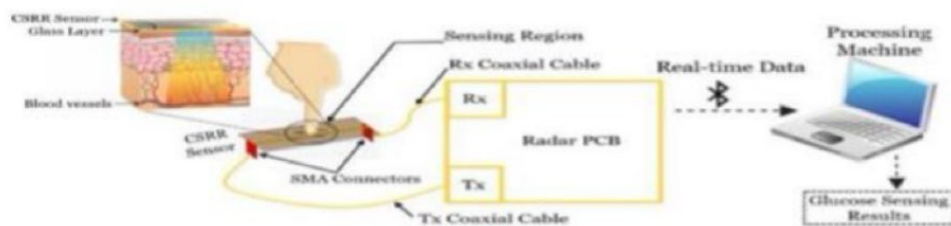
۴۹

۱-۴- روش پیشنهادی

در این پایان‌نامه از نرم‌افزار HFSS برای شبیه‌سازی الکترومغناطیس با استفاده از ساختارهای سه بعدی استفاده شده است. این نرم‌افزار دارای سرعت و دقت بالا به منظور شبیه‌سازی ساختارها در فرکانس‌های مختلف است. همچنین این نرم‌افزار از پارامترهای S و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی برای محاسبات مرتبط با این پایان‌نامه برخوردار است. توضیحاتی از معرفی نرم‌افزار و مراحل مربوط به ایجاد پروژه در نرم‌افزار HFSS در پیوست شماره ۱، ارائه شده است. در ادامه در خصوص شبیه‌سازی حسگر ارائه شده در مقاله‌ی مرجع [۲۹] در نرم‌افزار HFSS توضیحات ارائه خواهد شد.

۲-۴- ایجاد ساختار حسگر قند خون مایکروویو در محیط شبیه‌سازی

ساختار حسگر قند خون در مقاله‌ی مرجع [۲۹]، به صورت شکل ۱-۴ است. ساختار پیشنهادی چنانکه نشان داده شده به صورت لانه‌ی زنبوری است. در شکل ۱-۴ الف طرح‌واره از سامانه‌ی حسگری که برای اندازه‌گیری قندخون به صورت غیرتهاجمی با امواج مایکروویو طرح شده را نشان می‌دهد. شکل ۱-۴ ب پیکربندی CSRR در صفحه، شکل ۱-۴ ج نمونه‌ی ساخته شده از نمای بالای برد و شکل ۱-۴ د نمای پایین برد و موجبر ریزنوار زیرین را نشان می‌دهد.



(الف)



(د)

(ج)

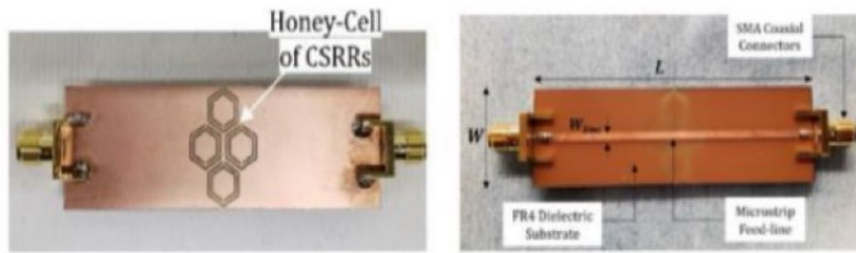
(ب)

شکل ۴-۱- حسگر قندخون پیشنهادی: (الف) طرح‌واره‌ی سامانه‌ی حسگری قند خون؛ (ب) پیکربندی CSRR در صفحه؛ (ج) نمونه‌ی ساخته شده از نمای بالا؛ (د) نمای پایین و خط ریزنوار [۲۹].

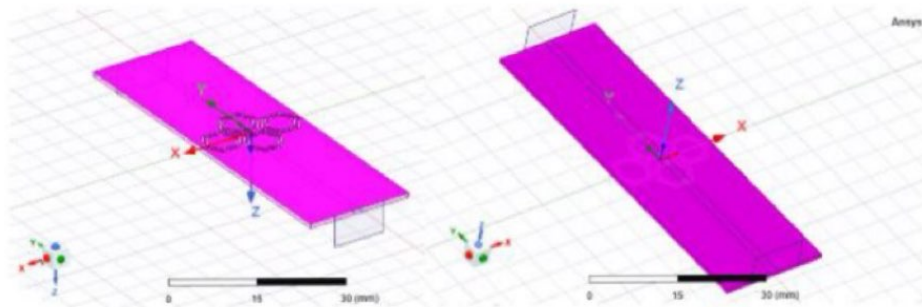
برای شبیه‌سازی حسگر گلوکز قند خون، ابتدا در چند مرحله ساختار حسگر را باید طراحی کرد و سپس تنظیمات نرم افزار شبیه‌ساز را برای رسیدن به نمودارهای مورد نظر انجام داد. در ادامه در این خصوص توضیحات لازم در پیوست ۱ ارائه خواهد شد. مراحل مطابق با پیوست ۱ انجام شده است و نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۳- مقایسه‌ی نتایج کسب شده در این پژوهش با نتایج مقاله‌ی مرجع

ساختار واقعی حسگر ارائه شده در مرجع ۲۹ مطابق شکل ۴-۲-الف است. این ساختار مطابق مرحله‌ی که پیشتر بیان شد در نرم افزار HFSS ایجاد شد. در شکل ۴-۲-ب ساختار ایجاد شده در نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

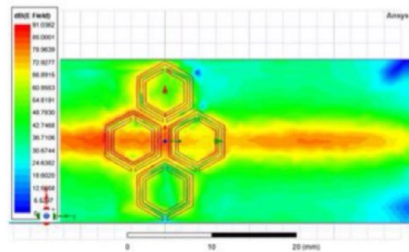
شکل ۲-۴- ساختار اصلی: الف) ساختار پیشنهادی در مرجع [۲۹]؛ ب) ساختار ترسیم شده در این پژوهش.

در این حسگر ساختارهای CSRR به صورت شش ضلعی مطابق شکل ۴-۱ استفاده شده است که ابعاد آن‌ها در جدول ۴-۱ ذکر شده است. با فرکانس ۳ گیگاهرتز توزیع میدان در این ساختار به صورت شکل ۴-۳ است. شکل ۴-۳ الف توزیع میدان در مرجع ۲۹ و شکل ۴-۳ ب توزیع میدان با استفاده از نرم افزار را نشان می‌دهد.

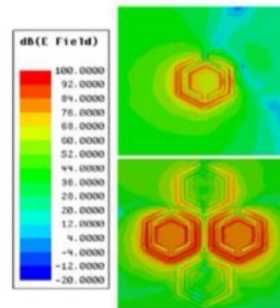
جدول ۴-۱: پارامترهای مقاله [۲۹].

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
w	۲۰	Cw	۱۲
L	۶۶	a	۷.۶

۰.۴	t	۰.۸	h
۰.۴	g	۷.۶	C_L (فشرده)
۰.۴	s	۱۲.۶	C_L (پراکنده)



(ب)

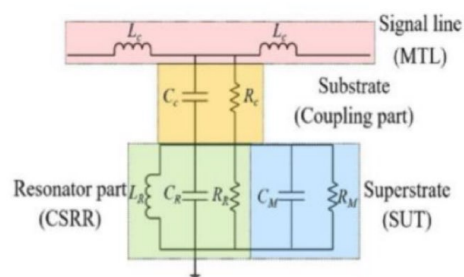


(الف)

شکل ۴-۳- نمایش توزیع میدان الکتریکی: (الف) توزیع میدان در مرجع [۲۹]: (ب) توزیع میدان بدست آمده در این پژوهش.

مدل الکتریکی حسگر پیشنهادی مرجع ۲۹ در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. حسگر ارائه شده دارای دو پورت است و در فرکانس کاری مانند فیلتر میان گذر عمل می‌کند. در واقع برای تست قند خون باید پارامتر S_{21} را در نظر گرفت.

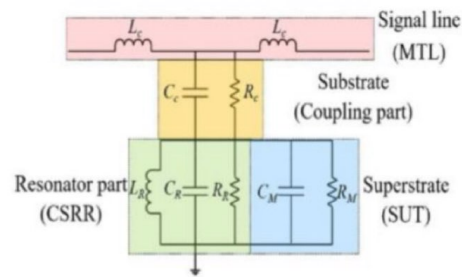
۵۳



شکل ۴-۴- مدل الکتریکی حسگر پیشنهادی [۲۹].

۴-۳-۱- نتایج حاصل از تغییر پارامترهای ابعادی

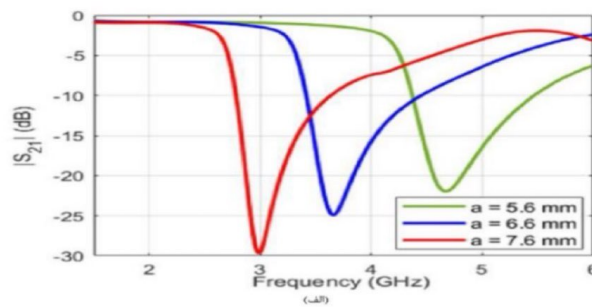
با کاهش مقدار a نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۵-۴ است. در شکل ۵-۴ الف نمودار برای کاهش مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۵-۴ ب نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. با تغییر پارامتر a مطابق شکل با کاهش طول شش ضلعی (هر دو) S_{21} پارامترها به سمت فرکانس‌های بالاتر در حالت شیفت



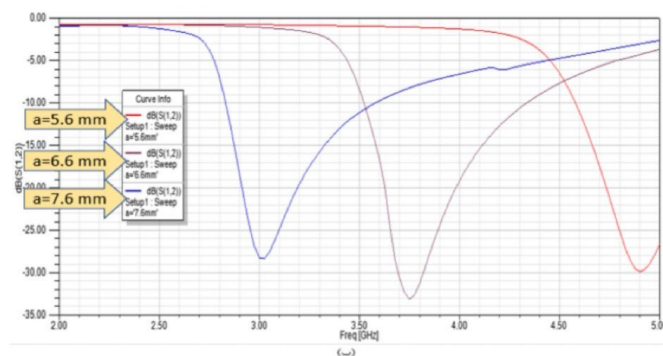
شکل ۴-۴- مدل الکتریکی حسگر پیشنهادی [۲۹].

۴-۳-۱- نتایج حاصل از تغییر پارامترهای ابعادی

با کاهش مقدار a نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۵-۴ است. در شکل ۵-۴ الف نمودار برای کاهش مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۵-۴ ب نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. با تغییر پارامتر a مطابق شکل با کاهش طول شش ضلعی (هر دو) S_{21} پارامترها به سمت فرکانس‌های بالاتر در حالت شیفت فرکانسی است. جدول ۴-۲ مقایسه‌ی بین مقادیر در مرجع ۲۹ و شبیه‌سازی در این پایان‌نامه برای پارامتر a را نشان می‌دهد.



