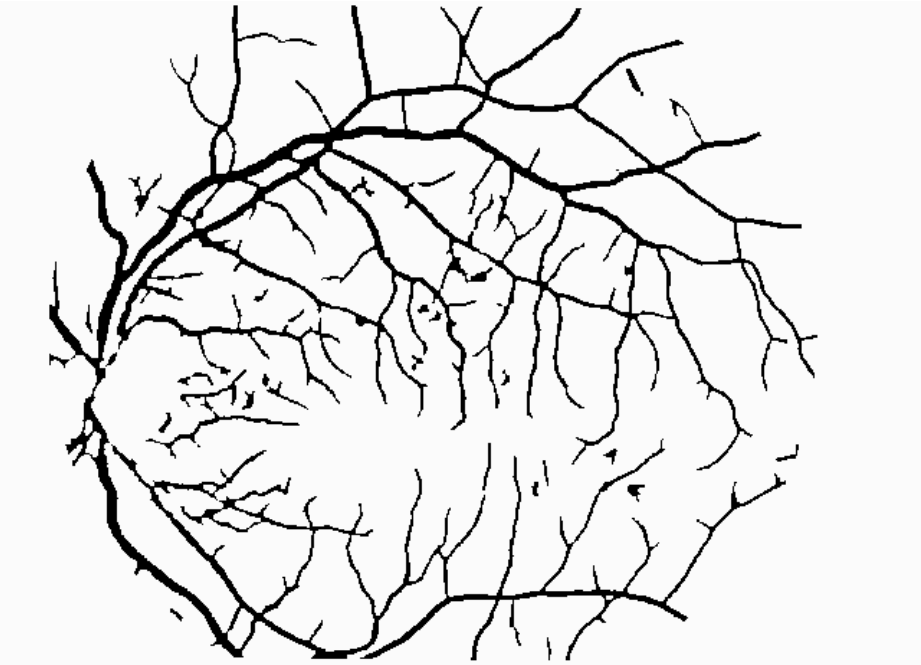
پایان نامه کارشناسی ارشد الکترونیک

آشکار سازی رگ های شبکیه با استفاده از تبدیل رادون



استاد راهنما : دکتر غزاله سربیشه ای

اساتید دفاع : دکتر ایمان احدی اخلاقی

دکتر وحید اسدپور

مهدی اکبری ۸۵۷۱۱۰۰۲

تابستان ۱۳۸۸

فهرست

چکیده ۴
مقدمه ۵
فصل اول آشنایی با شبکیه ، ساختار و بیماریهای آن ۷
۱,۱ شبکیه چیست ۹
۱,۲ ساختار شبکیه ۹
۱,۳ بیماریهای شبکیه ۱۰
۱,۳,۱ بیماری قند ۱۰
۱,۳,۲ عوارض بیماری قند ۱۱
۱,۴ چگونه رتینوپاتی دیابتی به شبکیه آسیب می رساند ۱۳
فصل دوم مروری بر برخی از روش های موجود آشکار سازی رگ های شبکیه ۱۶
۲,۱ روش های قطعه قطعه سازی ۱۸
۲,۱,۱ روش مبتنی بر خم یابی ۱۸
۲,۱,۲ روش مبتنی بر اپراتور خطی و کلاسه بندی برداری ۲۱
۲,۱,۳ روش مبتنی بر شبکه عصبی سلولی ۲۳
۲,۱,۴ روش مبتنی بر آشکار سازی شیارها ۲۵
۲,۲ روش استفاده از تبدیل رادون ۲۷
۲,۳ روش استفاده از فیلترها ی انطباقی و آستانه سازی محلی وفقی ۲۹
۲,۳,۱ استفاده از فیلترهای انطباقی ۲۹
۲,۳,۲ روش استفاده از آستانه سازی محلی وفقی ۳۲
۲,۴ دو روش ابداعی دیگر ۳۵
۲,۴,۱ روش آشکار سازی در مجاورت دیسک نورانی ۳۵
۲,۴,۲ روش آنالیز توسط مدل چند دقتی هرمیت ۳۶
فصل سوم تبدیل رادون ۳۸
۳,۱ تعریف تبدیل رادون ۴۰
۳,۲ تخمین پارامترهای خط در تبدیل رادون ۴۰
۳,۳ پیک بایاس شده رادون در یک جهت ۴۱
۳,۴ پیک بایاس شده رادون در دو جهت ۴۲
۳,۵ مشکل مرزی θ ۴۳
۳,۶ تخمین قطر خط در تبدیل رادون ۴۴
فصل چهارم الگوریتم و برنامه پروژه ۴۶
۴,۱ الگوریتم مرحله پیش پردازش ۴۸
۴,۲ الگوریتم مرحله آشکار سازی ۴۹
۴,۳ الگوریتم مرحله پردازش نهایی ۵۰
۴,۴ مراحل مختلف اجرای گام به گام برنامه روی تصویر یک فرد سالم ۵۱
۴,۴,۱ اجرای مرحله پیش پردازش ۵۱
۴,۴,۲ اجرای مرحله آشکار سازی رگ ها ۵۷

