

## طراحی و ساخت دستگاهی برای تحلیل سیگنال نبض و بررسی پایائی و روائی آن نسبت به طب سنتی ایرانی

وحیدرضا نفیسی

استادیار گروه مهندسی پزشکی، پژوهشکده برق و فناوری اطلاعات، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

### چکیده

**سابقه و هدف:** در طب سنتی ایرانی، اندازه‌گیری نبض یکی از روش‌های اصلی برای تشخیص بیماری با وضعیت مزاج فرد به شمار می‌آید. یکی از مشکلاتی که در این روش می‌تواند به وجود بیاید، وابستگی تشخیص نهایی اجناس نبض به تجربه و خبرگی حکیم است. شاید همین عامل باعث می‌شود که این روش نتواند در کنار روشهای پزشکی مدرن عرض اندام نماید. سوال این است که آیا می‌توان دستگاهی ساخت که این معضل را مرتفع سازد. این موضوع، هدف این تحقیق می‌باشد. در این مقاله به تشریح طراحی سیستمی برای اندازه‌گیری سیگنال نبض بر اساس طب سنتی ایرانی، پرداخته می‌شود.

**مواد و روش‌ها:** تحقیق در مرحله اول به روش اکتشافی و با استفاده از رایزنی با متخصصین طب سنتی و مهندسی پزشکی و بررسی تجربیات کشورهای دیگر انجام دستگاهی برای ثبت نبض به روش طب سنتی ایرانی ساخته شد. در مرحله دوم برای تعیین پایائی و روائی آن، تست روی ۱۲ نفر (با تکرار ۵ بار برای هر نفر) انجام و با استفاده از کتب مرجع طب سنتی، تناظر اجناس نبض در طب سنتی با ویژگیهای کمی سیگنالهای نبض بررسی و توصیف گردید.

**یافته‌ها:** تحقیق نشان داد که پایائی دستگاه برای سنجش شاخصهای مختلف نبض متفاوت است ولی در بیشترین حالت دارای ضریب همبستگی ۰/۸۲ می‌باشد. نهایتاً در یک جدول نیز اجناس نه گانه نبض (طبق طب سنتی) با شاخص‌های کمی سیگنال نبض معادل سازی گردیده است.

**نتیجه‌گیری:** به نظر می‌رسد که طراحی و ساخت دستگاهی که قادر به اندازه‌گیری سیگنال نبض طبق طب سنتی ایرانی باشد ممکن بوده و احتمالاً می‌تواند باعث افزایش پایائی و قابلیت اطمینان نتایج تشخیصی حاصل از نباضی طب سنتی شود و امکان توسعه روشهای طب سنتی ایرانی و فراگیر شدن آنها را فراهم نماید. بنابراین بررسی تجربی و بالینی آن را توصیه می‌نمائیم.

**کلیدواژه‌ها:** طب سنتی ایرانی، نبض‌گیری، اجناس نبض، سیگنال نبض، حسگرآرایه ای، شاخص‌های کمی سیگنال نبض.

تاریخ دریافت: مرداد ۹۵  
تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۹۶

### مقدمه:

تفسیرهایی به وجود آمده است که علم نبض‌شناسی را تشکیل می‌دهد (۴، ۵ و ۶) و برای آن دسته بندی‌های متعددی ارائه شده است (۷).

امروزه استفاده از پالس نبض در طب مدرن نیز جهت تشخیص اولیه بیماریها و نارسایی‌های بدن به روشی مناسب و جذاب تبدیل شده است. علت این امر را می‌توان در ارزان بودن و غیر تهاجمی بودن سیستم دریافت پالس نبض جستجو کرد. بنابراین، سنجش نبض را می‌توان نقطه مشترک خوبی برای تلفیق طب سنتی و طب مدرن در نظر گرفت (۸) و بسیاری از تحقیقات صورت گرفته در طب مدرن را به طب سنتی بسط و گسترش داد (و بالعکس). به نظر می‌رسد مکتب

در مکتب طب سنتی ایران، مزاج، مفهومی کلیدی در تعریف سلامت و بیماری انسان است و در بسیاری از بیماریها، تغییرات خاصی در مزاج فرد رخ می‌دهد که طبق یک‌سری اصول مدون و طبقه‌بندی شده قابل افتراق است (۱) و شناخت و درمان بیماریها وابسته به درک مفاهیم سوء مزاج و درک مزاج معتدل انسان و دارو می‌باشد (۲ و ۳). در طب سنتی برای تشخیص بیماریها لمس نبض مخصوصاً نبض شریان رادیال در سطح داخلی تحتانی ساعد دست بسیار اهمیت داشته و یکی از پایه‌های مهم تشخیص را تشکیل می‌دهد و به همین جهت برای شناخت آن شرایط و دستورات و

ستی استفاده گردید (۴، ۶ و ۷). در مرحله دوم نیز میزان پائینی و روائی آن به صورت کمی و توصیفی بررسی شد.

با توجه به توضیحات قبل، در صورتی که بخواهیم دستگاهی طراحی نماییم که بتواند سلامتی فرد را بر اساس سنجش نبض، کمی و تکرار پذیر نماید، این سیستم دو قسمت کلی باید داشته باشد:

سخت افزار اندازه گیری نبض که معادل با حس لمس و فشاری است که حکیم طب سنتی روی دست بیمار اعمال و اندازه گیری می کند.

نرم افزار ثبت، پردازش و تحلیلی سیگنال نبض برای تفسیر و تشخیص بیماریها و مزاج همچنین می توان مشخصات زیر را برای این دستگاه برشمرد:

این دستگاه به میج فرد بسته می شود و باید بتواند تقلید عملکرد دست فرد نباض را انجام دهد.

وسيله ای که به میج بیمار بسته می شود باید از نظر ارگونومیک به گونه ای باشد که کمترین تاثیر را بر بیمار و خصوصاً بر نحوه انتشار موج نبض در میج دست او، داشته باشد و باعث خستگی نشود.

قابلیت ذخیره سازی اطلاعات هر فرد را داشته باشد تا بتوان برای مقایسه وضعیت نبض یک فرد در شرائط سلامت و بیماری، آن را فراخوانی نمود.

این دستگاه باید بتواند اجناس ده گانه نبض را اندازه گیری نماید.

به این ترتیب این دستگاه می بایست دارای اجزای سخت افزاری زیر باشد:

وسيله ای برای ایجاد فشارهای مختلف به موضع نبض حسگر دما (برای تعیین جنس هفتم نبض از نظر طب سنتی ایرانی)

حسگر سنجش نبض در چندین نقطه در موضع نبض گیری

ساختار کلی این دستگاه در شکل ۱ آمده است. در طراحی این دستگاه، استانداردهای مرتبط در نظر گرفته شده است (۱۱-۱۳).

طب سنتی ایران به عنوان یکی از ریشه دارترین مکاتب طب جهان نکات و خدمات قابل عرضه ای در این راستا داشته باشد.

علیرغم سابقه طولانی مکتب طب سنتی ایرانی، در مقایسه با طب سنتی چینی از انتشار جهانی کمتری برخوردار بوده است. در (۹) با بررسی دلایل انتشار جهانی طب سنتی چینی، راهکارهایی برای گسترش طب سنتی ایرانی پیشنهاد شده است که بعضی از آنها عبارتند از: ۱. انجام تحقیقات علمی در اثبات روشها و درمانها ۲. تجمیع طب سنتی ایران و طب نوین و ایجاد مراکز درمانی ادغام یافته ۳. تسری درمانهای پذیرفته شده علمی این رشته در نظام مراقبت های اولیه. در مرجع (۱۰) تاکید شده است که طب سنتی ایران باید با به کارگیری شواهد علمی معتبر، کارایی و اثربخشی خود را اثبات نماید.