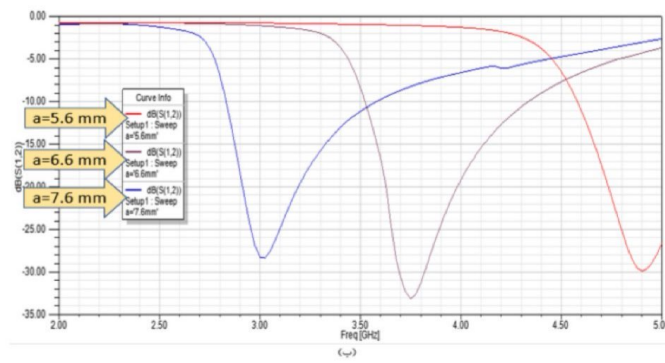
۵۴



شکل ۵-۴- با کاهش مقدار a نمودار: الف) نمودار تغییر در مرجع [۲۹] ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

جدول ۴-۲: مقایسه‌ی پارامتر a

پارامتر a	۵.۶mm	۶.۶mm	۷.۶mm
F (GHZ)	F (GHZ)	F (GHZ)	F (GHZ)
مرجع ۲۹	۴/۸۹	۳/۸	۳



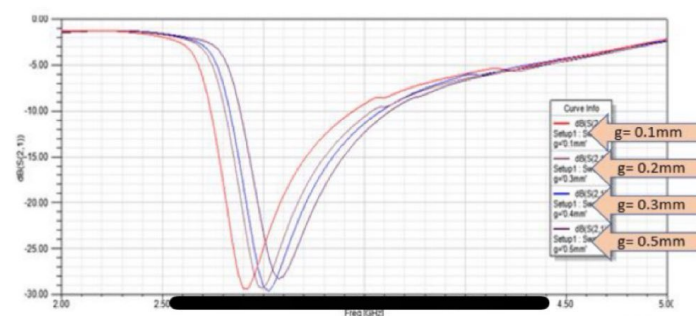
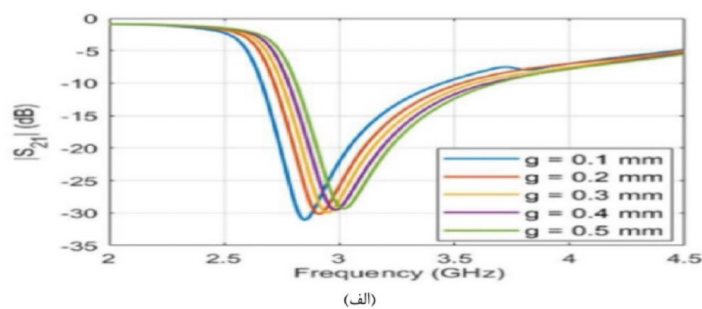
شکل ۴-۵. با کاهش مقدار a نمودار: الف) نمودار تغییر در مرجع [۲۹] ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

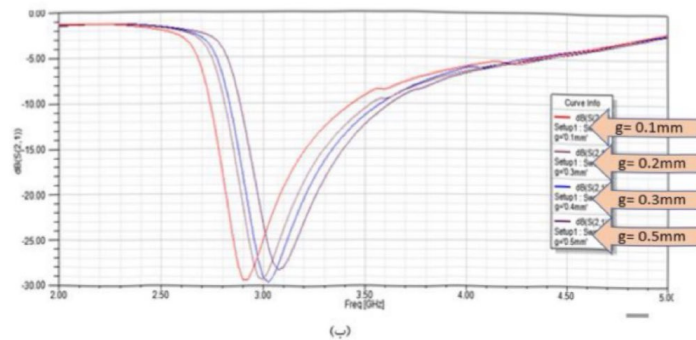
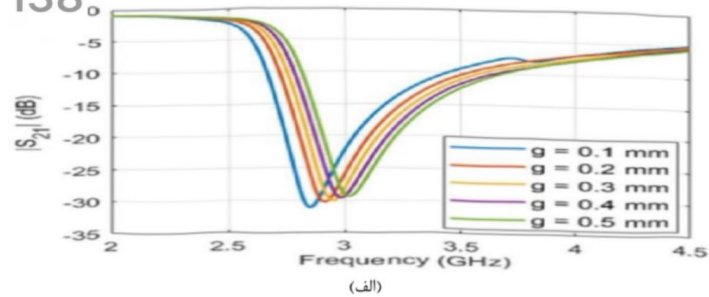
جدول ۴-۲: مقایسه‌ی پارامتر a

پارامتر a	۵.۶mm	۶.۶mm	۷.۶mm
F (GHZ)	F (GHZ)	F (GHZ)	F (GHZ)
مرجع ۲۹	۴/۸۹	۳/۸	۳
شبیه‌سازی در این پژوهش	۴/۹	۳/۶	۳

با تغییر مقدار g نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۴-۶ است. در شکل ۴-۶ الف نمودار برای کاهش مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۴-۶ ب نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. پارامتر g به گونه‌ای است که با تغییر برخی از مقادیر تأثیری در شیف‌ت فرکانسی ندارد ولی هر چقدر مقدار آن بیشتر باشد به سمت فرکانس‌های بالاتر می‌رود. جدول ۴-۳ مقایسه برای پارامتر g را نشان می‌دهد.

۵۵





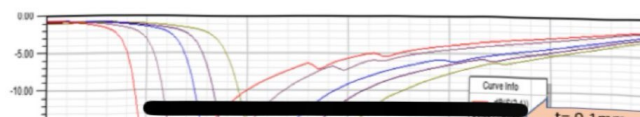
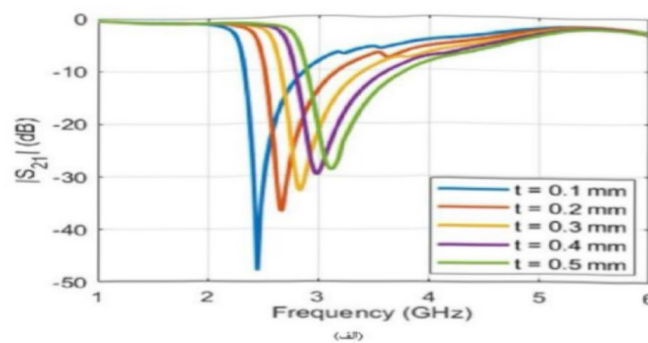
شکل ۴-۶. با کاهش مقدار g نمودار: الف) نمودار تغییر در مرجع [۲۹] ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

جدول ۳-۴: مقایسه‌ی پارامتر g

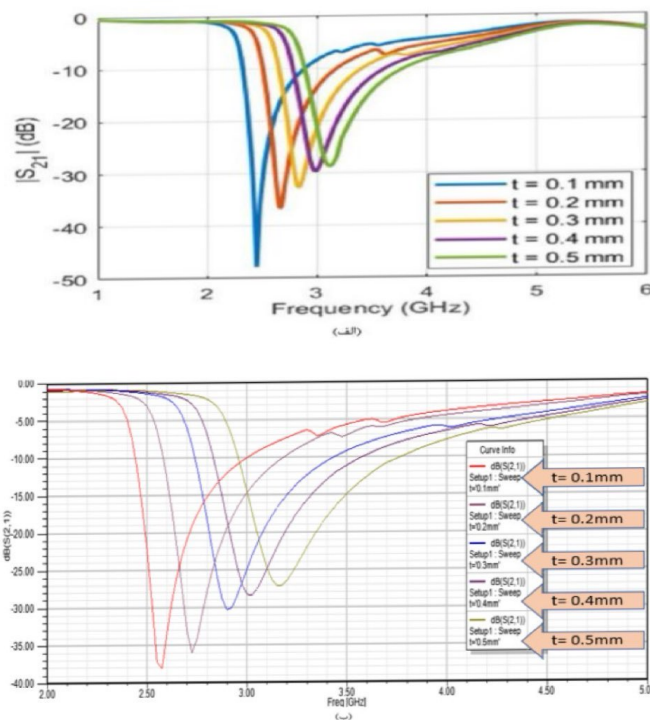
پارامتر g	۰.۱mm	۰.۲mm	۰.۳mm	۰.۵mm
F (GHZ)	۲/۸	۲/۹	۲/۹.۵	۳/۱
مرجع ۲۹	۲/۸	۲/۹	۲/۹.۵	۳/۱
شبیه‌سازی در این پژوهش	۲/۸	۲/۹	۳	۳/۱.۸

۵۶

با تغییر مقدار t نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۴-۷ است. در شکل ۴-۷ نمودار برای کاهش مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۴-۷ نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. هرچه این پارامتر بیشتر باشد یعنی دو شش ضلعی از هم فاصله داشته باشند شیف‌ت فرکانسی به سمت فرکانس‌های بالاتر بیشتر است.



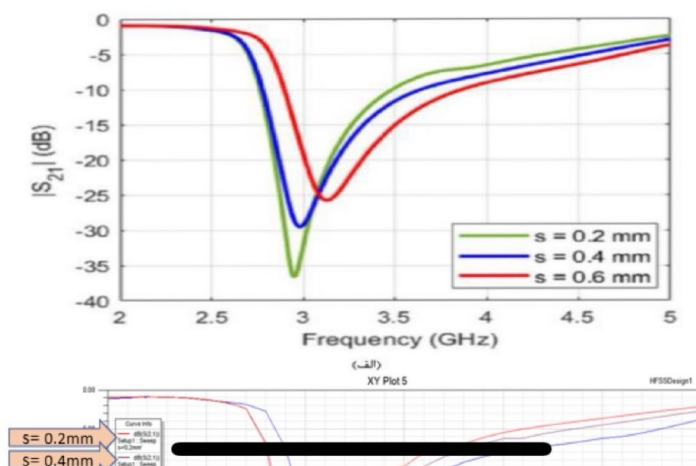
با تغییر مقدار t نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۷-۴ است. در شکل ۷-۴ الف نه مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۷-۴ ب نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. هرچه این پارامتر بیشتر باشد یعنی دو شش ضلعی از هم فاصله داشته باشند شیف‌ت فرکانسی به سمت فرکانس‌های بالاتر بیشتر است.



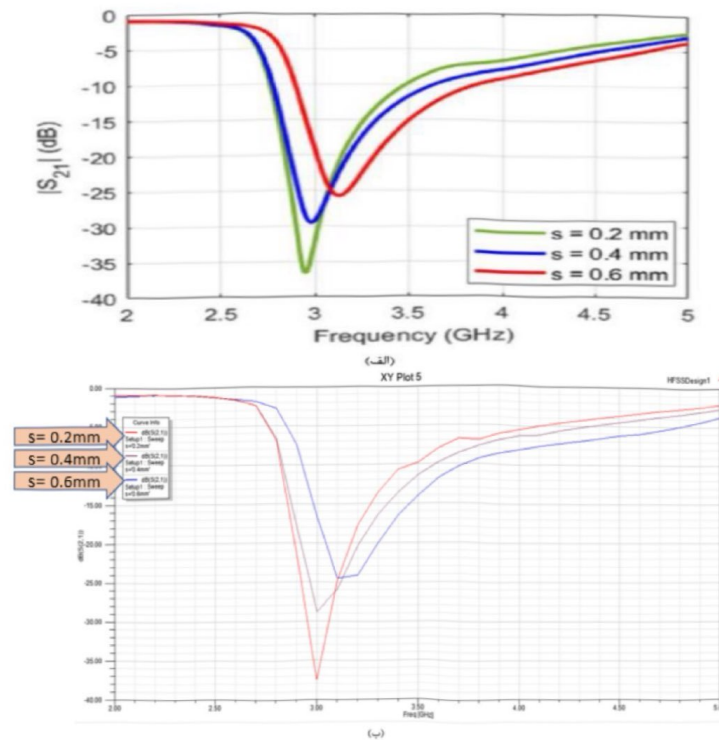
شکل ۷-۴- با کاهش مقدار t نمودار: الف) نمودار تغییر در مرجع [۲۹] ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

۵۷

با تغییر مقدار s نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۸-۴ است. در شکل ۸-۴ الف نمودار برای کاهش مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۸-۴ ب نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. فرکانس رزونانس برای S_{21} با تغییر پارامتر s از 0.2 به 0.4 تقریباً بدون تغییر مانده است؛ ولی با افزایش آن، فرکانس رزونانس به سمت فرکانس‌های بالاتر می‌رود.



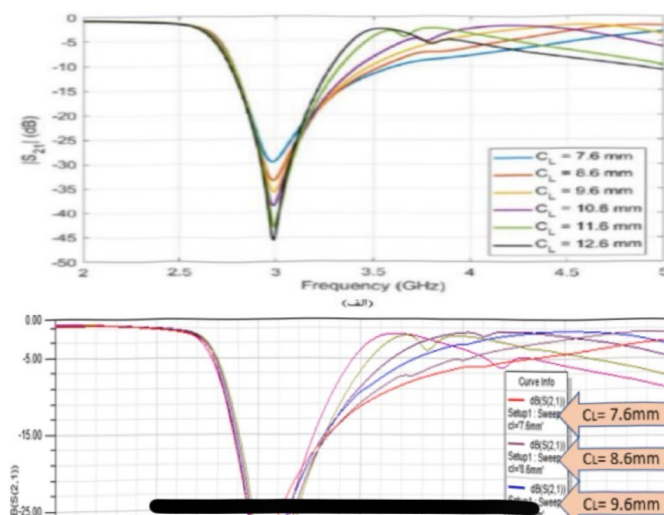
با تغییر مقدار s نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۸-۴ است. در شکل ۸-۴ الف نه مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۸-۴ ب نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. فرکانس رزونانس برای S_{21} با تغییر پارامتر s از 0.2 به 0.6 تقریباً بدون تغییر مانده است؛ ولی با افزایش آن، فرکانس رزونانس به سمت فرکانس‌های بالاتر می‌رود.



