



**پایان نامه دوره دکتری مهندسی برق - مخابرات**

# اندازه گیری غلظت گلوکز خون توسط یک روش الکترومغناطیسی غیرتهاجمی

اساتید راهنما:

دکتر نصرت ا... گرانیپایه و دکتر رضا جعفری

سید محمد علوی

تابستان 1390



اللهم لا تحرمنا



## تأییدیه هیئت داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهایی پایان نامه آقای سید محمد علوی

را با عنوان: اندازه گیری غلظت گلوکز خون توسط یک روش الکترومغناطیسی غیرتهاجمی

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری تأیید می کنند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر نصرت ا... گرانیپایه	دانشیار	
۲- استاد راهنما	دکتر رضا جعفری	استادیار	
۳- استاد ممتحن داخلی	دکتر سیدعبدا... میرطاهری	دانشیار	
۴- استاد ممتحن داخلی	دکتر علی خالقی	استادیار	
۵- استاد ممتحن خارجی	دکتر شهرام محمد نژاد	استاد	
۶- استاد ممتحن خارجی	دکتر محمد حسین قزل ایاغ	استادیار	
۷- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مسعود مقدسی تفرشی	دانشیار	



تقدیم به رساترین ندای عدالت، اسوه بندگی و اخلاص و  
امام صالحان روی زمین

علی علیه السلام

و

تقدیم به آستان مقدس حضرت ولی عصر عجل الله تعالی  
فرجه الشریف مهدی موعود که تمام وجودم فدایش باد.





## تشکر و قدردانی

سپاس مخصوص خداوند مهربان است که به انسان توانایی و دانایی بخشید.

اعتراف می‌کنم که نه زبان شکر تو را دارم و نه توان تشکر از بندگان تو.

و اما بر حسب وظیفه:

از پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای

مشکلات و ناملایمات کردند و به من درس عشق و دین‌داری آموختند متشکرم.

از کلیه اساتید ارجمندم در طول سال‌های به یاد ماندنی شاگردیشان تشکر می‌نمایم.

از اساتید ارجمند دکتر نصرت ا... گرانیپایه و دکتر رضا جعفری برای راهنمایی، مشاوره و هدایت این

پایان‌نامه کمال تشکر را دارم و علاوه بر آن از اینکه در این دوران تحصیل و در این تحقیق مشوق

اینجانب بوده و همواره از ایده‌های خوب آنان بهره‌مند شده‌ام، خاضعانه سپاسگزار آنانم.

و در پایان از همسر و فرزندان عزیزم و همه فرشتگانی که بال‌های محبت خود را گسترانیدند و با

تحمل دشواری‌ها، سبب شدند تا در کمال آسودگی خیال و فراغت بال، شوق آموختن در من زنده

بماند صمیمانه سپاسگزارم و این نیست جز جلوه‌ای از لطف و رحمت پروردگاری که از ادای شکر حتی

یک نعمت او ناتوانم.



## چکیده

کنترل میزان گلوکز خون برای افراد دیابتی یک ضرورت است. غالباً این کنترل تهاجمی بوده و برای اندازه‌گیری به نمونه‌گیری از خون بیمار نیاز است. این رساله به بررسی یک روش ابداعی اندازه‌گیری غیرتهاجمی گلوکز می‌پردازد که قصد دارد میزان گلوکز را بر مبنای مشخصات امپدانس بافت بیمار (در اینجا خون) اندازه‌گیری کند. روش مورد استفاده روش اندازه‌گیری بیوامپدانس است که از سیگنال‌های الکترومغناطیسی استفاده می‌کند. در این راستا، چند نوع سلول غیرتهاجمی سلفی طراحی و ساخته شده و همچنین چینش جانبی برای کار با این سلول‌ها ارائه شده است. اساس کار این سلول‌ها تغییر پارامترهای دی‌الکتریک محلول در حضور موادی نظیر گلوکز است. اثر تغییرات میزان این مواد بر پارامترهای دی‌الکتریک یک محلول (مثلاً خون) با دقت بالا اندازه‌گیری شده است. بیان تئوری و تفسیر اندازه‌گیری غیرتهاجمی میزان گلوکز براساس این تغییرات ارائه شده است. اندازه‌گیری گلوکز در خون با سلول‌های مختلف انجام پذیرفته است. همچنین نحوه تأثیر دما و تغییرات حجم بر اندازه‌گیری بررسی و نسبت به جبران‌سازی آن اقدام شده است. نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد که با رفع سایر پارامترهای مزاحم می‌توان این روش ابداعی را برای اندازه‌گیری میزان قند خون به صورت غیر تهاجمی به خوبی به کار گرفت.