۴,۴,۳ اجرای مرحله پردازش نهایی ۵۸
۴,۵ اجرای برنامه روی تصاویر افراد ناسالم ۶۱
۴,۶ اجرای برنامه روی تصاویر DRIVE ۶۴
۴,۶,۱ اجرای برنامه روی تصویر اول ۶۴
۴,۶,۲ اجرای برنامه روی تصویر دوم ۶۶
۴,۷ اجرای برنامه روی همه تصاویر DRIVE و نتایج آن ۶۸
۴,۸ نمودار TPR بر حسب FPR نتایج قسمت قبل ۶۹
۴,۹ توضیح نکات کلی در مورد برنامه و الگوریتم ۷۰
فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهاد ۷۱
۵,۱ نتیجه گیری و پیشنهاد ۷۲
فصل ششم مراجع ۷۵

ضمیمه ۱ متن برنامه های نوشته شده درMatlab ۷۸
ضمیمه ۲ نمونه هایی از تصاویر بدست آمده ۸۴

چکیده

در دنیای امروز نقش مهندسی در پزشکی روز به روز افزایش پیدا کرده و تشخیص بیماریها توسط توسعه دادن تکنولوژی تصویر برداری و پردازش این تصاویر ، سریعتر ، آسانتر و دقیق تر شده است . از جمله می توان به تشخیص برخی بیماریها مانند دیابت از روی تصویر رگ های شبکیه اشاره کرد . سالهای زیادی است که با استفاده از روش های مختلفی از قبیل سیستم های هوشمند ، سیستم های آشکار سازی خط ، سیستم های مبتنی بر فیلترهای وفقی وبسیاری دیگر ، آشکار سازی رگ های شبکیه از تصاویر رنگی دیجیتال انجام میشود . این پروژه سعی دارد تا با استفاده از تابع تبدیل رادون روشی را برای آشکار سازی رگ ها ارائه دهد . پس از بررسی مرحله های مختلف الگوریتم و اجرای برنامه روی تصاویر دیجیتال و بخصوص تصاویر پایگاه داده DRIVE منحنی ROC بدست می آید که به وسیله آن می توان کار آیی الگوریتم پیشنهادی را با سایر روش های موجود مقایسه کرد . از مشخصه های قابل توجه این برنامه سادگی آن و دقت مناسب آن در تشخیص می باشد.

مقدمه

تصاویر دیجیتال از ارگان های بدن در چشم پزشکی نقش مهمی را در تشخیص پزشکی بسیاری از بیماریها نظیر فشارخون[۱]، دیابت[۲] و بیماریهای قلبی- عروقی [۳] دارند. آنالیز تصاویر چشم توسط کامپیوتر در بسیاری موارد بسیار سودمند است بطور مثال در تشخیص دیابت شبکیه که منجر به کوری در بسیاری از کشورهای غربی شده است اینکار نیاز به تعداد زیادی افراد متخصص همراه با وسایل و امکانات مجهز دارد که شاید هزینه آن بسیار زیاد باشد. یکی از راههای بسیار پراهمیت ، بدست آوردن اطلاعات گوناگون از داخل یک تصویر است مثلاً تعدادی از مشخصه های ریخت شناسی چشم مانند مشخصات رگ های شبکیه (قطر، ضخامت، زاویه گستردگی و پیچش) بیمار برای کنترل پیشرفت بیماریهای مختلفی تأثیر دارند. همین طور به دلیل اینکه رگ های خونی دارای مشخصات ثابتی هستند می توانند برای تشخیص هویت بیماران نیز بکار رود در برخی موارد باید رگ ها از تصویر حذف شوند تا تشخیص عارضه هایی مثل چربی های ناخواسته[۴] و یا لکه های ریز [۵] آسان تر شود.

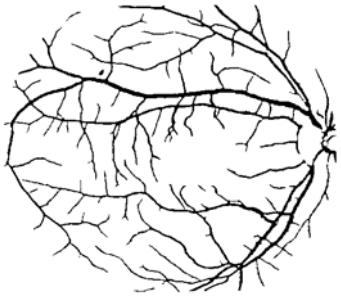
همچنین ماهیت درخت وار رگ ها و شکل هندسی قرارگیری آنها می تواند در پیدا کردن دقیق تر موقعیت مرکز بینایی [۶] و یا دیسک نورانی[۷] بکار رود.