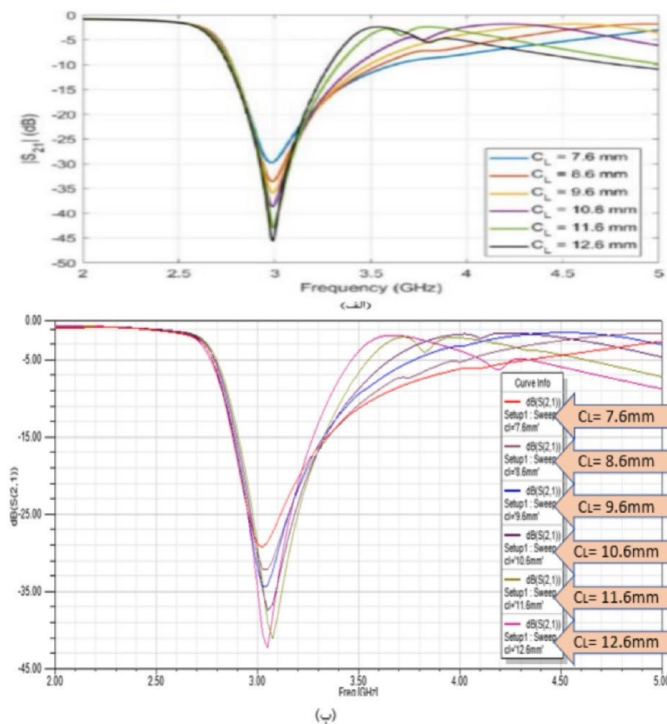
شکل ۸-۴- با کاهش مقدار s نمودار: الف) نمودار تغییر در مرجع [۲۹] ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

۵۸

با تغییر مقدار C_L نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۹-۴ است. در شکل ۹-۴ الف نمودار برای کاهش مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۹-۴ ب نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. C_L بیشتر بر عمق فرکانس و در واقع بر اندازه‌ی پارامتر S_{21} در فرکانس تشدید تاثیر می‌گذارد.



با تغییر مقدار C_L نمودار بر حسب فرکانس به صورت شکل ۹-۴ است. در شکل ۹-۴ الف نمودار برای کاهش مقدار در مرجع ۲۹ و در شکل ۹-۴ ب نمودار رسم شده با نرم افزار را نشان می‌دهد. C_L بیشتر بر عمق فرکانس و در واقع بر اندازه‌ی پارامتر S_{21} در فرکانس تشدید تاثیر می‌گذارد.



شکل ۹-۴. با کاهش مقدار C_L نمودار: الف) نمودار تغییر در مرجع [۲۹] ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

۵۹

۲-۳-۴- نتایج حاصل از شبیه‌سازی اثر حضور انگشت انسان

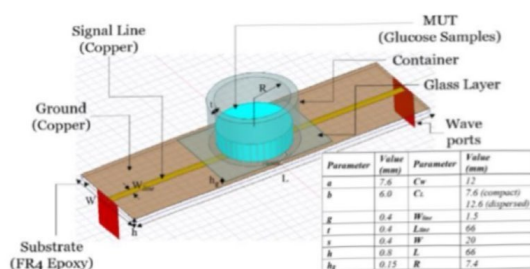
پس از تنظیم پارامترهای ابعادی ساختار حسگر، نوبت به بررسی اثر قند خون می‌رسد. چنانچه پیشتر بیان شده و به صورت طرح‌واره نیز نشان داده شد، عملکرد این سامانه‌ی حسگری به صورت غیرتهاجمی است و برای سنجش میزان قند خون کافی است که انگشت فرد مورد آزمایش در قسمت میانی حساسه‌ی سیستم که شامل ساختارهای CSRR است قرار گیرد. با توجه به ساختار انگشت انسان که شامل پوست و بافت و میزان زیادی آب و مایع خونی است، جهت شبیه‌سازی در مرحله‌ی اول ظرفی حاوی آب در مکانی که انگشت بیمار باید قرار گیرد، در نظر گرفته می‌شود و سپس اثر پوست و حضور گلوکز بررسی می‌شود.

مطابق شکل ۱۰-۴ محفظه و آب مقطر به ساختار اضافه شده است. شکل ۱۰-۴ الف این ساختار را در مرجع ۲۹ نشان می‌دهد و شکل ۱۰-۴ ب ساختار رسم شده در نرم افزار را نشان می‌دهد. ظرف از جنس شیشه است، و ابعاد در شکل ۱۰-۴ الف نشان داده شده است.

Signal Line
(Supply)
MUT
(pules)
Container

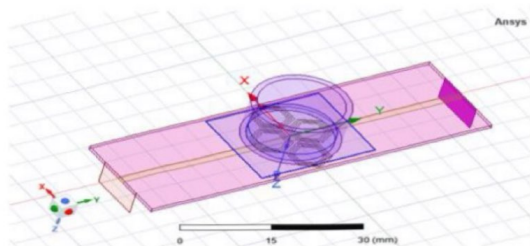
پس از تنظیم پارامترهای ابعادی ساختار حسگر، نوبت به بررسی اثر قند خون می‌رسد. چنانچه پیشتر بیان شده و به صورت طرح‌واره نیز نشان داده شد، عملکرد این سامانه‌ی حسگری به صورت غیرتهاجمی است و برای سنجش میزان قند خون کافی است که انگشت فرد مورد آزمایش در قسمت میانی حساسه‌ی سیستم که شامل ساختارهای CSRR است قرار گیرد. با توجه به ساختار انگشت انسان که شامل پوست و بافت و میزان زیادی آب و مایع خونی است، جهت شبیه‌سازی در مرحله‌ی اول ظرفی حاوی آب در مکانی که انگشت بیمار باید قرار گیرد، در نظر گرفته می‌شود و سپس اثر پوست و حضور گلوکز بررسی می‌شود.

مطابق شکل ۴-۱۰ محفظه و آب مقطر به ساختار اضافه شده است. شکل ۴-۱۰ الف این ساختار را در مرجع ۲۹ نشان می‌دهد و شکل ۴-۱۰ ب ساختار رسم شده در نرم افزار را نشان می‌دهد. ظرف از جنس شیشه است، و ابعاد در شکل ۴-۱۰ الف نشان داده شده است.



(الف)

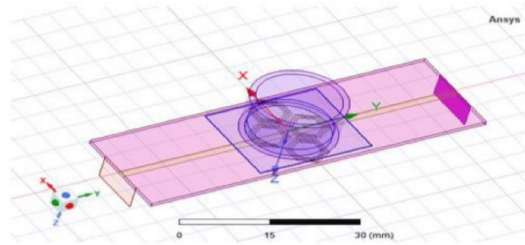
۶۰



(ب)

شکل ۴-۱۰- اضافه شدن محفظه و آب مقطر به قسمت حساسه‌ی سامانه: الف) ساختار محفظه و آب در مرجع [۲۹]؛ ب) ساختار رسم شده در این پژوهش.

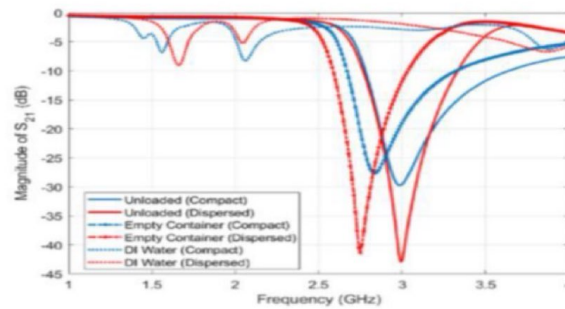
با اضافه کردن محفظه و آب مقطر در حالت‌های فشرده و پراکنده شکل ۴-۱۱ الف نتایج مرجع ۲۹ است و نمودارهای S_{۲۱} در فرکانس‌های مختلف است که در حالت‌های مختلفی که ظرف وجود ندارد یا ظرف خالی از آب خالص و همچنین حالتی که ظرف حاوی آب باشد را ارائه داده است. رنگ آبی برای پاسخ‌های ساختار فشرده و رنگ قرمز برای ساختار پراکنده است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش همین حالت‌های بیان شده در شکل‌های ۴-۱۱ ب تا د ارائه شده است. ضخامت لایه‌ی آب ۲ میلی‌متر است. جهت مقایسه‌ی



(ب)

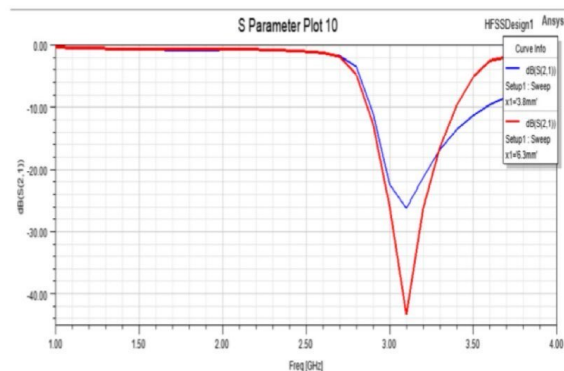
شکل ۴-۱۰- اضافه شدن محفظه و آب مقطر به قسمت حساسه‌ی سامانه: الف) ساختار محفظه و آب در مرجع [۲۹]؛ ب) ساختار رسم شده در این پژوهش.

با اضافه کردن محفظه و آب مقطر در حالت‌های فشرده و پراکنده شکل ۴-۱۱ الف نتایج مرجع ۲۹ است و نمودارهای S_{21} در فرکانس‌های مختلف است که در حالت‌های مختلفی که ظرف وجود ندارد یا ظرف خالی از آب خالص و همچنین حالتی که ظرف حاوی آب باشد را ارائه داده است. رنگ آبی برای پاسخ‌های ساختار فشرده و رنگ قرمز برای ساختار پراکنده است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش همین حالت‌های بیان شده در شکل‌های ۴-۱۱ ب تا د ارائه شده است. ضخامت لایه‌ی آب ۲ میلی‌متر است. جهت مقایسه‌ی فرکانس‌های تشدید کسب شده در شبیه‌سازی این پژوهش با نتایج مقاله‌ی مرجع جدول ارائه ۴-۴ شده است.