**کلیدواژه:** روش‌های اندازه‌گیری قندخون، اندازه‌گیری غیرتهاجمی قند خون، اندازه‌گیری

بیوامپدانس، جبران‌سازی اثرات محیطی بر اندازه‌گیری، پارامترهای دی‌الکتریک بافت‌های بیولوژیک



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ف.....	فهرست جدول‌ها.....
ق.....	فهرست شکل‌ها.....
ث.....	فهرست علائم و نشانه‌ها.....
1.....	فصل 1- مقدمه.....
1.....	1-1- پیشگفتار.....
1.....	1-2- هدف این رساله.....
7.....	فصل 2- روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریکی بافت بیولوژیک و توصیف آن‌ها.....
7.....	1-2- مقدمه.....
8.....	2-2- مشخصه‌های الکتریکی بافت‌های بیولوژیک.....
8.....	1-2-2- مواد دی‌الکتریک.....
9.....	2-3- خون.....
9.....	1-3-2- ترکیب.....
10.....	2-3-2- عملکرد خون.....
10.....	3-3-2- پلاسما.....
11.....	4-2- پارامترهای دی‌الکتریکی خون.....
12.....	1-4-2- تغییرات هدایت خون.....
13.....	5-2- روش‌های اندازه‌گیری بیوامپدانس.....
16.....	6-2- نتیجه‌گیری.....
17.....	فصل 3- اندازه‌گیری تهاجمی پارامترهای دی‌الکتریکی محلول.....
17.....	1-3- مقدمه.....
18.....	2-3- شرایط عمومی اندازه‌گیری.....
18.....	1-2-3- اثر دما.....
19.....	2-2-3- حجم محلول داخل سلول.....
20.....	3-2-3- دقت روی غلظت محلول.....
22.....	4-2-3- موارد اختصاصی اندازه‌گیری پارامترهای خون.....

- 3-3- اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریکی محلول..... 22
- 1-3-3- سلول اندازه‌گیری..... 23
- 2-3-3- چینش دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریکی محلول..... 23
- 4-3- نتایج اندازه‌گیری..... 24
- 1-4-3- اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریکی آب با مقادیر مختلف نمک..... 25
- 2-4-3- اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریکی محلول آب و گلوکز..... 27
- 3-4-3- اندازه‌گیری گذردهی در فرکانس 35/15MHz..... 31
- 5-3- نتیجه‌گیری..... 33
- فصل 4- اندازه‌گیری غیرتهاجمی غلظت محلول..... 35**
- 1-4- مقدمه..... 35
- 2-4- روش اندازه‌گیری سلول سلفی (تک بوبین)..... 35
- 1-2-4- مدار معادل سلول سلفی..... 37
- 2-2-4- چینش اندازه‌گیری..... 40
- 3-4- نتایج اندازه‌گیری توسط سلول سلفی..... 43
- 1-3-4- اندازه‌گیری مقدماتی برای بدست آوردن فرکانس‌های حساس..... 43
- 2-3-4- اثر تغییرات دما..... 45
- 3-3-4- اثر تغییرات غلظت نمک..... 52
- 4-3-4- اثر تغییرات غلظت گلوکز..... 55
- 4-4- تحلیل نتایج بدست آمده توسط روش سلفی..... 59
- 1-4-4- تأثیر ضریب هدایت..... 59
- 2-4-4- تأثیر ضریب گذردهی..... 66
- 3-4-4- مدل‌سازی و شبیه‌سازی..... 67
- 5-4- نتیجه‌گیری..... 79
- فصل 5- اندازه‌گیری غیرتهاجمی غلظت گلوکز..... 81**
- 1-5- مقدمه..... 81
- 2-5- سلول دو بوبینی (T/R)..... 82
- 3-5- چینش اندازه‌گیری سلول T/R توسط دستگاه تحلیل‌گر شبکه..... 84
- 4-5- نتایج اندازه‌گیری روی سلول T/R به همراه دستگاه تحلیل‌گر شبکه..... 86
- 1-4-5- نتایج اندازه‌گیری T/R (کالیبراسیون ساده)..... 86
- 2-4-5- نتایج اندازه‌گیری با روش جبران‌سازی به همراه سلول..... 88