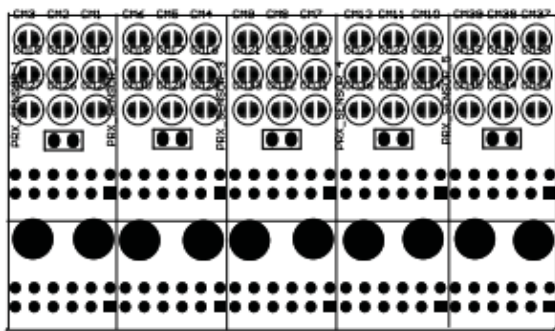
متخصصین طب چینی از سالها قبل مبادرت به تجهیز روشهای سنتی خود به دستگاهها و تجهیزات مدرن کرده اند و این یکی از شگردهای آنها برای جهانی کردن طب سنتی شان می باشد. در طب سنتی ایرانی نیز نبود یک دستگاه قابل اعتماد که بتواند به صورت تکرارپذیر و قابل اطمینان نبض افراد را منطبق با اصول طب سنتی ثبت و تحلیل آنها پرداخت به شدت احساس می شود. هم اکنون پزشکان طب سنتی در ایران پالس نبض را بوسیله دست و بدون استفاده از دستگاه، اندازه گیری و تحلیل می کنند. بنابراین پر واضح است که اندازه گیری و تشخیص بیماری مبتنی بر آن می تواند آمیخته به خطا بوده و میزان صحت آن نیز به مهارت پزشک بستگی تام دارد. همین موضوع می تواند مانعی در گسترش طب سنتی ایرانی و خصوصاً تلفیق آن با روشهای طب مدرن باشد.

بنابراین موضوع و هدف این تحقیق، تلاش برای پاسخ به این سوال است که آیا امکان ساخت دستگاهی وجود دارد که منطبق بر فلسفه طب سنتی ایرانی (با کمترین وابستگی به مهارت نباض) سیگنالهای نبض را ثبت و تحلیل نماید.

## مواد و روشها:

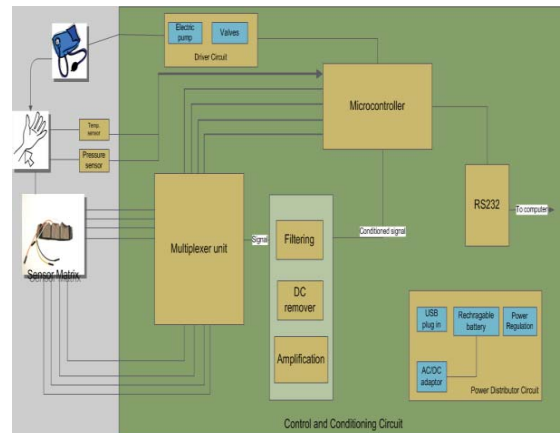
در مرحله اول این تحقیق برای طراحی و ساخت دستگاه به روش اکتشافی از نظرات متخصصین و کتب مرجع طب

توجه به تعریف طول نبض (طول) و بیشتر از لبه انگشت (با توجه به تعریف عرض نبض) را اندازه گیری نمایند. با داشتن اطلاعات این حسگرها می توان میزان قوت نبض در نقاط مختلف میچ را تحلیل کرده و از نتایج آن برای تشخیص ابعاد نبض استفاده کرد. شکل ۲ تصویر آرایه حسگری در این تحقیق را نشان می دهد. این آرایه از ۵ زیرمجموعه که معادل انگشتان پزشک است تشکیل شده است. هر کدام از زیرمجموعه ها نیز دارای ۹ حسگر هستند.



شکل ۲: حسگر آرایه ای

پس از اینکه تغییرات نبض به حسگرها منتقل شد، نیاز است که سیگنال بدست آمده با توجه به خصوصیات فیزیکی سیگنال، برای ارسال به کامپیوتر آماده شود. عواملی مانند نویز های محیطی و اغتشاشات حرکتی می توانند باعث شوند سیگنال تا قبل از رسیدن به رایانه، مشخصات نامناسب پیدا کند. همچنین در بعضی از حسگرها به دلیل ضعیف بودن سیگنال دریافتی نیاز است که بعضی تقویت های لازم نیز انجام گردد. بنابراین باید مدارهایی قبل از ارسال به رایانه وجود داشته باشند تا سیگنال ها آماده سازی شوند. پس از ارسال سیگنال ها به رایانه، برای تطبیق بین شاخص های طب سنتی ایرانی و مشخصات سیگنال، نیاز است استخراج ویژگی انجام شود. این ویژگی ها عمدتاً شامل ویژگی های زمانی سیگنال های بدست آمده و بعضاً ویژگی های سیگنال در حوزه فرکانس می باشند. در شکل ۳ روال آنالیز نبض در این تحقیق آورده شده است.



شکل ۱: دیاگرام کلی سیستم طراحی شده برای اندازه گیری نبض برای طب سنتی ایرانی

همانطور که ملاحظه شد، برای ثبت سیگنال نبض نیازمند حسگری هستیم که بتواند ضربات ناشی از حرکت کشسانی رگ و دینامیک تغییرات شعاع رگ در اطراف شریان رادیال (در محل میچ دست) را حس کند. بعضی از حسگرهایی که می توان از آنها استفاده نمود و در بعضی از تحقیقات مشابه (خصوصاً در طب سنتی چینی) از آنها استفاده شده است (۱۴ تا ۲۱)، عبارتند از:

حسگر های استرین گیج که نیروی اعمال شده به حسگر، باعث ایجاد تنش می شود و توسط حسگر اندازه گیری می شود.

حسگرهای پیزوالکتریک که در اثر اعمال فشار دینامیک ولتاژ تولید می کند.

حسگرهای نوری که بر اساس ارزیابی تغییر شدت نور کار می کنند و در دستگاههای امروزی برای اندازه گیری درصد اشباع اکسیژن خون از آنها استفاده می شود.

حسگرهای مقاومتی که مقاومت آنها در اثر اعمال نیرو تغییر می کند.

همچنین با توجه به خصوصیات نبض گیری در طب سنتی ایرانی، نیاز است که برای اندازه گیری طول و عرض نبض از آرایه ای از حسگرها استفاده کرد؛ به این معنا که حسگرها باید در ماتریسی قرار بگیرند تا بتوانند بیشتر از چهار انگشت (با

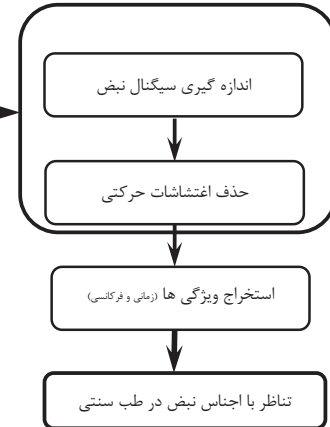
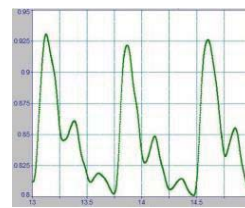
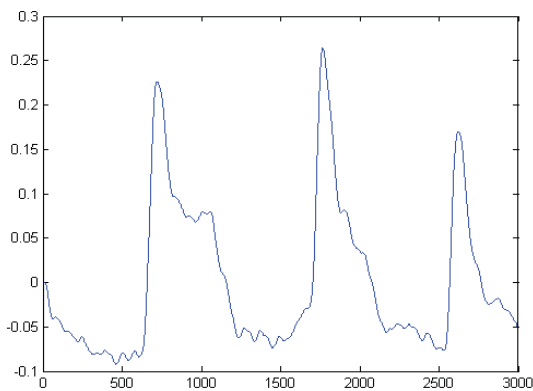