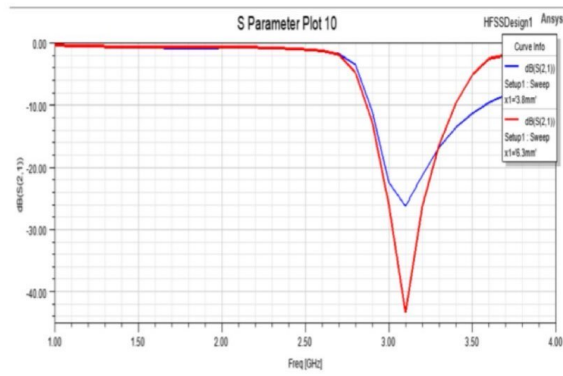
۶۱

(الف)

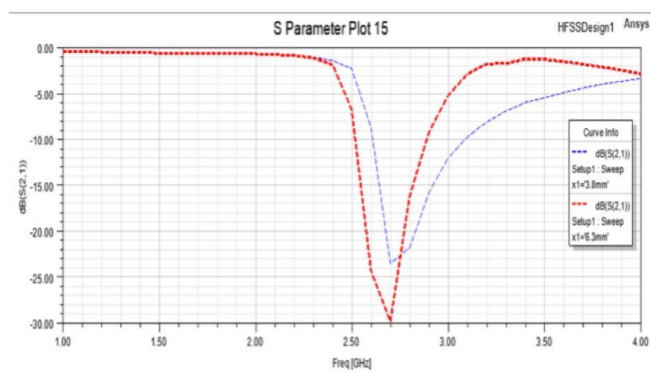


(ب)

(الف)

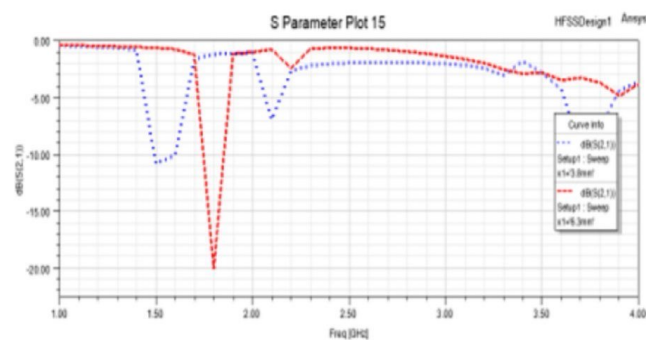


(ب)



(ج)

۶۲

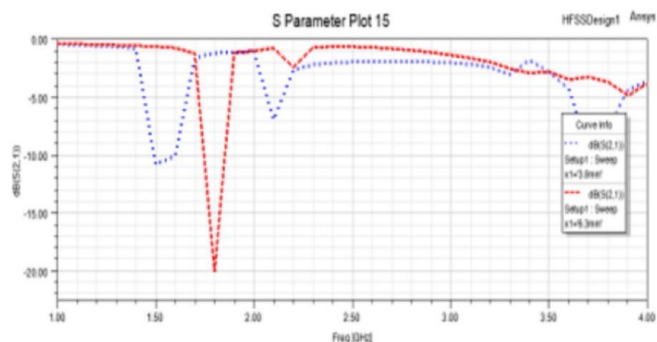


(د)

شکل ۴-۱۱- نمودار اضافه شدن محفظه و آب مقطر: الف) نمودارهای ارائه شده در مرجع [۲۹]: ب تا د) نمودارهای کسب شده از این پژوهش: ب) نمودار در حالت بارگذاری نشده (بدون حضور ظرف)، ج) نمودار در حالت اضافه شدن ظرف، ج) نمودار در حالت اضافه شدن آب مقطر.

جدول ۴-۴: مقایسه‌ی مقادیر شبیه‌سازی با مرجع [۲۹]:

فشرده	پراکنده	ظرف (فشرده)	ظرف (پراکنده)	آب (فشرده)	آب (پراکنده)
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰



(د)

شکل ۴-۱۱- نمودار اضافه شدن محفظه و آب مقطر: الف) نمودارهای ارائه شده در مرجع [۲۹]؛ ب تا د) نمودارهای کسب شده از این پژوهش: ب) نمودار در حالت بارگذاری نشده (بدون حضور ظرف)، ج) نمودار در حالت اضافه شدن ظرف، د) نمودار در حالت اضافه شدن آب مقطر.

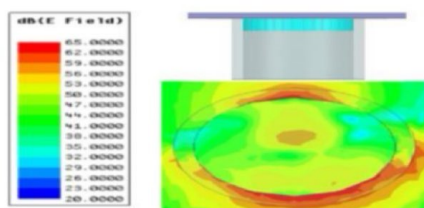
جدول ۴-۴: مقایسه‌ی مقادیر شبیه‌سازی با مرجع [۲۹]:

فشرده	پراکنده	ظرف(فشرده)	ظرف(پراکنده)	آب(فشرده)	آب(پراکنده)
مرجع ۲۹ (گیگاهرتز)	۳	۲/۸	۲/۷۵	۲/۱	۱/۷
شبیه‌سازی (گیگاهرتز)	۳/۱	۲/۷۵	۲/۷	۲/۱	۱/۷

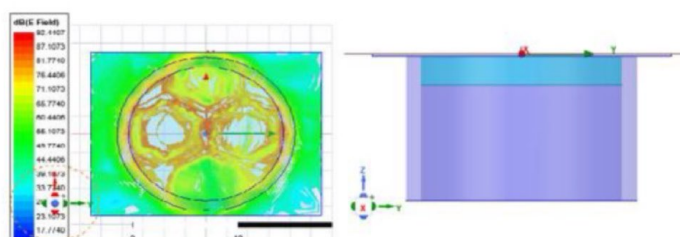
در لایه‌ی پوست ϵ_r برابر ۳۸/۱ و $\tan \delta$ برابر ۰/۲۸ است. توزیع میدان در حالت بدون پوست در مرجع

۲۹ در شکل ۴-۱۲ الف نشان داده شده است و شبیه‌سازی با نرم افزار در شکل ۴-۱۲ ب نشان داده شده است.

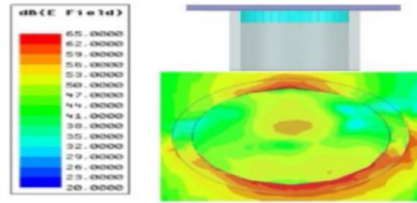
۶۳



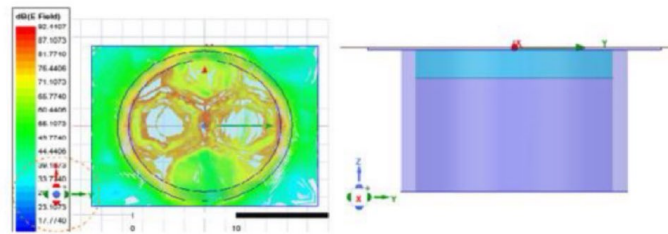
(الف)



(ب)



(الف)

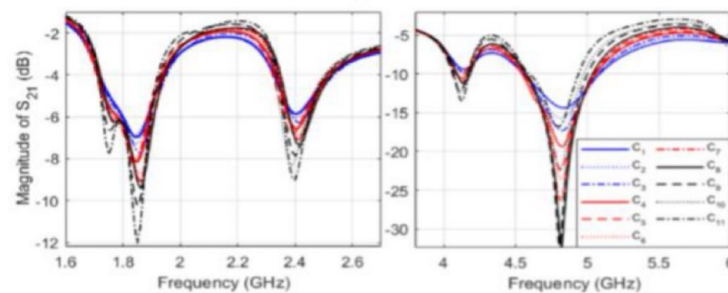


(پ)

شکل ۴-۱۲- الف) توزیع میدان در مرجع [۲۹]؛ ب) شبیه‌سازی توزیع میدان در این پژوهش.

۴-۱۲- اعمال گلوکز به ساختار

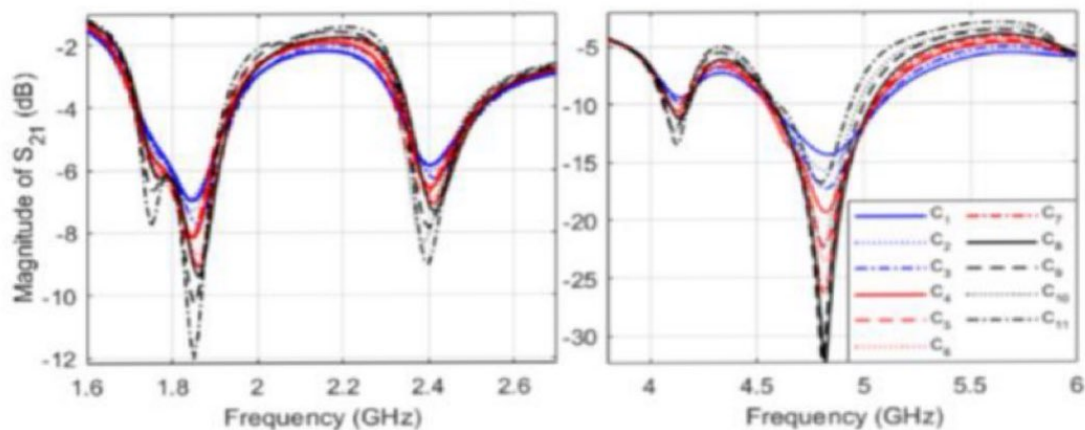
برای اعمال گلوکز به ساختار، برای هر مقدار گلوکز باید یک ماده‌ی جدید با گذردهی متفاوت ایجاد شود. این مقادیر با توجه به معادلات کول-کول (یا دیبای) ایجاد شده است. برای محاسبه از نظریات مدل دیبای نرم افزار استفاده شده است. شکل ۲-۱۳ نمودار اندازه‌ی S_{21} بر حسب فرکانس در مرجع ۲۹ را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۳- نمودار اندازه‌ی S۲۱ برای مقادیر مختلف گلوکز به ساختار در مرجع [۲۹].

C₁ تا C₁₁ مقادیر مختلف گلوکز هستند. C₁ تا C₂ برای گلوکز ۴۰-۶۰ میلی گرم بر دسی لیتر، C₃ تا C₇ برای گلوکز ۷۰-۴۰ میلی گرم بر دسی لیتر و C₈ تا C₁₁ برای گلوکز ۲۰۰-۵۰ میلی گرم بر دسی لیتر است. پاسخ فرکانس تشدید در ۴/۸ گیگاهرتز برای غلظت‌های مختلف را نشان داده شده است.

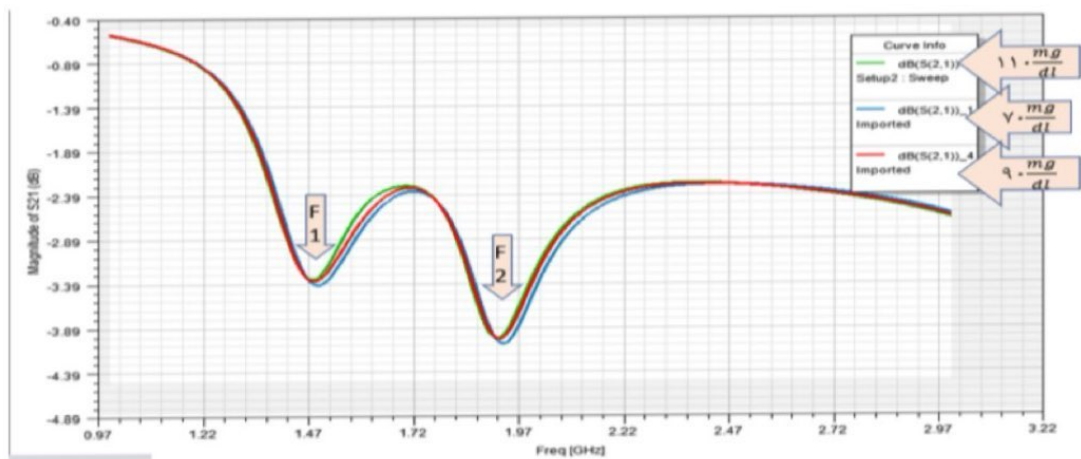
با اعمال گلوکز $\frac{mg}{dl}$ ۷۰، $\frac{mg}{dl}$ ۹۰، $\frac{mg}{dl}$ ۱۱۰ به ساختار نمودار اندازه S21 تغییر می‌کند. در شکل ۲-۱۴ نمودار



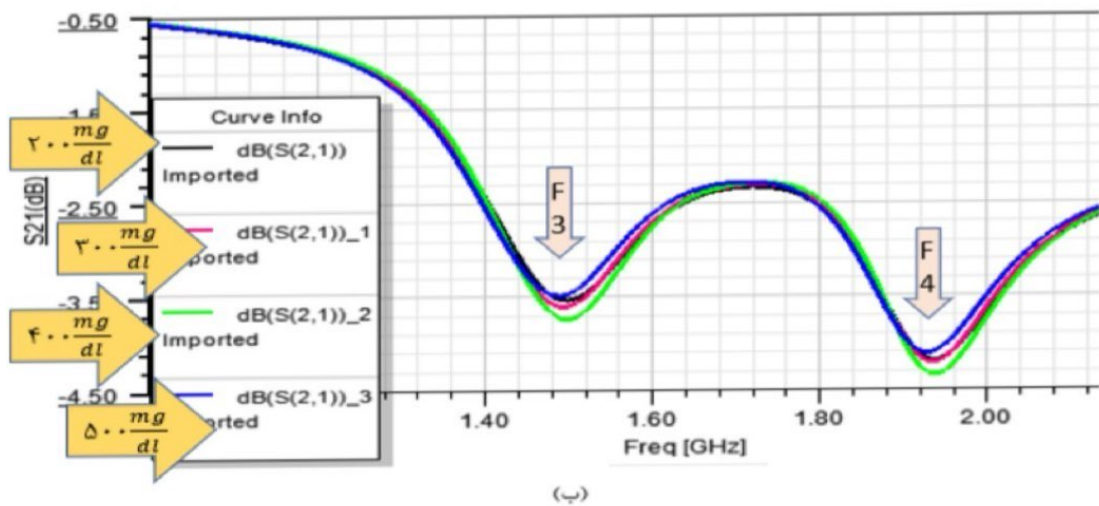
شکل ۴-۱۳- نمودار اندازه‌ی S_{21} برای مقادیر مختلف گلوکز به ساختار در مرجع [۲۹].