88.....	1-2-4-5	اثر دما بر سلول T/R.....
94.....	2-2-4-5	اندازه‌گیری تغییرات گلوکز.....
97.....	5-5	تکرار پذیری و صحت سنجی روش.....
99.....	1-5-5	تکرارپذیری آزمایش.....
101.....	2-5-5	مقایسه نتایج T/R با یک روش شیمیایی جهت اندازه‌گیری گلوکز.....
101.....	1-2-5-5	نتایج بدست آمده توسط روش T/R.....
102.....	2-2-5-5	نتایج بدست آمده توسط روش شیمیایی.....
103.....	6-5	اندازه‌گیری گلوکز خون.....
104.....	1-6-5	سلول اندازه‌گیری.....
104.....	2-6-5	چینش اندازه‌گیری.....
106.....	3-6-5	انتخاب فرکانس اندازه‌گیری.....
106.....	1-3-6-5	اندازه‌گیری مقدماتی.....
109.....	2-3-6-5	اندازه‌گیری فرکانس حساس به گلوکز.....
110.....	4-6-5	اندازه‌گیری برای مطالعه اثر دما و گذشت زمان روی خون.....
114.....	5-6-5	اندازه‌گیری تغییرات گلوکز در خون.....
115.....	1-5-6-5	جبران‌سازی اثر دما.....
118.....	7-5	نتیجه‌گیری.....
121.....	6	فصل 6- جبران‌سازی اثرهای دما و حجم.....
121.....	1-6	مقدمه.....
121.....	2-6	جبران‌سازی خودکار اثر دما طی فرایند تغییرات گلوکز در خون.....
126.....	3-6	جبران اثر تغییر حجم.....
127.....	1-3-6	چینش آزمایش و تجهیزات.....
127.....	2-3-6	بررسی حساسیت به تغییر حجم خون.....
128.....	3-3-6	حساسیت به تغییر گلوکز خون.....
129.....	4-3-6	جبران اثر تغییر حجم.....
130.....	5-3-6	بررسی کارایی روش جبران حجم.....
131.....	4-6	نتیجه‌گیری.....
133.....	7	فصل 7- نتیجه‌گیری و پیشنهادها:.....
137.....		ضمیمه أ- دیابت و روش‌های اندازه‌گیری غلظت گلوکز خون.....





## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول 3-1: مقادیر تغییر حجم و غلظت محلول افزودنی نمک.....	25
جدول 3-2: مقادیر تغییر حجم و غلظت محلول افزودنی گلوکز.....	28
جدول 3-3: $\partial\sigma/\partial C_g$ و $\partial S/\partial C_s$ و همچنین نسبت آن‌ها برای دماهای مختلف.....	31
جدول 4-1: مقادیر تغییر حجم و غلظت محلول افزودنی نمک.....	53
جدول 4-2: مقادیر تغییر حجم و غلظت بدست آمده گلوکز.....	56
جدول 4-3: رابطه‌های استخراج شده برای تغییرات قدر مطلق امیدانس نسبت به نمک و گلوکز.....	63
جدول 4-4: شیب تغییرات قدر مطلق امیدانس سلول نسبت به غلظت نمک و گلوکز.....	64
جدول 4-5: رابطه‌های تغییرات قدر مطلق امیدانس نسبت به دما برای نمک.....	64
جدول 4-6: شیب تغییرات قدر مطلق امیدانس نسبت به سه پارامتر دما، غلظت نمک و غلظت گلوکز.....	65
جدول 4-7: مقادیر بدست آمده برای عنصرهای مدار معادل شکل 4-22.....	71
جدول 4-8: مقادیر بدست آمده برای عنصرهای مدار معادل شکل 4-22.....	71
جدول 4-9: غلظت‌های مختلف نمک برای انجام شبیه‌سازی اثر آن.....	72
جدول 5-1: مقادیر تغییر حجم و غلظت محلول افزودنی گلوکز و غلظت بدست آمده.....	91
جدول 5-2: مقادیر مختلف دمای جبران‌سازی برای محلول با غلظت گلوکز ثابت $1/98 \text{ gr/lit}$ .....	92
جدول 5-3: مقادیر تغییر حجم و غلظت محلول افزودنی گلوکز و غلظت بدست آمده.....	95
جدول 5-4: مقادیر تغییر حجم و غلظت محلول افزودنی گلوکز و غلظت بدست آمده.....	98
جدول 5-5: مقادیر تغییر حجم و غلظت محلول افزودنی گلوکز.....	101
جدول 5-6: نتایج غلظت گلوکز بدست آمده.....	101
جدول 5-7: مقدار میانگین $T/R$ در 3 سری آزمایش.....	102
جدول 5-8: مقادیر غلظت‌های واقعی و اندازه‌گیری گلوکز با روش $T/R$ .....	102
جدول 5-9: مقادیر غلظت واقعی و غلظت اندازه‌گیری شده توسط روش کلریمتری (گلوکز).....	103
جدول 5-10: مقادیر تغییر حجم، غلظت محلول افزودنی گلوکز، غلظت بدست آمده، دمای سلول و مقادیر $T/R$ متناظر.....	115
جدول 5-11: مقادیر اندازه‌گیری و جبران شده $T/R$ .....	116
جدول 6-1: مقادیر تغییر حجم، غلظت محلول افزودنی گلوکز و غلظت بدست آمده.....	123
جدول 6-2: نتایج 4 سری اندازه‌گیری.....	123



## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 2-1: انواع مختلف سلول‌های خونی الف) گلبول قرمز، ب) گلبول سفید، ج) پلاکت	9
شکل 2-2: طیف هدایت و گذردهی خون [11]	11
شکل 2-3: شمای چینش اندازه‌گیری بیوامپدانسی	14
شکل 2-4: محدوده فرکانسی مورد استفاده در روش‌های مختلف اندازه‌گیری بیوامپدانسی	15
شکل 2-5: روش $V/I$	15
شکل 3-1: تغییرات T/R نسبت به حجم محلول	20
شکل 3-2: روش تغییر غلظت محلول	21
شکل 3-3: چینش دستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریکی	23
شکل 3-4: تغییرات رسانایی (s) محلول نسبت به غلظت نمک در فرکانس‌های مختلف	26
شکل 3-5: تغییرات گذردهی (e) محلول نسبت به غلظت نمک در فرکانس‌های مختلف	26
شکل 3-6: تغییرات (s) محلول آب نمک 4gr/lit نسبت به غلظت گلوکز	28
شکل 3-7: تغییرات رسانایی محلول نسبت به نمک و گلوکز	29
شکل 3-8: تغییرات گذردهی محلول نسبت به غلظت نمک در فرکانس 35/51MHz	32
شکل 3-9: تغییرات گذردهی محلول نسبت به غلظت گلوکز در فرکانس 35/51MHz	32
شکل 4-1: شکل کلی سلول سلفی آزمایش	36
شکل 4-2: سلول سلفی L7 مخصوص آزمایش	36
شکل 4-3: الف- میدان مغناطیسی در داخل و اطراف حلقه‌های بوبین ب- شماتیک خازن‌های موجود بین حلقه‌های مجاور در بوبین اندازه‌گیری	39
شکل 4-4: مدل‌سازی الکتریکی بوبین اندازه‌گیری الف) توسط یک خازن ب) چند خازنی	39
شکل 4-5: شمای تحلیل گر امپدانس و تحلیل گر شبکه استفاده شده در این پروژه	41
شکل 4-6: شمای چینش اندازه‌گیری مورد استفاده در روش اندازه‌گیری سلفی	42
شکل 4-7: ابعاد سلول سلفی مورد استفاده	44
شکل 4-8: طیف درصد نسبت تغییرات قدر مطلق امپدانس به قدر مطلق امپدانس اولیه نسبت به فرکانس، ناشی از 10gr/lit تغییر گلوکز	45
شکل 4-9: تغییرات قدر مطلق امپدانس نسبت به دما و فرکانس	47
شکل 4-10: تغییرات فاز امپدانس نسبت به دما و فرکانس	48