آشکارسازی دقیق رگ ها به دلایل زیادی کار دشواری است به طور مثال می توان به حضور نویز، کنتراست پائین بین درخت رگ ها و زمینه ، قطرهای مختلف رگ ها ، شدت روشنایی های مختلف در عکسبرداری و شکل فیزیکی آنها اشاره کرد. علاوه بر اینها به دلیل وجود زخم ها[۸] و سایر تأثیرات آسیب شناسی، تصویر شبکیه چشم دارای نواحی بزرگ غیر طبیعی خواهد بود. در ادامه در فصل اول ، ابتدا اندکی با شبکیه ، ساختار آن و بیماریهای مختلفی که موجب بروز مشکلاتی در رگ های شبکیه

[1] hypertension
[2] diabetes
[3] cardiovascular
[4] exudates
[5] micro aneurysms
[6] fovea
[7] optic disk
[8] lesions

می شود آشنا می شویم . سپس در فصل دوم به سراغ کارهای انجام شده در این زمینه می رویم که هر کدام بطور مستقل تشریح شده و نتایج اجرای الگوریتم ها به همراه نقاط قوت یا ضعف آنها ارائه شده است . در فصل سوم با تبدیل رادون و کاربردهای ان آشنا می شویم . در فصل چهارم الگوریتم ارائه شده در این پروژه معرفی می شود . مراحل مختلف آن همراه با تصاویر مربوطه شرح داده می شود . در ادامه فصل نتیجه اجرای الگوریتم بر روی تصاویر افراد سالم ، بیمار و تصاویر DRIVE بررسی شده و نتایج هر کدام بطور جداگانه بررسی می شود . در فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهاد برای بهبود پروژه را خواهیم داشت و در فصل ششم مراجع معرفی می گردند .

فصل اول

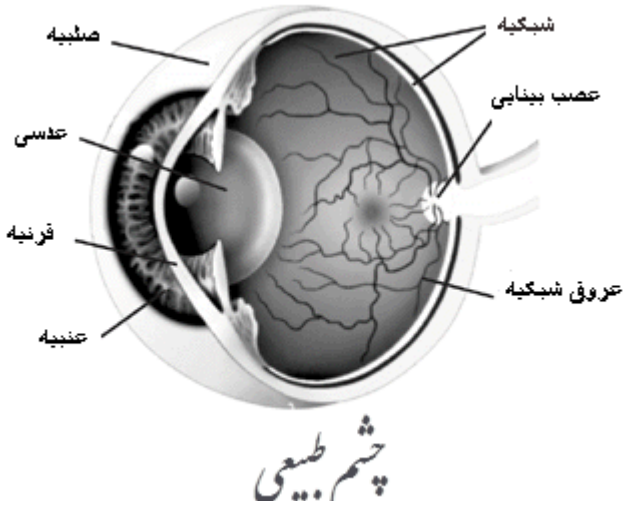


آشنایی با شبکیه ، ساختار و بیماریهای آن

همان طور که در مقدمه گفته شد یکی از تصاویری که در پزشکی برای تشخیص بیماری بکار می رود تصویر شبکیه چشم است . بنابراین در این فصل ابتدا با شبکیه چشم و ساختمان آن آشنا می شویم سپس بیماریهای مختلف آن بخصوص بیماری قند و اثرات آن را روی شبکیه بررسی می کنیم .

۱,۱ شبکیه چیست

در ابتدا اندکی با شبکیه چشم آشنا می شویم .[16]



شکل ۱ : تصویر چشم طبیعی

داخلی‌ترین لایهٔ چشم است و شامل سلول‌های گیرندهٔ نور و نورون‌ها می‌باشد. این لایهٔ بسیار نازک (قطری حدود ۰,۵ میلی‌متر) ۷۵٪ مساحت کرهٔ چشم را می‌پوشاند. شبکیه لایهٔ حساس به نور را تشکیل می‌دهد و با تبدیل جریان الکترومغناطیسی نور به پیام عصبی و انتقال آن از طریق عصب بینایی به لب پس‌سری به مغز توانایی دیدن را می‌دهد. سلول‌های گیرندهٔ نور شبکیه ۲ نوع می‌باشند:

- سلول‌های مخروطی که توانایی دیدن رنگ‌ها را در نور به مغز می‌دهند.
- سلول‌های استوانه‌ای که بینایی در تاریکی را امکان‌پذیر می‌سازند.