C_1 تا C_{11} مقادیر مختلف گلوکز هستند. C_1 تا C_2 برای گلوکز ۴۰-۶۰ میلی گرم بر دسی لیتر، C_3 تا C_7 برای گلوکز ۷۰-۱۴۰ میلی گرم بر دسی لیتر و C_8 تا C_{11} برای گلوکز ۲۰۰-۵۰۰ میلی گرم بر دسی لیتر است. پاسخ فرکانس تشدید در ۴/۸ گیگاهرتز برای غلظت‌های مختلف را نشان داده شده است.

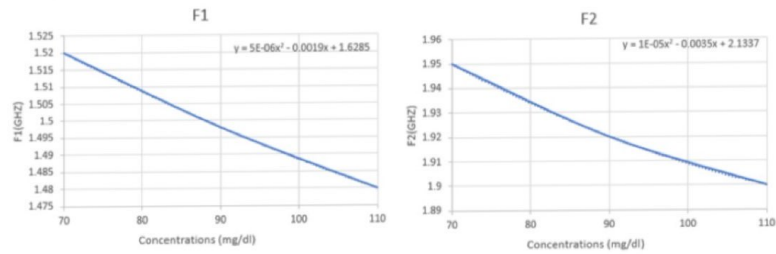
با اعمال گلوکز $\frac{mg}{dl}$ ۷۰، $\frac{mg}{dl}$ ۹۰، $\frac{mg}{dl}$ ۱۱۰ به ساختار نمودار اندازه S_{21} تغییر می‌کند. در شکل ۲-۱۴ نمودار اندازه S_{21} را برای گلوکز $\frac{mg}{dl}$ ۷۰، $\frac{mg}{dl}$ ۹۰، $\frac{mg}{dl}$ ۱۱۰ را نشان می‌دهد. با اعمال گلوکز $\frac{mg}{dl}$ ۲۰۰، $\frac{mg}{dl}$ ۳۰۰، $\frac{mg}{dl}$ ۴۰۰ و $\frac{mg}{dl}$ ۵۰۰ به ساختار نمودار اندازه‌ی S_{21} مطابق شکل ۴-۱۵ تغییر می‌کند. شکل ۴-۱۶ مدل همبستگی خطی برای نتایج فرکانسی با توجه به شکل ۴-۱۴ را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۴-۱۷ مدل همبستگی خطی برای نتایج فرکانسی با توجه به شکل ۴-۱۵ را نشان می‌دهد.



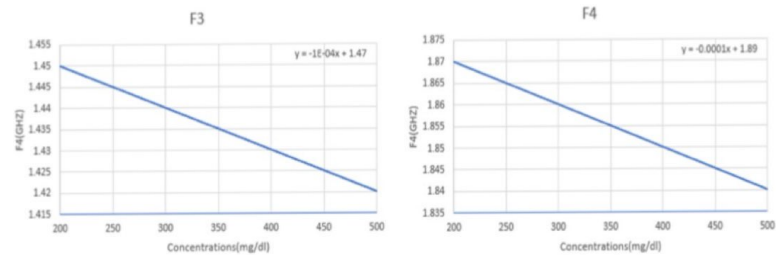
شکل ۴-۱۴- نمودار اندازه‌ی S_{21} برای گلوکز $\frac{mg}{dl}$ ۱۱۰، ۹۰، ۷۰ در این پژوهش.



شکل ۴-۱۵- نمودار اندازه‌ی S_{21} برای گلوکز $\frac{mg}{dl}$ ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰ در این پژوهش.

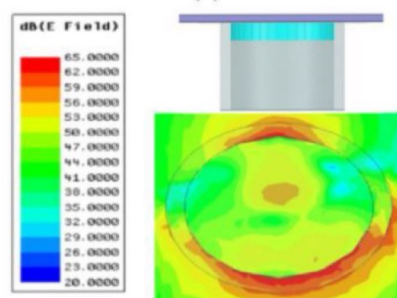


شکل ۴-۱۶- نمودار نتایج همبستگی مرتبط با شکل ۱۴.

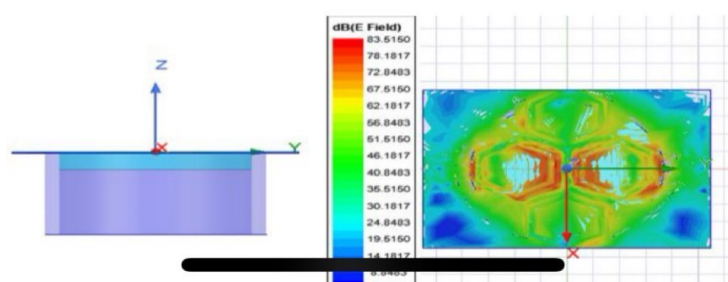


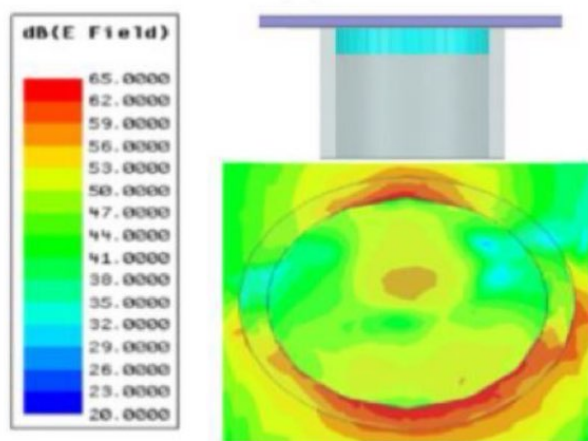
شکل ۴-۱۷- نمودار نتایج همبستگی مرتبط با شکل ۱۵.

در شکل ۴-۱۸ توزیع میدان در حالتی که محفظه و گلوکز در ساختار وجود دارد را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۱۹ با اعمال گلوکز ۱۱۰ در این پژوهش توزیع میدان رسم شده است.

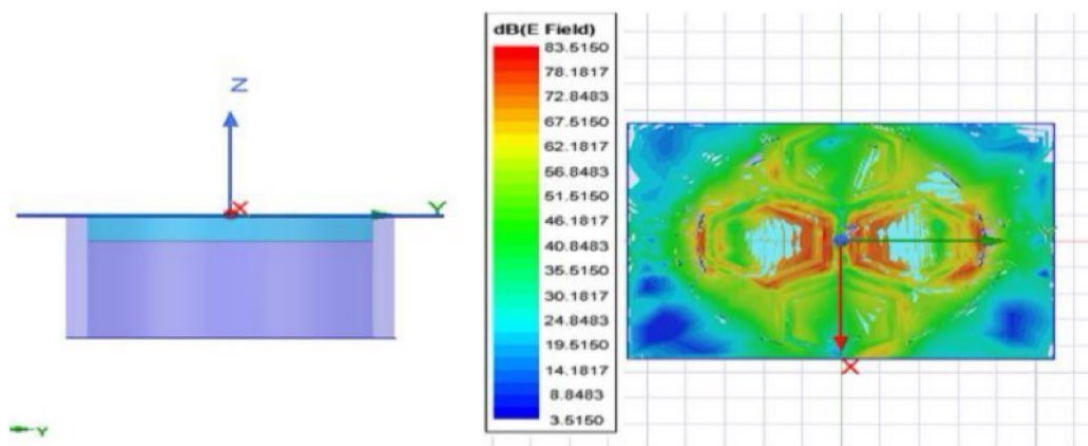


شکل ۴-۱۸- توزیع میدان با وجود محفظه و گلوکز.





شکل ۴-۱۸- توزیع میدان با وجود محفظه و گلوکز.

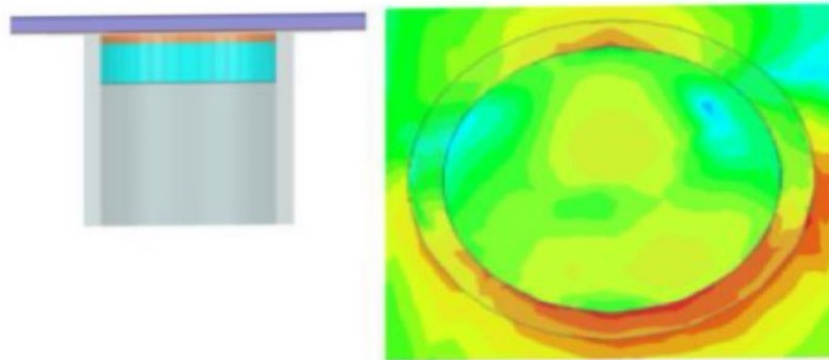


شکل ۴-۱۹- شبیه‌سازی توزیع میدان با گلوکز ۱۱۰ در این پژوهش.

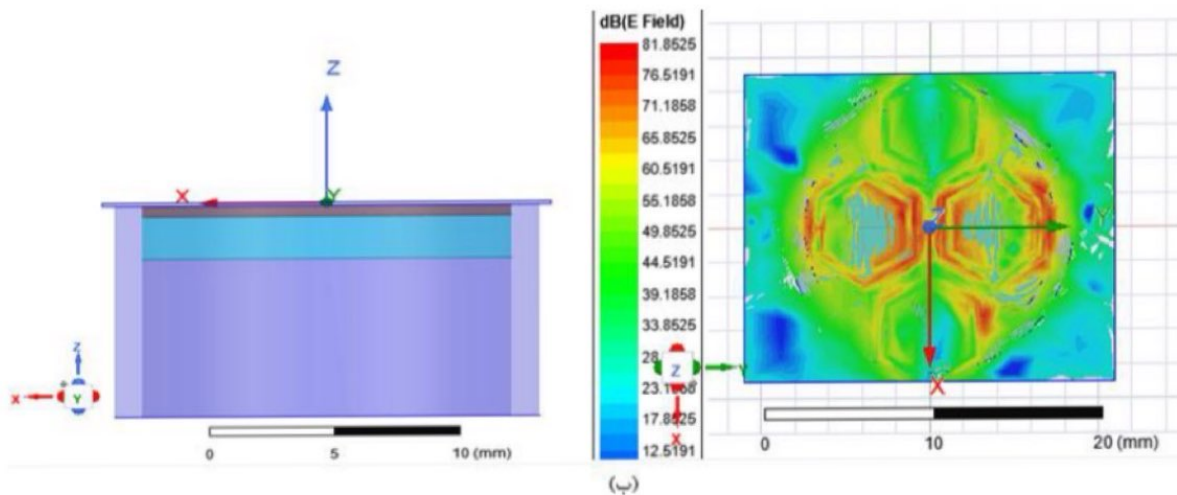
با اعمال لایه‌ی پوست به ضخامت ۰/۵ میلی‌متر به ساختار توزیع میدان به صورت شکل ۴-۲۰ تغییر می‌کند.

شکل ۴-۲۰- الف توزیع میدان در مرجع ۲۹ و شکل ۴-۲۰- ب توزیع میدان با استفاده از نرم افزار HFSS

در این پژوهش را نشان می‌دهد (گلوکز ۱۱۰ به ساختار اعمال شده است).