(ب)

شکل ۴: تصاویر دستگاه سنجش نبض

ما در یکی از این طرح‌ها، از حسگرهای نیروی مقاومتی استفاده کردیم. دلیل اصلی استفاده از این حسگر، مشابهت بین عملکرد آن با عملکرد حس در انگشتان دست نباض است؛ خصوصیت این حسگر این است که با افزایش نیرو، مقدار مقاومت آن کاهش می‌یابد (۲۱). شکل ۵-الف نمونه‌ای از سیگنال نبض است که توسط یکی از حسگرها اندازه‌گیری شده است را نشان می‌دهد (۲۲ و ۲۳).

در طرحی دیگر از ترکیب حسگرهای خازنی و نوری برای ثبت سیگنالهای نبض و میزان ضربه آن بهره‌گرفتیم که به صورت آرایه‌ای از حسگرها روی مچ دست قرار می‌گیرند (۲۴). مزایای استفاده از حسگرهای نوری را می‌توان در ارزان و غیرتهاجمی بودن آنها دانست. شکل ۵-ب نمونه‌ای از سیگنالهای ثبت شده توسط این حسگرها را نشان می‌دهد.



شکل ۳: روال آنالیز نبض در این تحقیق

### یافته‌ها:

گروه تحقیقاتی ما با توجه به توضیحات فوق مبادرت به طراحی و ساخت چند نسخه از این دستگاهها نموده است که شرح آنها در مراجع (۲۲ تا ۲۴) آمده است. در شکل ۴ تصاویر دستگاههای ساخته شده قابل مشاهده است. اولین نسخه از این دستگاه (شکل ۴-الف) دارای قابلیت ایجاد فشار در نواحی مختلف مچ دست بیمار و سنجش نبض در آن نقاط را دارد. نسخه دوم (شکل ۴-ب) این دستگاه حالت پرتابل دارد و می‌توان فشار را با در چند حالت مختلف با استفاده از یک نوار کمربندی ایجاد نمود.



(الف)

(ب)

شکل ۶: (الف) سیگنال نبض و (ب) مشتق اول آن. B1 تا B10 ویژگی‌های تعریف شده در هر سیکل هستند.

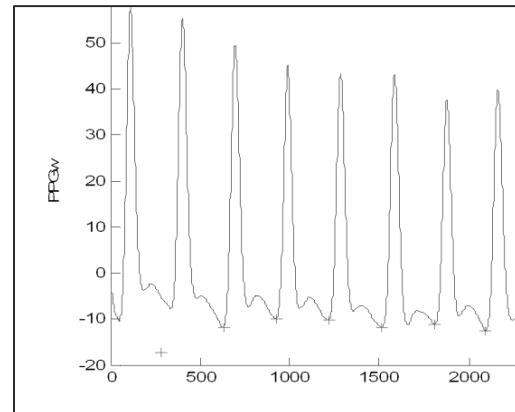
تکرارپذیری و اطمینان پذیری یک وسیله اندازه گیری موضوع مهمی هستند و برای تایید درستی داده های حاصل از این دستگاه نیاز به انجام تست های آماری داریم که با استفاده از آنها و مقایسه داده های به دست آمده از دستگاه نبض نگار با داده های به دست آمده از دستگاه پالس اکسیمتر مرجع کالیبره، نتیجه این پژوهش را اعتبار سنجی می کنیم. پارامترهای اصلی مورد ارزیابی همان ویژگیهای نشان داده شده در شکل ۶ هستند. در این تحقیق ۱۲ نفر با ۵ بار تکرار، با دو دستگاه نبض نگار و پالس اکسیمتر کالیبره (بطور همزمان) مورد تست قرار گرفتند و ثبت سیگنال برای هر فرد به مدت یک دقیقه انجام شد. فاصله زمانی بین هر تکرار برای هر فرد بیش از ده دقیقه نبوده است تا تغییر شرایط فیزیولوژیک باعث تغییر در پارامترهای سیگنال نبض نگردد. پارامترهای شاخص در سیگنال نبض ثبت شده از دستگاه نبض نگار و پارامترهای متناظر در دستگاه پالس اکسیمتر، برای هر فرد به دست آمد و مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج ارزیابی برای دو تا از پارامترها (B1 و B10) در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: ضریب همبستگی و خطای نسبی

شاخص	خطای نسبی	ضریب همبستگی
B1	٪۳/۸	۰/۷۷
B10	٪۱/۷	۰/۸۲

بقیه نتایج ارزیابی در مقاله (۲۷) مورد بحث قرار گرفته است و نشان داده شده است که می توان این دستگاه را به عنوان یک دستگاه مناسب اندازه گیری مورد استفاده قرار داد. از سوی دیگر اگر بتوان تناظری بین این شاخص ها با "اجناس نبض" (۴) برقرار نمود، می توان ادعا کرد که امکان

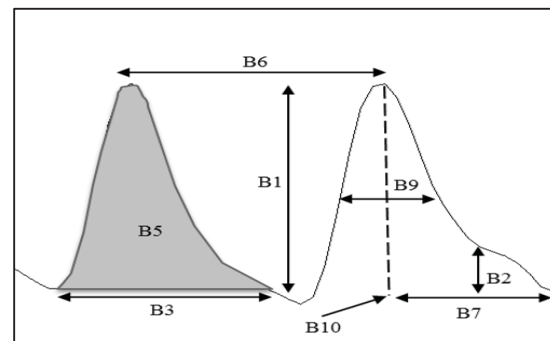
(الف)



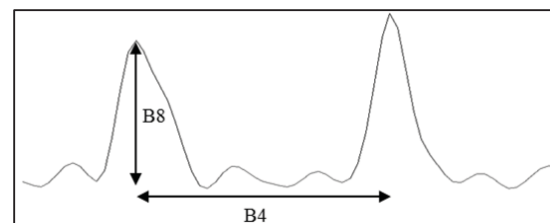
(ب)

شکل ۵: نمونه ای از سیگنال نبض ثبت شده توسط (الف): حسگر نیرو (۲۲) و (ب) حسگر نوری (۲۵)

البته اغتشاشات حرکتی روی کیفیت این سیگنالها اثر زیادی دارند و بنابراین قبل از هرگونه آنالیز و بهره برداری از این سیگنالها نیاز است که این اغتشاشات حذف شوند. که ما با استفاده از تبدیلهای زمان-فرکانسی موفق شدیم تا حد قابل قبولی این نویزها را از سیگنال اصلی حذف نمائیم (۲۶). در این پژوهش از چندین ویژگی و شاخص استخراج شده از سیگنالهای نبض استفاده گردید. این ویژگی ها در شکل ۶ نشان داده شده اند.



(الف)



با توجه به معادله Moen-Kortweg، رابطه ای بین کشسانی عروق و سرعت حرکت خون (رابطه (۱)) و نیز رابطه ای بین فشار خون و کشسانی عروق (رابطه ۲ و ۳) وجود دارد (۲۸).