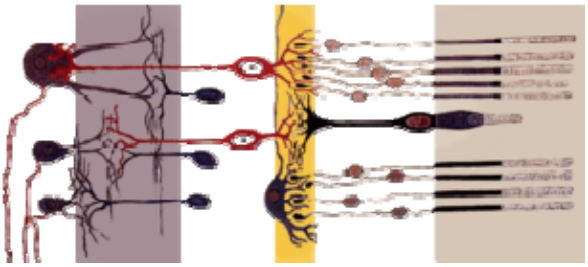
جایی را که عصب بینایی از شبکیه خارج می‌شود نقطه کور می‌گویند. لکه زرد بخش دیگری از شبکیه است که در امتداد محور نوری کرهٔ چشم قرار دارد و در دقت و تیزبینی چشم نقش دارد.

۱,۲ساختار شبکیه

بافت شبکیه شامل نورون‌ها و تعداد فراوانی مویرگ خونی است. در شبکیه ۵ لایه نورون تمایزیافته دیده می‌شود. این لایه‌ها از داخل به خارج (به سمت مشیمیه) (در تصویر، از چپ به راست)، به ترتیب عبارت اند از:

- سلول‌های عقده‌ای یا گانگلیونی که آکسون‌های آن‌ها امتداد یافته و عصب بینایی را تشکیل می‌دهند.

- سلول‌های آماکرین که نورون‌های رابط میان سلول‌های دوقطبی و سلول‌های عقده‌ای هستند.
- سلول‌های دوقطبی.
- سلول‌های افقی که نورون‌های رابط میان سلول‌های گیرندهٔ نور و سلول‌های دوقطبی هستند.
- سلول‌های گیرندهٔ نور که شامل سلول‌های مخروطی و سلول‌های استوانه‌ای هستند.



شکل ۲ : پنج لایهٔ تشکیل دهندهٔ شبکیه

نور پس از عبور از عدسی و زجاجیه، از طریق سلول‌های عقده‌ای به شبکیه وارد شده و بعد از پشت سر گذاشتن سایر لایه‌های شبکیه، سرانجام به سلول‌های گیرندهٔ نور می‌رسد. این سلول‌ها جریان نور را به پیام عصبی تبدیل کرده و آن را از طریق سلول‌های افقی به سلول‌های دوقطبی منتقل می‌کنند. به این ترتیب، پیام عصبی از سلول‌های عقده‌ای به عصب بینایی منتقل شده و به مغز می‌رود.

۱,۳بیماریهای شبکیه

۱,۳,۱بیماری قند (دیابت)

یکی از بیماریهای نسبتا شایع و جدی است که بعلت بالا بودن میزان قند خون در طولانی مدت سبب تغییراتی در عروق خونی تمام اعضای بدن می شود که این تغییرات باعث عوارض کوچک و بزرگ در ارگانهای حیاتی مانند مغز، قلب، کلیه، چشم و دیگر اعضای بدن می گردد که نهایتا ممکن است به مشکلاتی همچون سکته مغزی، سکته و نارسایی قلبی، نارسایی کلیوی، و نابینایی منجر گردد.

گرفتاری چشمی بیماری قند یکی از علل عمده نابینایی و یا کم بینایی، هم در کشورهای پیشرفته و هم در کشورهای غیر پیشرفته می باشد. متاسفانه شیوع عوارض چشمی بیماران دیابتی روز به روز بیشتر می شود، چرا که با پیشرفتهای جدید و کنترل بهتر بیماری قند بر طول عمر بیماران افزوده شده و در نتیجه عوارض چشمی بیماری دیابت نیز بیشتر دیده میشود. سالها قبل و پیش از ابداع روشهای جدید درمانی مانند لیزر، بسیاری از بیماران دیابتی متاسفانه به علت عوارض چشمی این بیماری نابینا شده و در سنین میانسالگی خانه نشین می شدند. اما امروزه می توان با تشخیص به موقع و درمان مناسب، بخوبی از این عارضه جلوگیری نمود.

۱,۳,۲ عوارض بیماری قند

عوارض چشمی بیماری قند می تواند شامل موارد زیر باشد:

- آسیب به عروق خونی شبکیه که اصطلاحا رتینوپاتی دیابتی خوانده می شود و سبب ورم مرکز بینایی چشم (ماکولا،) خونریزی های متعدد در شبکیه و زجاجیه چشم می گرددکه اگر به موقع درمان نگردد، منجر به کم بینایی یا نابینایی دائمی می گردد.

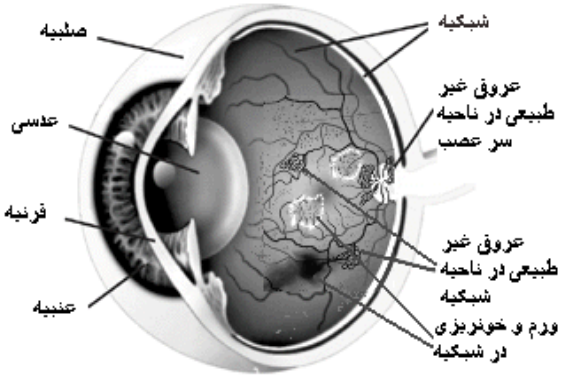
- آب مروارید (کاتارکت) زودرس که خوشبختانه این عارضه بخوبی با عمل جراحی اب مروارید قابل درمان است.