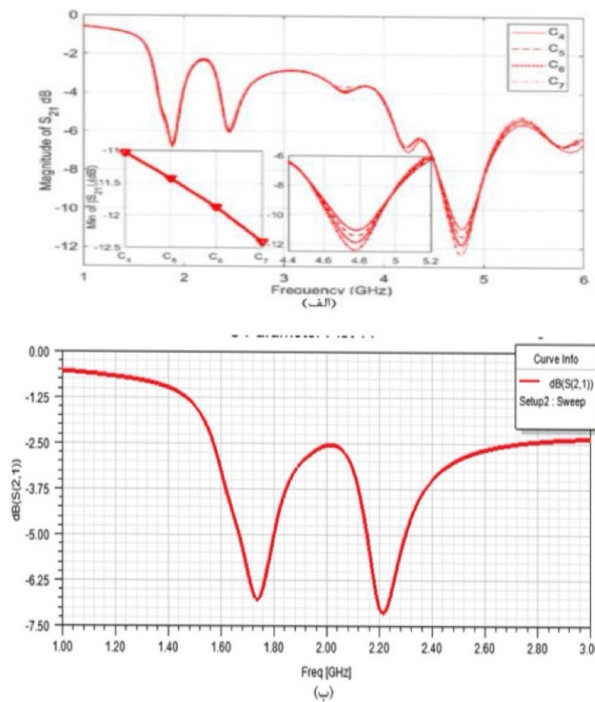
(الف)



(ب)

شکل ۴-۲۰- توزیع میدان با اعمال لایه‌ی پوست با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر: الف) توزیع میدان در مرجع [۲۹] ب) توزیع میدان در این پژوهش.

نمودار S۲۱ برای حالتی که پوست با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر به ساختار اضافه شده است، در شکل ۴-۲۱ الف و نمودار رسم شده در این پژوهش در شکل ۴-۲۱ ب نشان داده شده است. جدول ۴-۵ مقایسه مقادیر ضخامت ۰/۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد.



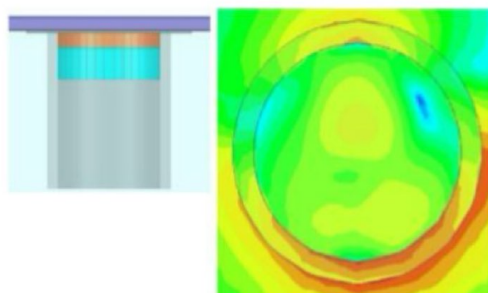
شکل ۴-۲۱- الف) نمودار پوست با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر در مرجع ۲۹ (ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

جدول ۴-۵: مقایسه مقادیر ضخامت ۰/۵ میلی‌متر.

F_2 F (GHZ)	F_1 F (GHZ)	ضخامت ۰.۵mm
۲/۲۴	۱/۸	مرجع ۲۹
۲/۴	۱/۷۸	شبیه‌سازی در این پژوهش

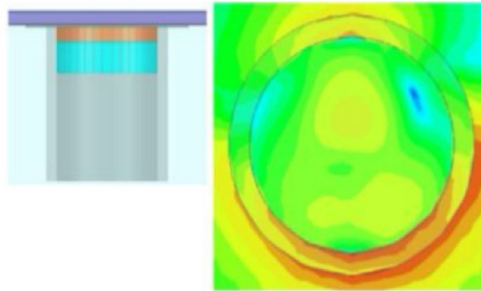
۷۰

با تنظیم لایه‌ی پوست به ضخامت ۱ میلی‌متر به ساختار توزیع میدان الکتریکی به صورت شکل ۴-۲۲ تغییر یافت شکل ۴-۲۲- الف) توزیع میدان الکتریکی گزارش شده در مرجع ۲۹ و شکل ۴-۲۲- ب) توزیع میدان بدست آمده در این پژوهش با نرم افزار انسیس HFSS را نشان می‌دهد. توزیع میدان در غلظت‌های مختلف تغییر می‌کند. جدول ۴-۶ مقایسه‌ی مقادیر ضخامت ۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

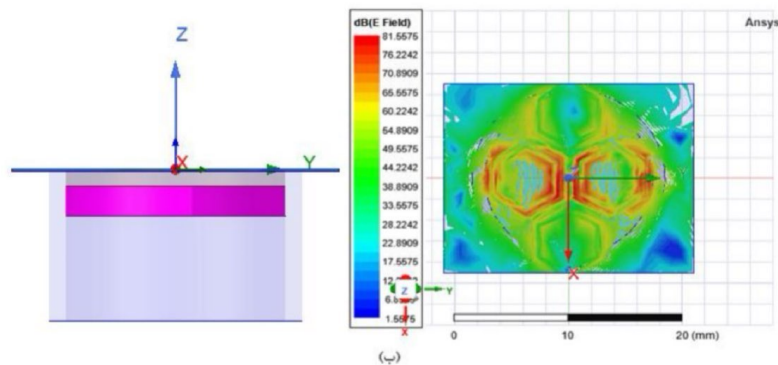


۷۱

با تنظیم لایه‌ی پوست به ضخامت ۱ میلی‌متر به ساختار توزیع میدان الکتریکی به صورت شکل ۲۲-۴ تغییر یافت شکل ۲۲-۴-الف توزیع میدان الکتریکی گزارش شده در مرجع ۲۹ و شکل ۲۲-۴-ب توزیع میدان بدست آمده در این پژوهش با نرم افزار انسیس HFSS را نشان می‌دهد. توزیع میدان در غلظت‌های مختلف تغییر می‌کند. جدول ۴-۶ مقایسه‌ی مقادیر ضخامت ۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

۷۱

شکل ۲۲-۴-ب توزیع میدان با اعمال لایه‌ی پوست به ضخامت ۱ میلی‌متر: الف) توزیع میدان در مرجع [۲۹] ب) توزیع میدان در این پژوهش.

جدول ۴-۶: مقایسه‌ی مقادیر ضخامت ۱ میلی‌متر.

F_2 F (GHZ)	F_1 F (GHZ)	ضخامت ۱ mm
۲/۴	۱/۸۹	مرجع ۲۹
۲/۳۴	۱/۸۸	شبیه‌سازی در این پژوهش

شکل ۲۲-۴-الف نمودار S۲۱ برای حالتی که پوست به ضخامت ۱ میلی‌متر به ساختار اضافه شده است و شکل

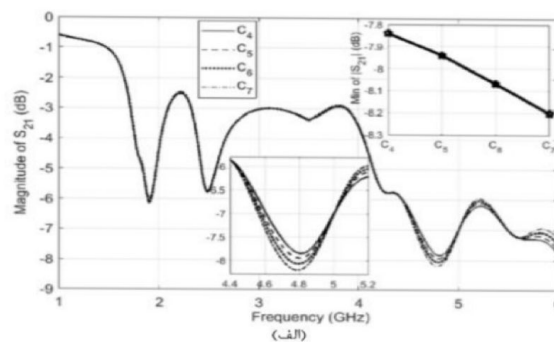
شکل ۲۲-۴-ب: مقایسه‌ی مقادیر ضخامت ۱ میلی‌متر.

شکل ۴-۲۲- توزیع میدان با اعمال لایه‌ی پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر: الف) توزیع میدان در مرجع [۲۹] ب) توزیع میدان در این پژوهش.

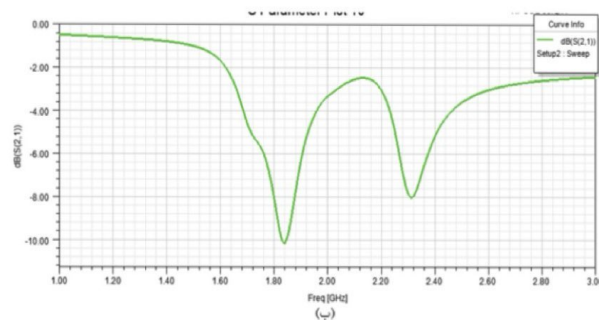
جدول ۴-۶: مقایسه‌ی مقادیر ضخامت ۱ میلی‌متر.

ضخامت ۱ mm	F_1 F (GHz)	F_2 F (GHz)
مرجع ۲۹	۱/۸۹	۲/۴
شبیه‌سازی در این پژوهش	۱/۸۸	۲/۳۴

شکل ۴-۲۳- الف) نمودار S_{21} برای حالتی که پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر به ساختار اضافه شده است و شکل ۴-۲۳- ب) نمودار رسم شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



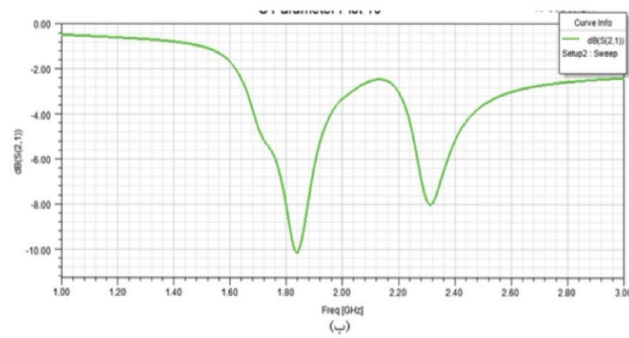
۷۲



شکل ۴-۲۳- الف) نمودار پوست با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر در مرجع [۲۹] ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

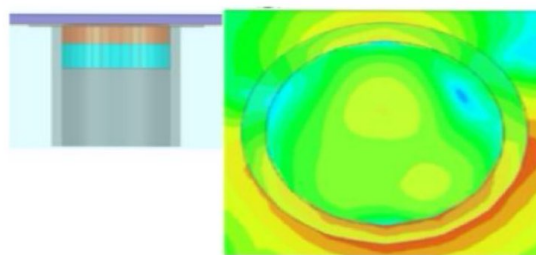
با اعمال لایه‌ی پوست به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر به ساختار توزیع میدان به صورت شکل ۴-۲۴ تغییر می‌کند. شکل ۴-۲۴- الف) توزیع میدان الکتریکی در مرجع ۲۹ و شکل ۴-۲۴- ب) توزیع میدان بدست آمده در این پژوهش را نشان می‌دهد.





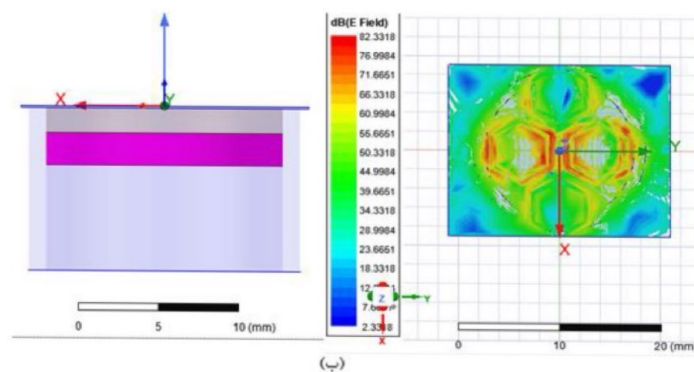
شکل ۴-۲۳- الف) نمودار پوست با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر در مرجع ۲۹ ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

با اعمال لایه‌ی پوست به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر به ساختار توزیع میدان به صورت شکل ۴-۲۴ تغییر می‌کند. شکل ۴-۲۴- الف) توزیع میدان الکتریکی در مرجع ۲۹ و شکل ۴-۲۴- ب) توزیع میدان بدست آمده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



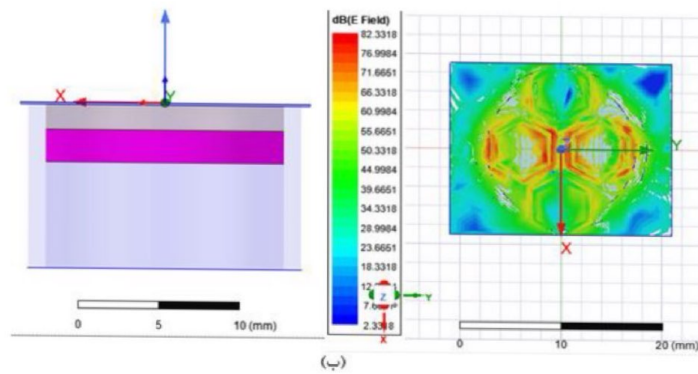
(الف)

۷۳



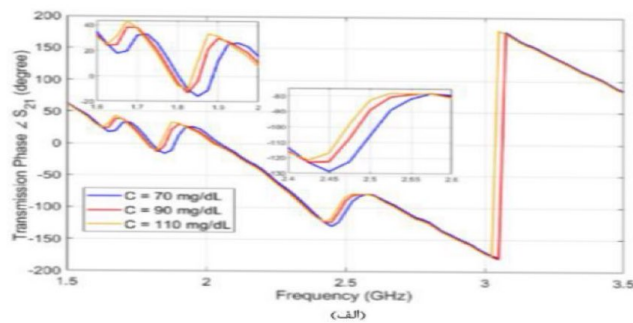
شکل ۴-۲۴- الف) توزیع میدان الکتریکی با اعمال لایه‌ی پوست با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر: الف) توزیع میدان در مرجع [۲۹] ب) توزیع میدان بدست آمده در این پژوهش.