- شکل 4-11: انحراف معیار قدر مطلق  $Z$  نسبت به فرکانس ..... 51
- شکل 4-12: تغییرات قدر مطلق امپدانس سلول نسبت به فرکانس و دما در یک بازه ی کم حساسیت به دما ..... 52
- شکل 4-13: تغییرات قدر مطلق امپدانس سلول سلفی  $L7$  نسبت به فرکانس و غلظت نمک ..... 55
- شکل 4-14: تغییرات فاز امپدانس سلول سلفی  $L7$  نسبت به فرکانس و غلظت نمک ..... 55
- شکل 4-15: تغییرات قدر مطلق امپدانس سلول سلفی  $L7$  نسبت به فرکانس و غلظت گلوکز ..... 57
- شکل 4-16: تغییرات فاز امپدانس سلول سلفی  $L7$  نسبت به فرکانس و غلظت گلوکز ..... 57
- شکل 4-17: تغییرات قدر مطلق امپدانس نسبت به غلظت گلوکز در فرکانس 35/51MHz در دو دمای مختلف ..... 58
- شکل 4-18: تغییرات قدر مطلق امپدانس نسبت به دما در فرکانس 35/51MHz ..... 60
- شکل 4-19: تغییرات قدر مطلق امپدانس سلول نسبت به غلظت نمک در فرکانس 35/51MHz ..... 62
- شکل 4-20: مدار معادل سلول سلفی ارائه شده توسط دستگاه (HP4195A) در مود امپدانس متر ..... 68
- شکل 4-21: تغییرات قدر مطلق امپدانس سلول سلفی نسبت به فرکانس ..... 68
- شکل 4-22: مدار معادل استفاده شده برای مدل سازی سلول سلفی ..... 69
- شکل 4-23: نمایش امپدانس های مختلف مدار معادل شکل 4-22 روی سلول سلفی ..... 70
- شکل 4-24: تغییرات قدر مطلق امپدانس نسبت به فرکانس، بدست آمده توسط شبیه سازی برای یک محلول نمک با غلظت 0/04 gr/lit ..... 71
- شکل 4-25: تغییرات قدر مطلق امپدانس سلول سلفی نسبت به فرکانس برای غلظت های مختلف نمک ..... 72
- شکل 4-26: شبیه سازی تغییرات قدر مطلق امپدانس سلول سلفی نسبت به فرکانس برای محلول نمک با غلظت های مختلف (0/35 gr/lit ~ 0/04 gr/lit) ..... 74
- شکل 4-27: تغییرات ضریب گذردهی محلول نسبت به فرکانس و غلظت نمک ..... 77
- شکل 4-28: شبیه سازی تغییرات قدر مطلق امپدانس سلفی نسبت به فرکانس برای غلظت های مختلف نمک ..... 78
- شکل 5-1: ساختار و اساس اندازه گیری توسط سلول  $T/R$  ..... 82
- شکل 5-2: دو نوع استفاده شده سلول  $T/R$  (الف) سلول استوانه ای (ب) سلول حلقوی ..... 83
- شکل 5-3: شار میدان برای دو نوع سلول  $T/R$  (الف) استوانه ای (ب) حلقوی ..... 83
- شکل 5-4: چینش اندازه گیری مربوط به سلول  $T/R$  ..... 84
- شکل 5-5: نحوه ی اتصال سلول اندازه گیری بین تحلیل گر شبکه و تقسیم کننده توان ..... 85
- شکل 5-6: شکل و ابعاد سلول اندازه گیری  $A_2$  ..... 87
- شکل 5-7: تغییرات  $T/R$  نسبت به فرکانس برای دو غلظت مختلف گلوکز ..... 87