(۱)

(۲)

(۳)

در روابط بالا  $c$  سرعت حرکت خون،  $E$  الاستیسیته دیواره رگ،  $P$  فشار خون،  $R$  شعاع رگ و  $\rho$  چگالی خون و  $h$  ضخامت رگ می باشد.  $E_0$  مدول یانگ و وابسته به تغییرات فشار است.

ساخت دستگاهی که نتایجی مطابق با طب سنتی ایرانی ارائه دهد میسر شده است.

با توجه به توضیحات مندرج در جدول ۲ مشخص می شود که می توان اجناس ده گانه نبض را با تحلیل و آنالیز سیگنال نبض مچ دست، بدست آورد. البته جنس هفتم از این اجناس که مربوط به دمای ملمس هست، نیاز به حسگر دما دارد که در حال حاضر حسگرهای دمای متعددی برای این کار وجود دارد.

لازم به ذکر است که در اندازه گیری نبض طبق طب سنتی ایرانی عملاً از چندین حسگر برای ثبت سیگنال نبض استفاده می کنیم، بنابراین امکان سنجش سرعت حرکت نبض در طول رگ (یا پارامتر PWV در جدول ۲) وجود دارد. از سوی دیگر

جدول ۲: ارتباط اجناس نبض در طب سنتی با بعضی از ویژگیهای سیگنال نبض

اجناس نبض در طب سنتی	توضیح	شاخص های کمی سیگنال(های) نبض
جنس اول: مقدار انبساط طولی، عرضی و عمقی (ارتفاع) نبض	انبساط طولی نبض از آنجا که طول نبض را در واقع احساس همزمان یک ضربه نبض زیر انگشتان پزشک مشخص می کند، می توان آن را به عرض یک پالس و سرعت انتقال مکانی آن ارتباط داد.	عرض سیکل (B3) سرعت حرکت نبض = PWV زمان گذار نبض = PTT
	انبساط عرضی نبض: احساس همزمان نبض زیر پهنای انگشتان پزشک را می توان به عنوان عرض نبض تلقی نمود.	با توجه به اینکه دستگاه سنجش نبض موردنظر در این تحقیق دارای آرایه ای دو بعدی از حسگرها هست، این امکان وجود دارد که میزان همزمانی زمان وقوع پیک سیستول (B10) در دو حسگر عرضی همجوار ارزیابی گردد و به عنوان عرض نبض لحاظ شود.
	انبساط عمقی (ارتفاع) نبض: متخصص طب سنتی با ایجاد فشارهای کم، متوسط و زیاد روی محل نبض حس ادراک نبض را ارزیابی می نماید که اگر احساس نبض با فشارهای کم قابل درک باشد، نبض "شاهق" است و اگر با فشار زیاد این ادراک حاصل شود، نبض "منخفض" است (۴)	بنابراین وقتی ما از حسگرهای نوری برای اندازه گیری نبض استفاده می کنیم میزان دامنه پیک سیستول (B1) و دامنه دیکروتیک ناچ (B2) می تواند شاخصی برای ارتفاع نبض باشند.
جنس دوم: قوت یا شدت ضربه نبض	دامنه سیگنال نبض (B1)، مقدار تغییر از حالت سکون تا انبساط کامل رگ را نشان می دهد که به همراه سرعت این تغییر (B8) می تواند شاخصی از شدت ضربه باشد. همچنین در صورتی که از حسگرهای نیرو استفاده کرده باشیم، مساحت زیرمنحنی نمودار نیرو بر حسب زمان از ابتدا تا انتهای ضربه را می توان شدت ضربه در نظر گرفت.	دامنه پیک سیستول (B1) و تفاوت دامنه ماکزیمم و مینیمم در مشتق اول سیگنال نبض (B8)
		مساحت سیکل (B5) و عرض پالس در ۱/۲ دامنه پیک سیستول (B9) (۲۹)

اجناس نبض در طب سنتی	توضیح	شاخص‌های کمی سیگنال(های) نبض
جنس سوم: مدت زمان حرکت نبض	در اینجا منظور سرعت حرکت سیگنال نبض از حالت سکون به انبساط کامل و در واقع سرعت پر شدن رگ از خون در هر تپش قلب است	تفاوت دامنه ماکزیمم و مینیمم در مشتق اول (B8)
جنس چهارم: شاخص فاصله و زمان سکون	در واقع تواتر سیگنال نبض را نشان می دهد.	فاصله بین دو پیک سیستول متوالی (B6) فاصله بین پیک سیستول و انتهای سیکل (B7)
جنس پنجم: قوام رگ	میزان سفتی و قوام رگ را در هنگام لمس و فشردن آن توصیف می کند.	در مرجع (۳۰) ضریب سفتی عروق به صورت قد فرد به سرعت انتقال پالس تعریف شده است = Height/PTT
جنس ششم: خلو و امتلاهی درون رگ	در واقع کثرت و قلت خون را نشان می دهد و لزجت خون می تواند در این ویژگی نقش داشته باشد.	مقاومت سیستم عروقی که معادل نسبت مساحت قسمت سیستولی به قسمت دیاستولی سیگنال نبض است = B5sys / B5dia = (۳۱)
جنس هفتم: دمای ملمس	حرارت محل تماس انگشت با پوست بیمار را توصیف می کند که می تواند با حرارت سایر قسمت‌های بدن متفاوت باشد (۴)	برای ثبت این جنس، نیاز به اندازه گیری دما هست که به سادگی با استفاده از حسگرهای دما این کار قابل انجام است.
جنس هشتم: استوای نبض	این جنس توصیف کننده همگونی اجزای یک نبض (طول، عرض، ارتفاع، قوت ...) نسبت به نبض‌های متوالی زمانی و مکانی (زیر انگشتان مختلف) است. که می تواند "مستوی" یا "مختلف" ارزیابی شود (۴).	برای ارزیابی همگونی اجزای مختلف نبض (اجناس اول تا ششم) در زمانها و مکانهای (زیر انگشتان) مختلف از یک سری پارامترهای آماری مثل میانگین، واریانس، ضریب تغییرات و چولگی استفاده می کنیم. این پارامترهای آماری را برای شاخص‌های استخراج شده برای هر نبض برای چند نبض متوالی محاسبه می نمایم. اگر این شاخص‌ها در محدوده مشخصی قرار بگیرند، آنها را "منتظم" و در غیراینصورت "مختلف" ارزیابی می نمایم.
جنس نهم: انتظام نبض	در حالتی که جنس هشتم از نوع "مختلف" ارزیابی شود، وجود یا عدم وجود یک نظم تکرار شونده در این قسمت مورد بررسی قرار می گیرد که به دو حالت "مختلف منتظم" و "غیرمنتظم" تفکیک می گردد (۴).	در مرجع (۷) تعداد نبض مناسب برای ارزیابی را ۱۲ قرعه در نظر گرفته شده است. بنابراین محاسبه پارامترهای آماری فوق در این تعداد نبض انجام می شود و تغییرات این پارامترها در یک فاصله زمانی بزرگتر مثلا یک دقیقه برای تعیین انتظام نبض مورد بررسی قرار می گیرد.
جنس دهم: وزن نبض	توصیف کننده وزن حرکت نبض و نسبت بین حرکت‌ها و سکونهای نبض است.	با توجه به شکل ۶ می توان رابطه زیر را برای این جنس در نظر گرفت که نسبت میزان محدوده‌های مربوط به سکون نبض و کل سیکل نبض را نشان می دهد: $(B6 - B3) + B9 / B6$

**بحث:**

این تحقیق نشان داد که طراحی و ساخت دستگاهی برای ثبت و کمی سازی نباضی در طب سنتی ایرانی امکان پذیر است و می تواند وابستگی نتایج تشخیصی طب سنتی را به مهارت و خبرگی فرد متخصص کاهش داده و باعث افزایش اعتبار این طب گردد. نتایج بخش ۳ نشان داد این دستگاه دارای روانی و پایائی لازم می باشد.