نمودار فاز برای گلوکز ۷۰ در شکل ۴-۲۵ الف مطابق مرجع ۲۹ و شکل ۴-۲۵ ب) نمودار رسم شده در این پژوهش

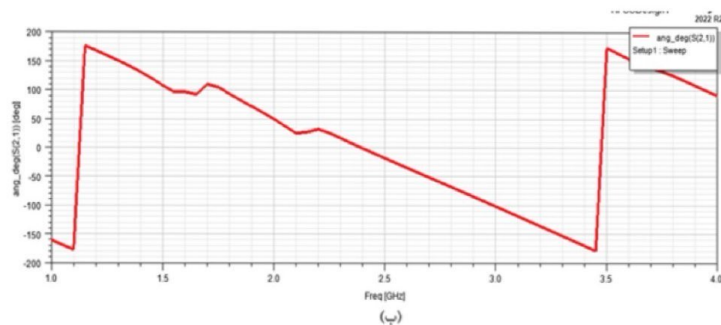


شکل ۴-۲۴- توزیع میدان الکتریکی با اعمال لایه‌ی پوست با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر: الف) توزیع میدان در مرجع [۲۹] ب) توزیع میدان بدست آمده در این پژوهش.

نمودار فاز برای گلوکز ۷۰ در شکل ۴-۲۵ الف مطابق مرجع ۲۹ و شکل ۴-۲۵ ب نمودار رسم شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. در ساختارهای دو پورت از این نمودار استفاده نمی‌شود.

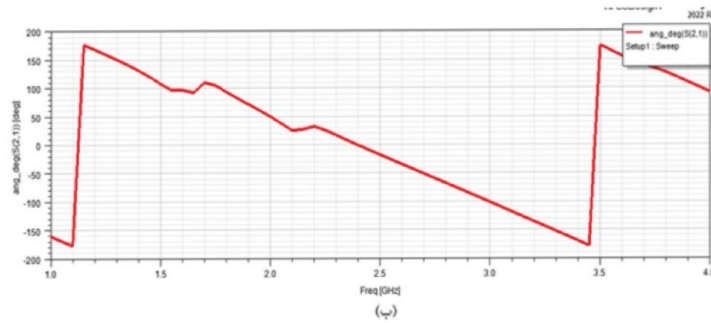


۷۴



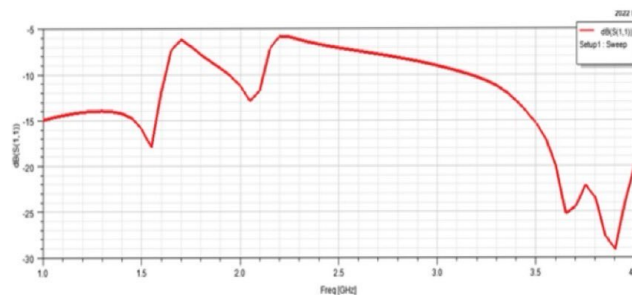
شکل ۴-۲۵- الف) نمودار فاز برای گلوکز ۷۰ در مرجع ۲۹ ب) نمودار رسم شده در این پژوهش. نمودار S_{11} برای گلوکز ۷۰ در شکل ۴-۲۶ رسم شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. در ساختار این نوع نمودار استفاده نمی‌شود.





شکل ۴-۲۵- الف) نمودار فاز برای گلوکز ۷۰ در مرجع ۲۹ ب) نمودار رسم شده در این پژوهش.

نمودار S_{۱۱} برای گلوکز ۷۰ در شکل ۴-۲۶ رسم شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. در ساختار این نوع نمودار استفاده نمی‌شود.



شکل ۴-۲۶- نمودار S_{۱۱} برای گلوکز ۷۰ در این پژوهش.

۴-۴- نوآوری در طرح حسگر قند خون مایکروویو با ساختار CSRR

به دلیل اینکه بازه‌ی فرکانسی در حد گیگاهرتز است اگر اضلاع را کوچکتر کنیم به دلیل افزایش فرکانس در نتایج بهبود حاصل می‌شود. در مرجع پیک‌های متفاوتی داشتیم ولی در این حالت در یک فرکانس پیک اتفاق می‌افتد. دو شش ضلعی که داخل هم بودن ضلع خارجی به ۱۲ ضلعی برای چهار طرح تبدیل می‌شود. شکل ۴-۴

۷۵

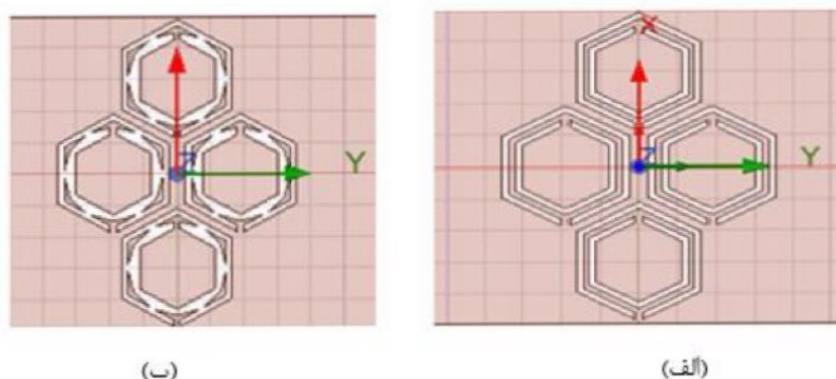
۲۷ الف طرح ساختار مرجع ۲۹ و شکل ۴-۲۷ ب ساختار نوآوری را نشان می‌دهد. مطابق این شکل ساختار شش ضلعی را تغییر می‌دهیم. در این طرح یکی از شش ضلعی‌ها به ۱۲ ضلعی تبدیل شده است.

با توجه به فرمول طول موج وقتی که اضلاع کوچکتر شوند فرکانس افزایش می‌یابد [۳۰]. و با توجه به تغییراتی که در ساختار مرجع ایجاد شد و اضلاع را کوچکتر کردیم و در قسمت‌های متفاوت نمودارهای مختلفی را به دست آوردیم و نمودارهای قسمت نوآوری که اضلاع را کوچکتر کردیم با مقایسه‌ی نمودارهای مرجع از لحاظ دقت و کارایی نتیجه بهتری داشتند. البته لازم به ذکر است که اضلاع هم باید تا حد خاصی کوچک شوند. مثلاً در ساختار جدید امکان تبدیل هر دو شش ضلعی به دوازده ضلعی وجود ندارد. زیرا زمانی که ساختار خیلی کوچک شود و همین نقطه هم محل حساسه است در این نقطه حسگری کاهش می‌یابد [۳۰].



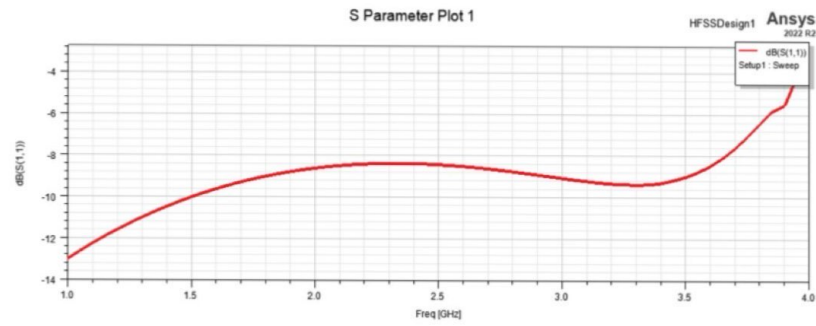
۲۷ الف طرح ساختار مرجع ۲۹ و شکل ۴-۲۷ ب ساختار نوآوری را نشان می‌دهد. مطابق این شکل ساختار شش ضلعی را تغییر می‌دهیم. در این طرح یکی از شش ضلعی‌ها به ۱۲ ضلعی تبدیل شده است.

با توجه به فرمول طول موج وقتی که اضلاع کوچکتر شوند فرکانس افزایش می‌یابد [۳۰]. و با توجه به تغییراتی که در ساختار مرجع ایجاد شد و اضلاع را کوچکتر کردیم و در قسمت‌های متفاوت نمودارهای مختلفی را به دست آوردیم و نمودارهای قسمت نوآوری که اضلاع را کوچکتر کردیم با مقایسه‌ی نمودارهای مرجع از لحاظ دقت و کارایی نتیجه بهتری داشتند. البته لازم به ذکر است که اضلاع هم باید تا حد خاصی کوچک شوند. مثلاً در ساختار جدید امکان تبدیل هر دو شش ضلعی به دوازده ضلعی وجود ندارد. زیرا زمانی که ساختار خیلی کوچک شود و همین نقطه هم محل حساسه است در این نقطه حسگری کاهش می‌یابد [۳۰].

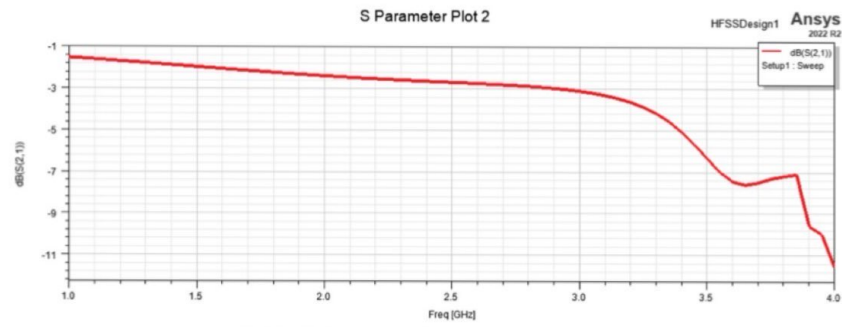


شکل ۴-۲۷- تغییر شکل ساختار: الف) طرح ساختار در مرجع [۲۹] ب) طرح ساختار جدید.

شکل ۴-۲۸ نحوه‌ی ترسیم ساختار جدید را نشان می‌دهد. در ساختار قبلی شکلی که مربوط به شش ضلعی مدنظر است را به ۱۲ ضلعی تبدیل کرده، تایید می‌کنیم. ساختار در نرم افزار تغییر می‌کند.