- آب سیاه (گلوکوم) که بعلت افزایش فشار داخل چشم ایجاد می شود و اگر به موقع درمان نگردد سبب آسیب دائمی به عصب چشم و کم بینایی و یا نابینایی می گردد.

شروع رتینوپاتی دیابتی معمولا بدون علامت است، اما بتدریج پیشرفت کرده و سبب افت بینایی می گردد. اگر این عارضه به موقع تشخیص داده شود و به موقع درمان گردد بیش از ۹۰ درصد از بیماران می توانند از خطر نابینایی نجات یابند. اما یادمان باشد علی رغم پیشرفتهایی که در تشخیص و درمان این عارضه صورت گرفته است، اما غالبا بعلت بی توجهی بیماران و عدم مراجعه به موقع، رتینوپاتی دیابتی هنوز یکی از دلایل نابینایی در بزرگسالان می باشد. بنابراین لازم است کلیه بیماران دیابتی حداقل سالی یک بار تحت معاینه کامل چشم که با استفاده از قطره های گشاد کننده مردمک صورت می گیرد، قرار گیرند.

گرفتاری شبکیه ای بیماری قند به دو مرحله تقسیم بندی می شود:

- مرحله نخست که بنام رتینوپاتی دیابتی زمینه ای نامیده می شود که در این حالت بیماری محدود به شبکیه است و خونریزی های کوچک و تورم و رسوب چربی در شبکیه دیده می شود. در این مرحله اگر ناحیه مرکز بینایی (ماکولا) گرفتار نباشد، این وضعیت بدون علامت است و بیمار ممکن است هیچگونه علائم بینایی نداشته باشد و غالبا نیاز به درمان هم ندارد. اما نکته مهم در این مرحله این است که بیمار باید با فواصل نزدیکتر (هر چهار ماه) مورد معاینه چشم قرار گیرد و یا با دیدن اولین علائم بیماری بلافاصله به پزشک مراجعه نماید.

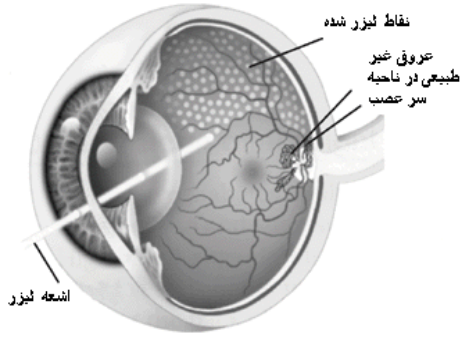


رتینوپاتی دیابتیک

شکل ۳

مرحله دوم که بنام رتینوپاتی دیابتی پیشرونده نامیده می شود که در این حالت عروق خونی جدید و غیر طبیعی در شبکیه، سر عصب، و همچنین در زجاجیه ایجاد می شود که بعلت شکننده بودن این عروق، شانس خونریزی داخل شبکیه و زجاجیه بسیار بالاست و اگر در این حالت درمان صورت نگیرد در عرض مدت کوتاهی منجر به عوارض ثانویه دیگر یعنی خونریزی داخل چشم، پارگی شبکیه، و آب سیاه می گردد که نهایتا سبب از بین رفتن کامل بینایی خواهد شد. بنابراین مهم است که بیمار در شروع این مرحله تحت درمان با لیزر قرار گیرد تا این عروق جدید قبل از اینکه سبب عوارض بعدی گردند، از بین بروند. باید توجه داشت که در مرحله رتینوپاتی پیشرونده، تعداد دفعاتی که بیمار ممکن است به لیزر احتیاج داشته باشد، معمولا بیش از یک بار است و عمده این بیماران برای کنترل بیماری حدود چهار جلسه لیزرتراپی نیاز دارند. گاهی لیزر به تنهایی ممکن است کافی نباشد و یا بعلت خونریزی زجاجیه، امکان انجام لیزر درمانی وجود نداشته باشد که در اینصورت بیمار به عمل جراحی ویترکتومی نیاز پیدا می کند. این عمل بعلت طولانی بودن زمان عمل، معمولا تحت بیهوشی عمومی انجام می گیرد. البته انجام آن با بی حسی موضعی نیز امکان پذیر می باشد.