در طب سنتی برای تشخیص حالات و بیماریها شاخص های زیر از نبض ادراک می شود (۴):

اندازه نبض (طول و پهنا و عمق نبض)

حرکت و سکون

سرعت و کندی

تواتر و تفاوت

قوت و ضعف

نرمی و سختی رگ

خالی بودن رگ

استواری و اختلاف (مرتب یا نامرتب بودن نبض)

نظم بین حرکتها و سکونها

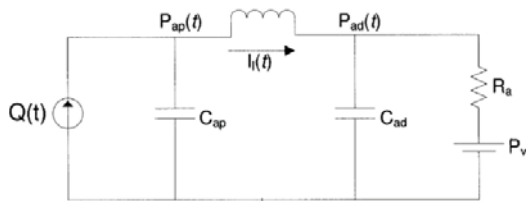
با توجه به این ویژگیها، حکمای طب سنتی انواع مختلفی از نبض را تعریف کرده اند و بر اساس آن تشخیص وضعیت فیزیولوژیکی و روحی فرد را انجام می دهند. از سوی دیگر در علم بیومکانیک و پردازش سیگنالهای نبض، این ویژگی ها قابل ترجمه به ویژگیهای مهندسی هستند که در بخش ۳ به آنها اشاره شد (جدول ۲).

پرسش مهمی که در اینجا مطرح می شود این است که آیا نبض نگاری و به طور کلی علم نبض شناسی در طب سنتی از نظر طب رایج دارای صحت است یا نه؟ به عبارت دیگر آیا آنطور که ادعا می شود، می توان بیماری یا دیگر حالات بیمار را از روی نبض او تشخیص داد؟ آیا بین نبض و فعالیت دیگر اعضای بدن، ارتباطی وجود دارد؟

این موضوع را می توان از سه منظر مورد بررسی قرار داد:

الف): از دیدگاه بیومکانیکی:

اگر بخواهیم از دیدگاه بیومکانیکی مسئله را تحلیل کنیم، به طور مختصر، می توان گفت که سیستم انتقال خون (شامل قلب، عروق شریانی و وریدی، و مویرگ ها)، همانند خط انتقال در سیستم های الکتریکی عمل می کند و می توان آن را به صورت مدل ویندکسل یا ویندکسل اصلاح شده مدل کرد (۳۲-۳۴). خط انتقال دارای چند پارامتر مهم است: خاصیت سلفی، خازنی، مقاومتی خط و سرعت انتشار موج در خط. به همین ترتیب، این ویژگی ها در سیستم انتقال خون نیز وجود دارد: میزان ویسکوزیته سیال (که در عروق خون می باشد) عامل مقاومتی، میزان اینرسی سیال در مقابل حرکت کردن (که به جرم حجمی آن بستگی دارد) خاصیت سلفی و میزان الاستیسیته عروق، عامل خازنی سیستم انتقال خون را تشکیل می دهند. در شکل ۷، مقدار خازن های  $C_{ap}$  و  $C_{ad}$  به ترتیب نماینده ظرفیت الاستیسیته عروق بزرگ و عروق کوچک،  $R_a$  مقاومت محیطی مسیر،  $P_v$  فشار ثابت ناشی از سیاهرگ،  $L$  نماینده اینرسی خون و  $Q$  نماینده منبع تولید کننده جریان سیال است (۳۴).

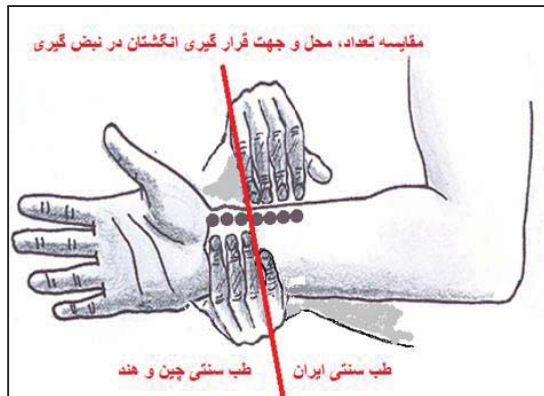


شکل ۷: مدل ویندکسل اصلاح شده (۳۴)

در سیستم انتقال خون، تغییرات فشار خروجی قلب باعث تغییر شعاع دیواره رگ در تمام سیستم انتقال خون می شود. سرعت انتشار این تغییرات شعاع، برابر با سرعت انتشار فشار است (که این سرعت انتشار به پارامترهای سیستم انتقال وابسته است). میتوان ادعا کرد که نبض حس شده در زیر انگشتان دست حکیم، همین تغییرات شعاع عروق است (شکل ۸). طبق این استدلال می توان گفت که نبض حس شده در زیر



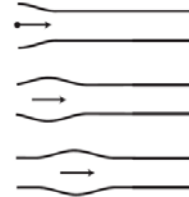
با توجه به نبود مطالعات خاص در زمینه طب سنتی ایرانی و به علت مشابهت هایی که بین طب سنتی ایران و چین و هند وجود دارد، در اینجا عمدتاً به مرور فعالیتهای انجام شده در زمینه نبض شناسی در طب چینی می پردازیم. متخصصان طب سنتی چینی نیز گرفتن نبض را جزء اجتناب ناپذیر تشخیص بیماری و ناخوشی می دانستند. البته هم در روش تشخیص و هم نحوه نبض گیری تفاوت های آشکاری بین طب سنتی ایران و چین وجود دارد که نمونه ای از آن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. متخصصین چینی معتقد هستند که تغییراتی که در قسمتهای مختلف نبضهای رادیال حس می شود هر کدام مربوط به بیماری یک عضو مخصوص است. آنها سه نقطه را بر روی شریان اصلی مچ دست شناسائی کرده اند که به وسیله سه انگشت اشاره، میانی و حلقه سنجیده می شود.



شکل (۱۰) - مقایسه نبض گیری در طب سنتی چین و ایران

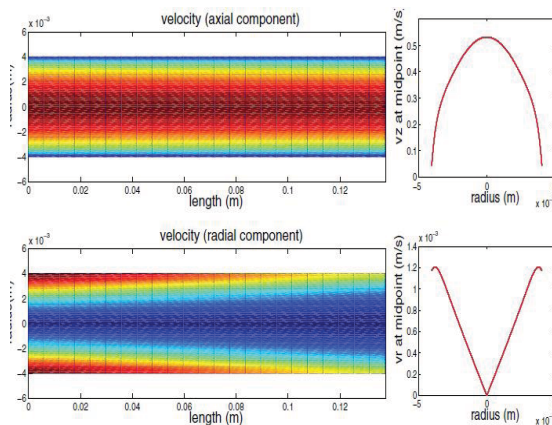
یکی از مقالاتی که به مطالعه در این زمینه پرداخته این است که بین تغییرات فشار خون و نبض مچ دست ارتباطی وجود دارد و این ارتباط می تواند در شرایطی به برابری بیانجامد (۳۸). با استفاده از حسگر های نیروی مناسب در محل مچ دست، می توان از رفتار قلب و فشار خون اطلاعاتی را کسب نمود. مطابق جستجوهای صورت گرفته یک دستگاه که همزمان پالس نبض ۳ نقطه را به همراه رزولوشن مکانی آنها (یعنی استفاده از یک حسگر پیزوالکتریک آرایه ای  $4 \times 3$ )

انگشتان دست، متناسب با برون ده قلب و نحوه تغییرات فشار قلب است (شکل ۹).