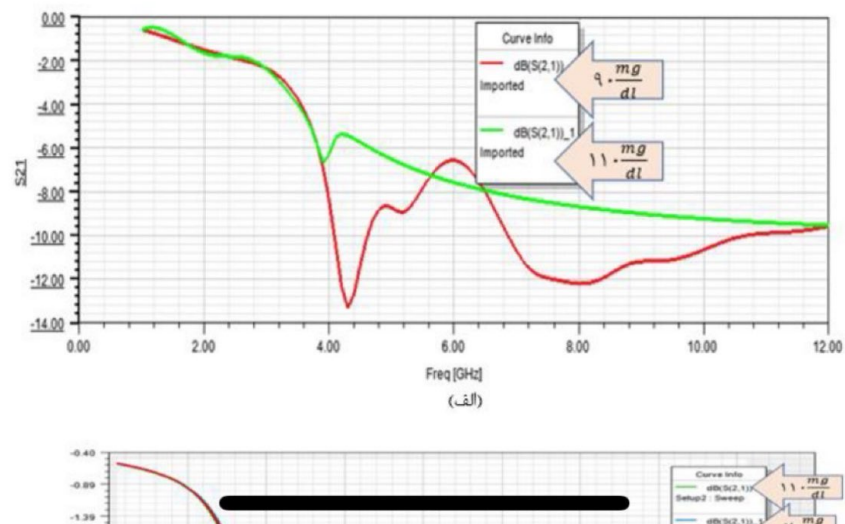


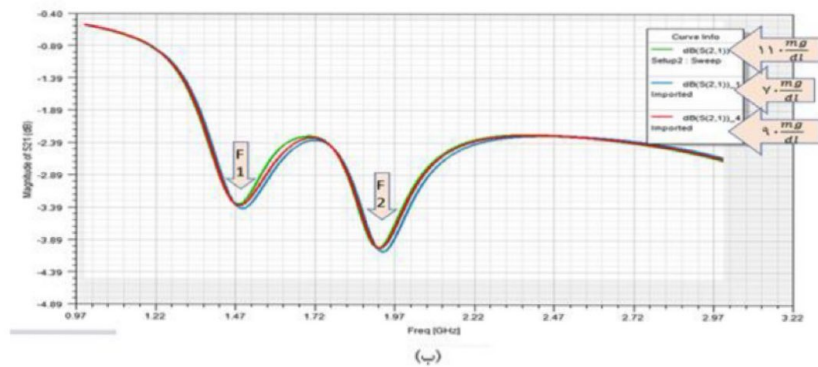
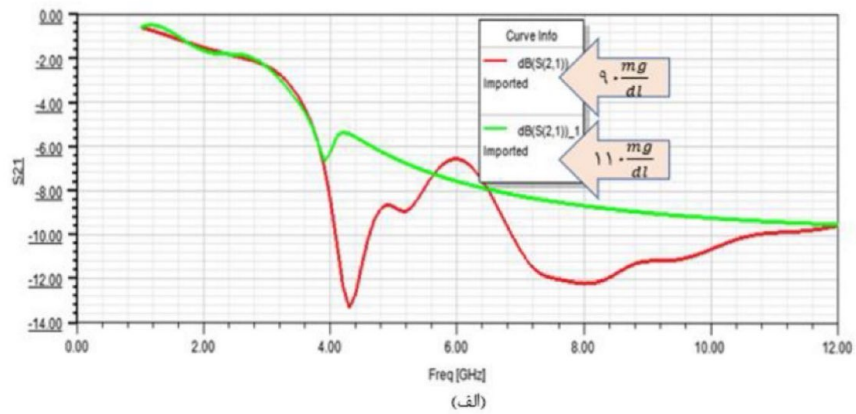
شکل ۴-۳۰- نمودار S_{۱۱} در ساختار جدید با اعمال ظرف آب.



شکل ۴-۳۱- نمودار S_{۲۱} در ساختار جدید با اعمال ظرف آب.

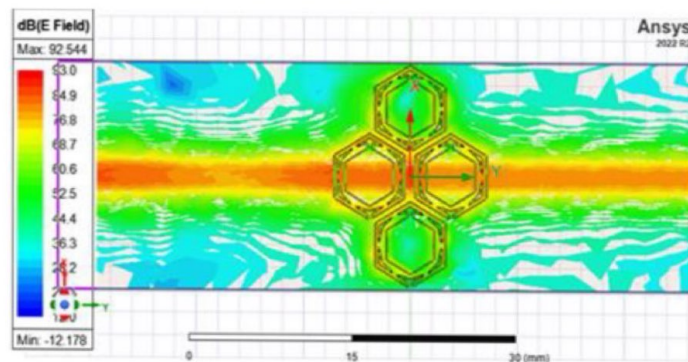
در شکل ۴-۳۲ گلوکز ۹۰ و ۱۱۰ به ساختار جدید اعمال شده است. شکل ۴-۳۲ الف ساختار جدید و شکل ۴-۳۲ ب نتایج ترسیم شده از مرجع ۲۹ را نشان می‌دهد. ساختار جدید در فرکانس بیشتر کار می‌کند و به صورت تک فرکانس است.





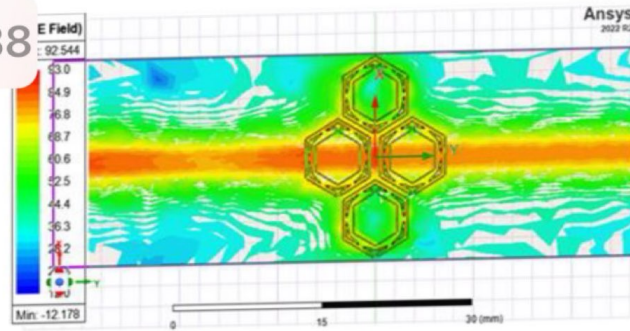
شکل ۴-۳۲- اعمال گلوکز: الف) ساختار جدید ب) نتایج رسم شده.

شکل ۴-۳۳ توزیع میدان در ساختار جدید را نشان می‌دهد. برای سنجش گلوکز به صورت غیرمستقیم permeability را تشخیص می‌دهد و از روی آن غلظت گلوکز را متوجه می‌شویم.



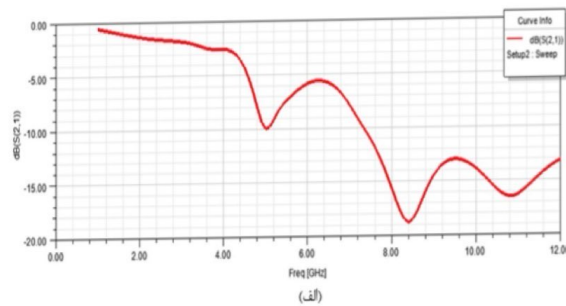
شکل ۴-۳۳- شبیه‌سازی توزیع میدان.

شکل ۴-۳۴ الف نمودار S_{21} در زمانی که لایه پوست به ضخامت ۱ میلی‌متر است را برای نوآوری و شکل ۴-۳۴

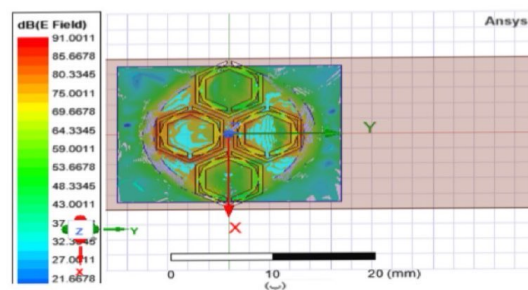


شکل ۴-۳۳- شبیه‌سازی توزیع میدان.

شکل ۴-۳۴ الف نمودار S_{21} در زمانی که لایه پوست به ضخامت ۱ میلی‌متر است را برای نوآوری و شکل ۴-۳۴ ب توزیع میدان را برای لایه پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد. (گلکز ۹۰ اعمال شده است)

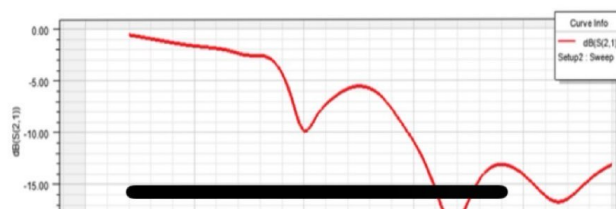


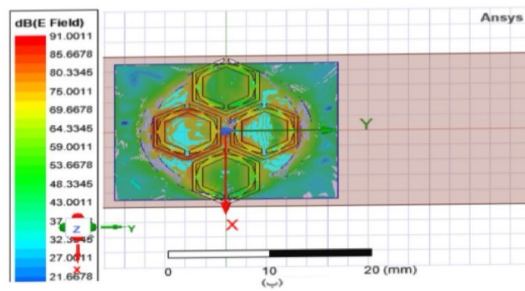
A۰



شکل ۴-۳۴ الف نمودار S_{21} برای لایه پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر برای گلکز ۹۰ ب توزیع میدان.

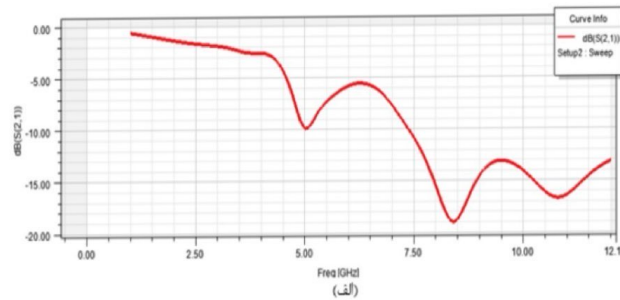
شکل ۴-۳۵ الف نمودار S_{21} در زمانی که لایه پوست به ضخامت ۱ میلی‌متر است را برای نوآوری و شکل ۴-۳۵ ب توزیع میدان را برای لایه پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد. (گلکز ۱۱۰ اعمال شده است)



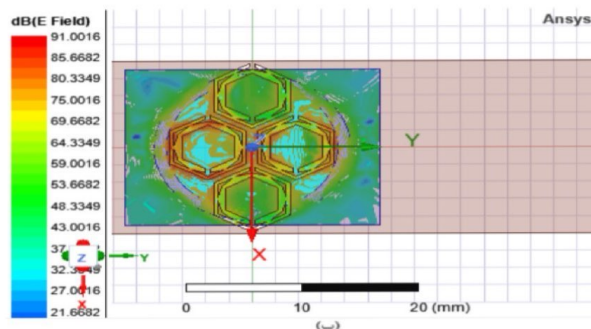


شکل ۴-۳۴ الف) نمودار S_{21} برای لایه‌ی پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر برای گلوکز ۹۰ ب) توزیع میدان.

شکل ۴-۳۵ الف) نمودار S_{21} در زمانی که لایه‌ی پوست به ضخامت ۱ میلی‌متر است را برای نوآوری و شکل ۴-۳۵ ب) توزیع میدان را برای لایه‌ی پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد. (گلوکز ۱۱۰ اعمال شده است)

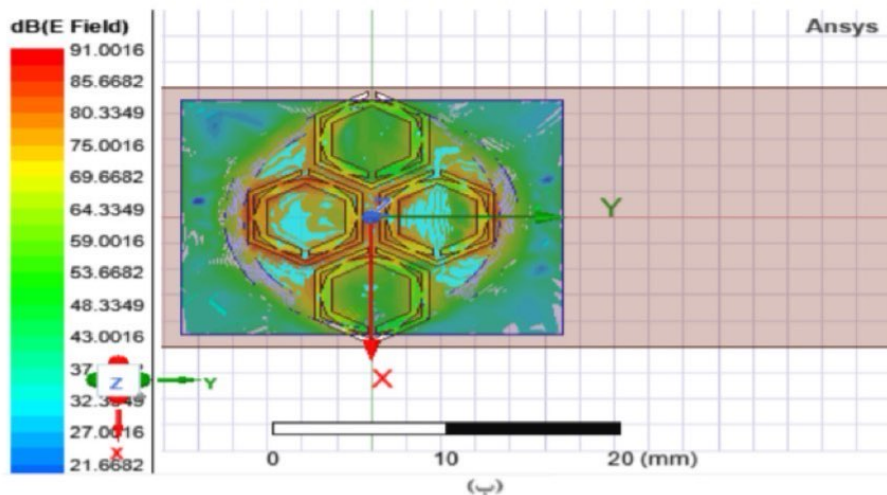


۸۱



شکل ۴-۳۵ الف) نمودار S_{21} برای لایه‌ی پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر برای گلوکز ۱۱۰ ب) توزیع میدان.

با اعمال گلوکزهای مختلف توزیع میدان تغییر می‌کند. این تغییر در شکل موج قابل مشاهده است. شکل ۴-۳۴ و ۴-۳۵ برای ضخامت یکسان با اعمال دو مقدار گلوکز مختلف ترسیم شده‌اند.



شکل ۴-۳۵- الف) نمودار S_{۲۱} برای لایه‌ی پوست با ضخامت ۱ میلی‌متر برای گلوکز ۱۱۰ ب) توزیع میدان.

با اعمال گلوکزهای مختلف توزیع میدان تغییر می‌کند. این تغییر در شکل موج قابل مشاهده است. شکل ۴-۳۴ و ۴-۳۵ برای ضخامت یکسان با اعمال دو مقدار گلوکز مختلف ترسیم شده‌اند.