شکل ۴



لیزر درمانی

۱,۴ چگونه رتینوپاتی دیابتی به شبکیه آسیب می رساند

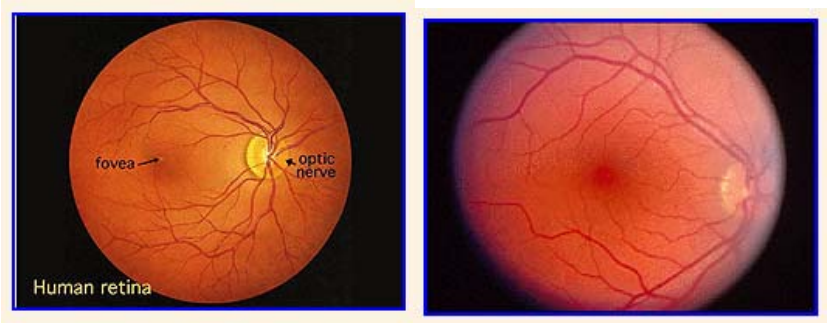
هنگامی که دیابت (بیماری قند) به عروق خونی کوچک در شبکیه آسیب می رساند رتینوپاتی دیابتی شروع می شود در این زمان معمولا مبتلایان هیچ تغییری در بینایی خود احساس نمی کنند. در رتینوپاتی دیابتی ۳ حالت ممکن است رخ دهد :

- رتینوپاتی دیابتی زمینه ای :تغییرات عروق خونی ، در این مرحله محدود به شبکیه است و به صورت گشاد شدن غیر طبیعی ورید ها ، خون ریزی های کوچک در داخل شبکیه، تورم و رسوب چربی و انسداد عروق خونی کوچک در شبکیه می باشد .این حالت را رتینوپاتی دیابتی زمینه ای می نامند .

- رتینوپاتی دیابتی پیشرونده :با پیشرفت بیماری، عروق خونی جدید غیر طبیعی و شکننده در سرتاسر شبکیه و هم چنین زجاجیه (مایع شفاف و ژل مانندی که داخل چشم را پر می نماید) گسترش می یابند. به این حالت رتینوپاتی دیابتی پیشرونده می گویند . در صورت عدم درمان مناسب ، این عروق غیر طبیعی خونریزی نموده و باعث تاری دید و تخریب شبکیه می شوند .

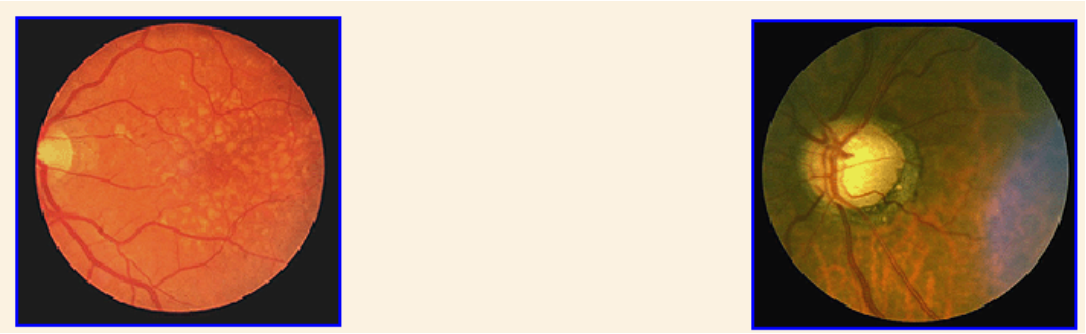
- تورم لکه زرد : این حالت هنگامی اتفاق می افتد که نشت مایع و چربی از عروق خونی آسیب دیده در لکه زرد (قسمتی از شبکیه که دیدن جزئیات را امکان پذیر می سازد) رخ دهد . مایع جمع شده باعث تورم لکه زرد و تاری دید می شود این حالت در هر دو مرحله رتینوپاتی ایجاد می شود ولی معمولا در رتینوپاتی دیابتی زمینه ای اتفاق می افتد . گاهی اوقات عروق موئینه ای که لکه زرد را تغذیه می کنند بسته می شوند و این ناحیه دچار کم خونی می شود . با کاهش فعالیت این ناحیه دید بیماران نیز کم می شود به این عارضه ایسکمی ماکولا گویند . [13] ,[14], [15]

شکل ۵ شبکیه های سالم دیده می شوند .در



شکل ۵

اما در این تصاویر۶ و ۷ شبکیه هایی را مشاهده می کنید که در اثر بیماریهای مختلف دارای تغییر رنگ ، لکه های سیاه و سفید ، قطور شدن رگ ها ، جمع شدگی رگها و.... می باشند.