شکل ۸: انتشار موج فشار در طول یک محفظه الاستیک.

می توان انتشار نبض را چنین مدل کرد (۳۳)



شکل ۹: نمایشی از مدلسازی تغییرات سرعت شعاعی و

طولی سیال در طول رگ (۳۵)

مطابق بررسی های صورت گرفته مقداری از انرژی پالس فشار خون به هنگام خروج از قلب به صورت موج عرضی درآمده و در طول دیواره الاستیک رگ و با تضعیف کم به حرکت در می آید. با بررسی همزمان سیگنال نبض در چند نقطه چگونگی توزیع انرژی پالس نبض در طول و عرض رگ بدست می آید (۳۶ و ۳۷). بررسی چگونگی توزیع این انرژی در هر نقطه از رگ می تواند حاوی اطلاعات مفیدی از عملکرد ارگانهای داخلی بدن باشد. بنابراین به جای استفاده از یک حسگر برای هر نقطه، بهتر است آرایه ای از حسگرها برای هر نقطه در نظر گرفته شود.

(ب): از دیدگاه طب سنتی چینی

در مقاله ای دیگر، تعدادی از ویژگی های شکل موج (بر اساس شکل موج یک فرد سالم) استخراج و سپس این پارامترها توسط شبکه فازی-عصبی دسته بندی می شود (۳۹). یکی از پارامترهای مهم در هنگام نبض گیری، عمق نبض است به این معنا که در فشارهای مختلف بر روی شریان مچ، نبض با چه قدرتی می زند. این مقاله بیشتر به دسته بندی این موارد پرداخته است.

در تحقیقی دیگر بر اساس مدل های گوسی، شاخص های شکل موج نبض بدست آمده و توسط روش فازی دسته بندی می شود (۴۰). در این مقاله، روش جمع آوری اطلاعات بر اساس یک فلومتر خون داپلری است. اعلام شده است که می توان ۹۰ درصد افراد سالم را از افراد با بیماری خاص تفکیک کرد و با صحت ۸۵ درصد افراد با بیماری های مختلف را تفکیک کرد.

در (۴۱) با استفاده از یک حسگر اولتراسوند، پالس نبض مچ دست جهت تفکیک چند بیماری مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق ۳۲۰ نمونه شامل ۱۰۰ فرد سالم، ۳۵ فرد دارای آپاندیسیت و ۵۴ فرد دارای آپاندیسیت حاد و ۵۴ فرد دارای پانکراتیت و ۷۷ فرد دارای زخم اثنی عشر مورد بررسی قرار گرفته است و با دقت ۸۳٪ فرد سالم از بیمار و با دقت ۹۳٪ بیمارها از یکدیگر تفکیک شده اند. در تحقیقات مشابهی نیز سعی شده است که بیماران دارای التهاب کیسه صفرا و عفونت کلیه (۴۲) یا بیماران دارای التهاب معده (۴۳) را از افراد سالم با استفاده از سیگنال نبض مچ دست تفکیک نمایند.

ج): از دیدگاه پردازش سیگنال:

آنالیز پالس نبض انگشت یا مچ اطلاعات زیادی از ارگانهای داخلی بدن را در اختیار ما قرار می دهد. با استفاده از حسگرهای نوری نیز می توان تغییرات شعاع رگ در اثر عبور پالس نبض را بدست آورد. سیگنال بدست آمده از این طریق را فتوپلیتسموگرام (Photoplethysmogram = PPG) می نامند. بعضی از کاربردهای آنالیز PPG که در تعدادی از تحقیقات به آن پرداخته شده است به شرح زیر هستند:

۱- استخراج نرخ تنفس (۴۴)

برای هر نقطه) ثبت می کند، در سال ۲۰۱۲ ساخته شده و بصورت آزمایشگاهی و تحقیقاتی تست گردیده است (۱۹).

یکی از مهمترین مسائلی که هنگام تطبیق دانسته های حکیم طب سنتی با شکل موج نبض شریان مچ دست مطرح می شود، شاخص هایی است که متناظر با درک حکیم در مورد شکل موج حس شده توسط انگشتان خود، بر روی شکل موج نبض مشخص و تعریف می شوند. به وسیله این شاخص ها می توان دسته بندی صحیحی از شکل موج های ثبت شده انجام داد. در مرجع (۱۴) شکل موج های ۱۳ گانه طب سنتی چینی مربوط به ریتم آورده شده و شکل موج نبض با مجموع دو توزیع گاما با متغیرهای مختلف مدل شده است. در مرحله ی بعد، متغیرهای مدل در هر کدام از شکل موج های ۱۳ گانه، با الگوریتم شناخت الگو، بدست آورده می شوند و با استفاده از همین مدلها به دسته بندی شکل موج های ناشناخته پرداخته اند. در انتهای این مقاله ادعا شده است که نه تنها این روش دسته بندی به تجربه نبض گیر بستگی ندارد بلکه در بعضی از موارد، این روش جدید می تواند در تشخیص بیماری ها بهتر عمل کند. شکل موج ها به صورت غیر تهاجمی و به وسیله یک حسگر فشار اندازه گیری می شود. یک ساختار ساعت-مچی مانند برای ثابت نگه داشتن حسگر بر روی شریان ساعد به کار گرفته شده که به وسیله یک کاف، فشار لازم برای پایین نگه داشتن حسگر ایجاد می گردد.

قابل ذکر است که در مقاله های دیگر، از روش های دیگری برای تطبیق شاخص های شکل موج ها و دسته بندی آنها استفاده شده است: به طور مثال در یکی از مقالات به روش های جداسازی بر اساس چگالی طیف توان (PSD) و روش ICA در حوزه ی فرکانس اشاره شده است (۱۵).

در مرجع (۱۶) با استفاده از ایده طب سنتی چینی، سیستمی برای ثبت سیگنال نبض طراحی شده است و برای ثبت، از حسگر پیزو الکتریک استفاده نمودند. در این مقاله همچنین ادعا شده است که می توان با ثبت سیگنال نبض به مدت ۱ دقیقه، مشکل دار بودن نبض (که متناظر با اختلال عملکرد قلب است) تشخیص داده شود.

و خصوصاً ایرانی به منظور تشخیص وضعیت بیماریها اهمیت خاصی دارد، سنجش نبض است. علم نبض گیری در گذشته دارای این قابلیت بوده است که بتواند بیماری های مختلف را بر اساس نحوه ی توزیع فضایی ضربات نبض و نیز ویژگیهای دیگر تشخیص دهد. دستگاه سنجش نبض مورد بحث در اینجا با دستگاه اندازه گیری رایج در طب غربی متفاوت بوده و شرایط و الزامات خود را می طلبد. بنابراین لازم بود که برای علمی کردن نتایج حاصل، ابزاری دقیق و تکرارپذیر طراحی و ساخته شود. در این مقاله به مراحل مختلف تکوین و توسعه و پیاده سازی این ایده و نیز نتایج اولیه حاصل از آن پرداختیم. در این تحقیق نشان داده شد که ساخت دستگاهی برای ثبت سیگنال نبض منطبق با روش نباضی طب سنتی ایرانی عملی است و همان مفاهیم مربوط به اجناس نبض که در طب سنتی مطرح است با تحلیل سیگنال نبض قابل شناسائی و استفاده است. بنابراین می توان شکلی جدید به روش های تشخیص بیماری داده و از فناوری امروز برای تجربه سنتی استفاده نمود.