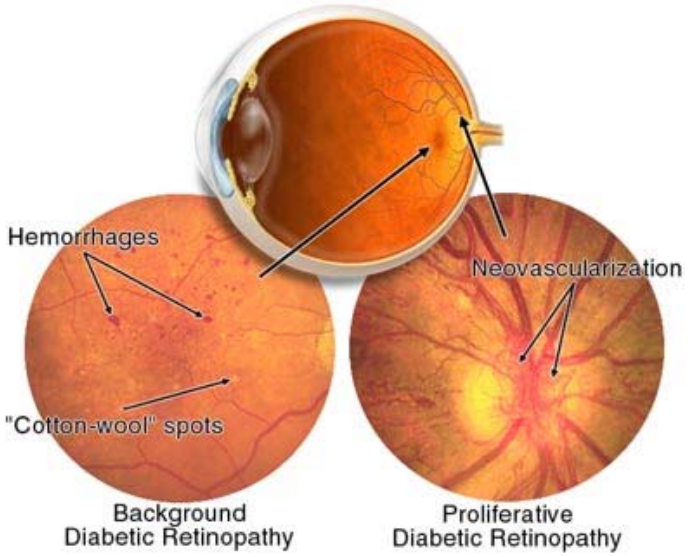
شکل ۶

شکل ۷

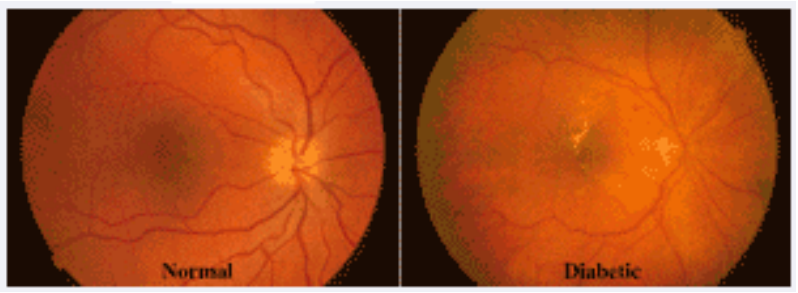
بینایی فردی که شبکیه او در اثر دیابت صدمه دیده است می تواند بصورت زیر در آید. عکس ۸ سمت چپ دید یک فرد سالم و عکس ۸ سمت راست دید یک فرد ناسالم را نشان می دهد. [12]

شکل ۸

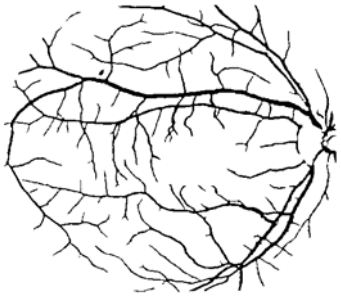
تصاویر ۹ و ۱۰ نیز اثرات مخرب بیماریها را بر شبکیه را نشان می دهند .



شکل ۹ : تاثیرات بیماریهای مختلف بررگ های شبکیه



شکل ۱۰ : تصویر سمت راست تصویر شبکیه یک فرد مبتلا به دیابت و تصویر سمت چپ شبکیه یک انسان



فصل دوم

مروری بر برخی از روش های موجود آشکار سازی رگ های شبکیه

اصولا روش های بسیار زیادی برای تشخیص رگ ها در اعضای بدن مانند مغز ، سیستم شنوایی و سیستم بینایی وجود دارد . بطو مشخص اگر بخواهیم فعالیت های انجام شده بر روی تشخیص رگ های خونی شبکیه چشم را بررسی کنیم با روش هایی از قبیل روش های هوش مصنوعی ، تکنیک های تشخیص الگو با الگوریتم ژنتیک ، تشخیص اشیای لوله ای شکل ، تشخیص خط ، فیلترهای انطباقی و بسیاری دیگر برخورد خواهیم کرد . در این فصل نه روش مختلف بررسی شده و خلاصه ای از الگوریتم آنها به همراه نتایج حاصل ارائه می گردد . این نتایج ما را به مقایسه این روش ها با الگوریتم پیشنهادی این پروژه رهنمون می سازد . این روش ها در ۴ گروه به شرح زیر تقسیم بندی شده اند .

۲,۱ روش های قطعه قطعه سازی [۹]

۲,۲ روش استفاده از تبدیل رادون

۲,۳ روش استفاده از فیلتر های انطباقی و آستانه سازهای محلی وفقی

۲,۴ دو روش ابداعی دیگر

منابع کامل این روش ها در قسمت مراجع ارائه شده است .