با اینحال تحلیل انطباق این روش با طب سنتی برای افتراق بیماریهای مختلف، تحقیقات بیشتری می طلبد که در ادامه این تحقیق باید انجام شود.

### سپاسگزاری:

این مقاله حاصل تلاشهای انجام شده در چند پروژه طراحی و ساخت دستگاه های نبض سنجی برای استفاده در طب سنتی است که قسمتی از اعتبارات آن توسط دانشکده طب سنتی دانشگاه علوم پزشکی تهران و سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران تامین شده است. در اینجا از همفکری و راهنمایی های موثر اعضای هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران آقایان دکتر محمدرضا شمس اردکانی و دکتر منصور کشاورز و دکتر مهدی علیزاده قدردانی و تشکر می گردد.

۲- اندازه گیری فشار خون (۴۵)

۳- تعیین میزان سختی (۱۸ و ۴۶)

۴- تخمین میزان برون ده قلبی (۴۷)

۵- تفکیک افراد سالم و افراد دارای MENTAL

DISORDER (۴۸)

گروه تحقیقاتی ما نیز به منظور بررسی قابلیت سیگنالهای نبض در تخمین وضعیتهای فیزیولوژیکی افراد دو تحقیق جداگانه انجام داده است. در (۴۹ و ۵۰) نشان داده شد که بر مبنای آنها ضرائب aij تعیین می گردد (۵۲). نکته مهم این است که هر چه تعداد حسگرها بیشتر باشد، احتمال تفکیک منابع بیشتر خواهد بود. بنابراین با افزایش تعداد حسگرها احتمال جدا سازی اثر این منابع از همدیگر بیشتر خواهد شد و بررسی عملکرد این منابع امکان پذیر می گردد.

بنابراین اگر چند حسگر (حس نبض در زیر چند انگشت روی میچ) داشته باشیم می توان تعدادی سیگنال (به تعداد حسگرها) دریافت کرد و فرض کرد که سیگنال های دریافت شده در میچ دست ناشی از تاثیرگذاری ارگانهای داخلی بدن شامل قلب، کبد، کلیه، ریه و... است.

### نتیجه گیری:

با توجه به مقاله ها و تحقیقات مشابه، می توان گفت که زمینه نبض گیری و دسته بندی نبض بر اساس مشخصات طب سنتی جای کار فراوان دارد. روش های به کار رفته در مقالات، به دلیل تازگی این مبحث، محدود هستند و تا به کارگیری روش ها در تشخیص های کلینیکی و به عنوان پیش تشخیص و کمک پزشک، جای کار فراوانی وجود دارد. شرط لازم برای ورود به این عرصه وجود دستگاهی مناسب برای ثبت و سنجش خودکار سیگنال نبض و استخراج شاخص های مرتبط با طب سنتی از آن است.

نیاز اصلی این است که طب های مکمل همچون طب ایرانی، نتایج قابل تکراری را ایجاد نمایند تا نتیجه گیریهای تشخیصی و درمانی حاصل تنها وابسته به کشف و شهود و مهارت پزشک نباشد. یکی از روشهایی که در طب سنتی شرقی

## References:

- ۱ . ناصری محسن، رضایی زاده حسین، طاهری پناه طیبه، ناصری واحد. نظریه‌ی مزاج در طب سنتی ایران و تنوع پاسخدهی درمانی بر اساس فارماکوژنتیک. مجله طب سنتی ایران و اسلام: ۱۳۸۹، سال ۱، شماره ۳، صص: ۲۳۷-۲۴۲
- ۲ . افشاری پور سلیمان، شمس اردکانی محمدرضا، مصدق محمود، قنادی علیرضا، محقق زاده عبدالعلی، امامی احمد، و همکاران. مزاج معتدل و غیر معتدل و مزاج‌های دیگر انسان و دارو. مجله طب سنتی ایران و اسلام: ۱۳۹۰، سال ۲، شماره ۳، صص: ۱۸۳-۱۹۴
- ۳ . منجمی علیرضا، مظاهری محمد، باوری مریم، الصاق مهین، حاجی حیدری محمدرضا، بابائیان محمود. استدلال بالینی و حل مسأله در طب سنتی ایرانی. مجله طب سنتی ایران و اسلام: ۱۳۹۰، سال ۲، شماره ۴، صص: ۲۹۷-۳۰۲
- ۴ . ناصری، محسن. مروری بر کلیات طب سنتی ایران، فصل دوم: نبض شناسی. انتشارات دانشگاه شاهد، ۱۳۸۲.
- ۵ . شمس اردکانی محمد رضا، ذوالفقاری بهزاد، روزبهانی مهدی، ترکی مهدی، روزبهانی اکبر. مروری بر تاریخ و مبانی طب سنتی اسلام و ایران. راه کمال، تهران: ۱۳۸۵.
- ۶ . نفیسی، ابوتراب. مختصر تاریخ علوم پزشکی تا ابتدای قرن معاصر - ضمیمه: مقام لمس نبض در طب قدیم ایران. انتشارات دانشگاه اصفهان، صص ۱۱۸ تا ۱۲۵ و صص ۲۳۳-۲۵۴، ۱۳۵۵.
- ۷ . اعظم خان، محمد. نیراعظم، در شناخت نبض و انواع آن. انتشارات طلوع اندیشه قم، ۱۳۸۲.
- ۸ . فخری، آمنه. نباضی فصل مشترک پزشکی شرق و غرب. فصلنامه درمانگر: سال سوم، شماره ۹، بهار ۱۳۸۵.
- ۹ . آویژگان مجید، بهرامی طاقانکی حمید رضا، آیتی محمدحسین. ترسیم افقی برای انتشار جهانی مکتب پزشکی ایرانی. مجله طب سنتی ایران و اسلام: ۱۳۹۱، سال ۳، شماره ۱، صص: ۹۵-۱۰۴.
- ۱۰ . محمدی کناری حوریه، سلطانی عربشاهی کامران، بیگدلی شعله، شمس اردکانی محمد رضا. تبیین مفهوم استناد به شواهد در طب سنتی ایران از دیدگاه صاحب نظران این رشته. مجله طب سنتی ایران و اسلام: ۱۳۹۰، سال ۲، شماره ۳، صص: ۲۰۳-۲۱۴.
11. IEC Standard, Medical electrical equipment – Part One: General requirements for basic safety and essential performances. IEC60601-1, 2009.
12. American National Standard, Human factors engineering guidelines and preferred practices for the design of medical devices. AAMI HE48, 1993.
13. American National Standard, Manual, electronic or automated sphyngmomanometers. AAMI SP10, 1996.
14. Shu J, Sun Y. Developing classification indices for Chinese pulse diagnosis. Elsevier journal of complementary therapies in medicine, 2007, Vol 15, No. 3, pp: 190-198.
15. Xia C, Liu R, Li Y, Yan J, Wang Y, Li F. Wrist Pulse Feature Variability Analysis via Spectral Decomposition. 2009, 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, pp: 1-4.
16. Park S, Lee S. Self-Diagnosis Device Using Wrist. The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE, pp: 139-142.
17. Shen B, Guangming Lu. Wrist Pulse Diagnosis Using LDA, ICMB 2010, LNCS 6165, Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010, pp:325-333.
18. Huotari M, Yliaska N, Lantto V, Määttä K, Kostamovaara J. Aortic and arterial stiffness determination by photoplethysmographic technique. Procedia Chemistry, 2009, Vol. 1, pp:1243-1246.
19. Hu CS, Chung YF, Yeh CC, Lu HH, Temporal and Spatial Properties of Arterial Pulsation Measurement Using Pressure Sensor Array. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, Volume 2012, Article ID 745127, 9 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2012/745127>.

20. Leboss'e C, Bayle B, de Mathelin M, Renaud P, Nonlinear modelling of low cost force sensors. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008, pp: 3437-3442.

21. Ferguson-Pell M, Hagsisawa S, Bain D. Evaluation of a sensor for low interface pressure applications. Elsevier journal of Medical Engineering & Physics, 2000, Vol. 22, No. 9, pp: 657-663.

۲۲. سخاوی سیاوش، نفیسی وحیدرضا. طراحی و ساخت دستگاهی برای اندازه‌گیری نبض به روش طب سنتی ایرانی. پایان‌نامه دوره کارشناسی دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۹.

۲۳. نفیسی وحیدرضا. گزارش طرح پژوهشی طراحی و ساخت دستگاه نبض نگار برای استفاده در طب سنتی. سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، ۱۳۹۲.

۲۴. نفیسی وحیدرضا. گزارش طرح پژوهشی توسعه دستگاه و روش‌های جدید تحلیل سیگنال‌های حاصل از نبض نگاری طب سنتی ایرانی. صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران، ۱۳۹۴.

۲۵. شهابی مینا. طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری غیرتهاجم خون با استفاده از سیگنال فتوپلتیسموگرافی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، ۱۳۹۴.

۲۶. مهرآبادی سینا، نفیسی وحیدرضا. حذف آرتیفکت حرکتی از سیگنال فتوپلتیسموگرافی با استفاده از تبدیل ویولت پیوسته. یازدهمین کنفرانس فیزیک پزشکی ایران، ۱۳۹۳.

27. Yousefipoor F, Nafisi VR. A novel method for pulsometry based on traditional Iranian medicine. J Med Sign Sense, 2015, Vol. 5; pp: 230-7.

28. Available in URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moens%E2%80%93Korteweg\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Moens%E2%80%93Korteweg_equation)

29. Singh, M., & Nagpal, S. (2013). Features Extraction in Second Derivative of Finger PPG Signal: A Review, International Journal of Computer Science and Communication (IJCS), 4(2).

30. Padilla, J. M., E. J. Berjano, J. Saiz, L. Facila, P. Diaz, and S. Merce. "Assessment of relationships between blood pressure, pulse wave velocity and digital volume pulse." In Computers in Cardiology, 2006, pp. 893896. IEEE, 2006.

31. Lee, Q.Y., Chan, G. S., Redmond, S.J., Middleton, P.M., Steel, E., Malouf, P., et al. (2010) Classification of Low Systemic Vascular Resistance Using Photoplethysmogram and Routine Cardiovascular Measurements, In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Annual International Conference of the IEEE, 1930-1933.

32. Francis, S.E.. Continuous Estimation of Cardiac Output and Arterial Resistance from Arterial Blood Pressure using Third-Order Windkessel Model. M.Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology (MIT),

Zamir, M. The physics of coronary blood flow. Springer, 2005, pp. 35-79. . ۳۳

۳۴. ورزا مهکامه. طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری فشار خون. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۲.

35. Canic S, Tambaca J, Guidobani G, Mikelic A, Harley CJ, Rosenstrauch D. Modelling Viscoelastic Behavior of Arterial Walls and Their Interaction with Pulsatile Blood Flow, SIAM J. APPL. MATH, 2006, Vol. 67, No.1, pp:164-193.

36. Wang YYL, Sze WK, Bau JG, Wang SH, Jan MY, Hsu TL, Wang WK. The ventricular-arterial coupling system can be analyzed by the eigenwave modes of the whole arterial system. Appl Phys Lett, 2008, Vol 92; <http://dx.doi.org/10.1063/1.2911746>.

37. Wang YYL, Chiu WB, Jan MY, Bau JG, Li SP, Wang WK, Analysis of transverse wave as a propagation mode for the pressure pulse in large arteries. J Appl Phys, 2007, Vol. 102; <http://dx.doi.org/10.1063/1.2783979>.

38. Im JJ, Lessard CS. a study for the development of a non-invasive continuous blood pressure measuring system by analyzing radial artery pulse from a wrist, Engineering in Medicine and Biology Society, 1995, IEEE 17th Annual Conference.

39. Xu L, Meng M, Wang K, Lu W, Li N. Pulse images recognition using fuzzy neural network. *Expert Systems with Applications*, 2009, Vol 36, No. 2, pp: 3805-3811.
40. Chen Y, Zhang L, Zhang D, Zhang D. Wrist pulse signal diagnosis using modified Gaussian models and Fuzzy C-Means classification. *Med Eng Phys*, 2009, Vol 31, No. 10, pp: 1283-1289.
41. Shen B, Guangming Lu. *Wrist Pulse Diagnosis Using LDA*, ICMB 2010, LNCS 6165, Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010, pp:325–333.
42. Upadhyay S, Vijnana N. *Ancient pulse science*, Delhi, Chaukhambha Sanskrit Pratishthan, 1986.
43. Yang W, Zhan L, Zhang D. Wrist-pulse Signal Diagnosis using ICPulse, 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2009, pp: 1-4.
44. Madhavi V, Raghu Ram M, Hari Krishna E, Nagarjuna Reddy K, Ashoka Redd K. Estimation of respiratory rate from principal components of photoplethysmographic signals. *IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering & Sciences*, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.
45. Abe.M, Yoshizawa M, Sugita N, Tanaka A, Chiba S, Yambe T, Nitta S. Estimation of Blood Pressure Variability Using Independent Component Analysis of Photoplethysmographic Signal. 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS Minneapolis, 2009, Minnesota, USA.
46. Huotari M, Vehkaoja A, Määttä K, Kostamovaara J. Photoplethysmography and its detailed pulse waveform analysis for arterial stiffness. *Journal of Structural Mechanics*, 2011, Vol. 44, No 4, pp: 345-362.
47. Asif M. Measurement of blood Pressure Using Plethysmography. 13th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2011, pp: 32-35.
48. Pham T, Cong-Thang T, Oyama-Higa M, Sugiyama M. Mental-disorder detection using chaos and nonlinear dynamical analysis of photoplethysmographic signals. *Chaos Solitons & Fractals*, 2013, Vol 51, pp: 64–74.
49. Shahabi M., Nafisi VR, Pak F. Prediction of Intradialytic Hypotension Using PPG Signal Features. 22nd Iranian Conference on Biomedical Engineering (ICBME), 2015.
50. Nafisi VR, Eghbal M. The biofeedback systems for dialysis patients. research project report, Iranian Research Organization for Science and Technology, 2005.
51. Thakker B, Farooq O, Mulvaney D, Datta S. Wrist Pulse Signal Classification for Health Diagnosis. 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2011, pp: 1799-1805.
52. A.Hyvtirinen and J.Karhunen. *Independent Component Analysis*. Wiley, 2001.