[9] Segmentation

۲,۱ روش های قطعه قطعه سازی

۲,۱,۱ روش مبتنی بر خم یابی

در اینجا به روشی تحت عنوان قطعه قطعه سازی رگ های شبکیه توسط خم یابی نظارت نشده می پردازیم . [1]

هنگامی که کانال سبز از یک تصویر شبکیه رنگی بصورت یک سطح در تصویر ۳ بعدی دیده میشود. رگ های خونی شیارهایی را می سازند بنابراین شکل آشکارسازی رگهای خونی بصورت آنالیز تصویر برای پیدا کردن شیارها تبدیل می شود بیشتر تکنیک ها از چنین روشی استفاده می کنند اما می توان از جهت قرارگیری رگ ها صرفنظر کرد. تکنیک های مورد بحث براساس این حقیقت هستند که خطوط میانی شیار ها ، توسط مقدار بالای پیچیدگی در مسیر عمود بر شیارها مشخص می شوند. مکان یابی خطوط میانی شیارها معمولاً به پیدا کردن نقطا پیچش ماگزیمم (MPC) در سطح تصویر بر می گردد . محاسبه MPC نیاز به تخمین واگرایی های اول و دوم در تابع تصویر دارد که از لحاظ محاسباتی بسیار پیچیده و گران قیمت هستند. در این مقاله تکنیکی ارائه شده است که براساس اندازه گیری پیچش های متناوب پیشنهاد شده در مرجع ۱۱ این مقاله است. در مرحله اول بر خورد با همان مشکل کلی است یعنی روشنایی غیر یکنواخت در تصویر شبکیه که بخاطر شکل هندسی رگها و سایر عوامل مخرب تصویر است . مرحله دوم آشکار سازی رگ ها از طریق آشکار سازی شیارها توسط اندازه گیری پیچش هاست . خروجی این مرحله به فرم محورهای میانی نقشه رگ هاست. سپس در مرحله سوم ساختار کلی رگ ها توسط یک تکنیک ساده رشد دادن ناحیه ها انجام می شود. پس سه مرحله این الگوریتم بدین ترتیب هستند:

۱- تصحیح روشنایی [10]

۲ – آشکارسازی شیارها [11]

[10] Illumination correction
[11] Trench detection

۳ – قسمت بندی [۱۲]

برای مقایسه الگوریتم های مختلف می توانیم با برخی اصطلاحات آشنا می شویم:

Roc [۱۳]: که همان منحنی TPR [۱۴] بر حسب FPR [۱۵] است. و ناحیه آن هر چقدر به ۱ نزدیک تر باشد نشان دهنده توانایی بیشتر الگوریتم است .

MAA: دقت ماگزیمم متوسط

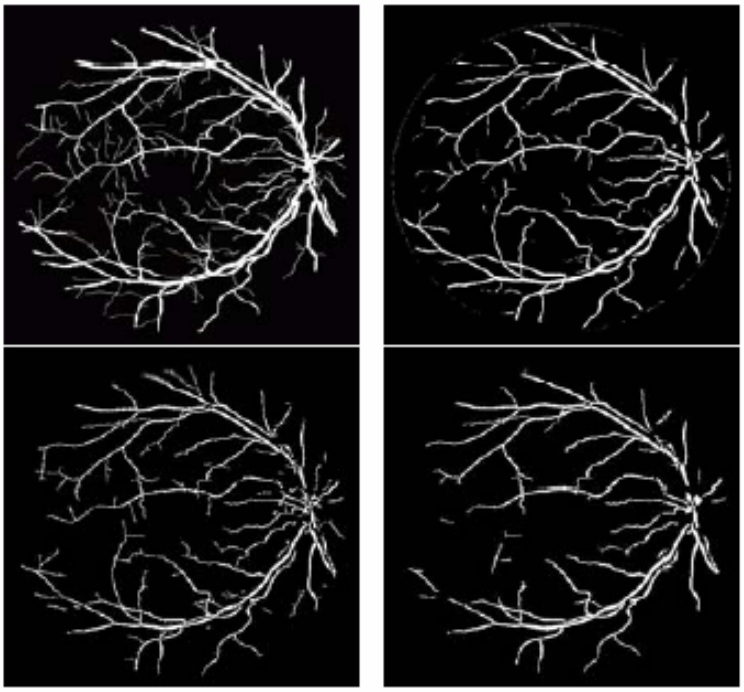
D_c: فاصله Roc از نقطه ایده آل (یک و صفر) در Roc

در واقع MAA نشان دهنده نسبت تعداد کل پیکسل های صحیح دسته بندی شده به تمام پیکسل های ناحیه شبکیه است و D_c در واقع توانایی الگوریتم در ماگزیمم کردن مثبت مقدار صحیح بدون اضافه کردن مقدار غلط در نتایج بدست آمده است که مقدار کمتر نشان دهنده کارآیی بهتر الگوریتم می باشد. این الگوریتم بر روی تصاویر DRIVE پیاده سازی شده و مقادیر آستانه ها برای بدست آوردن بهترین نتیجه انتخاب شده اند.

شکل ۱۱ :

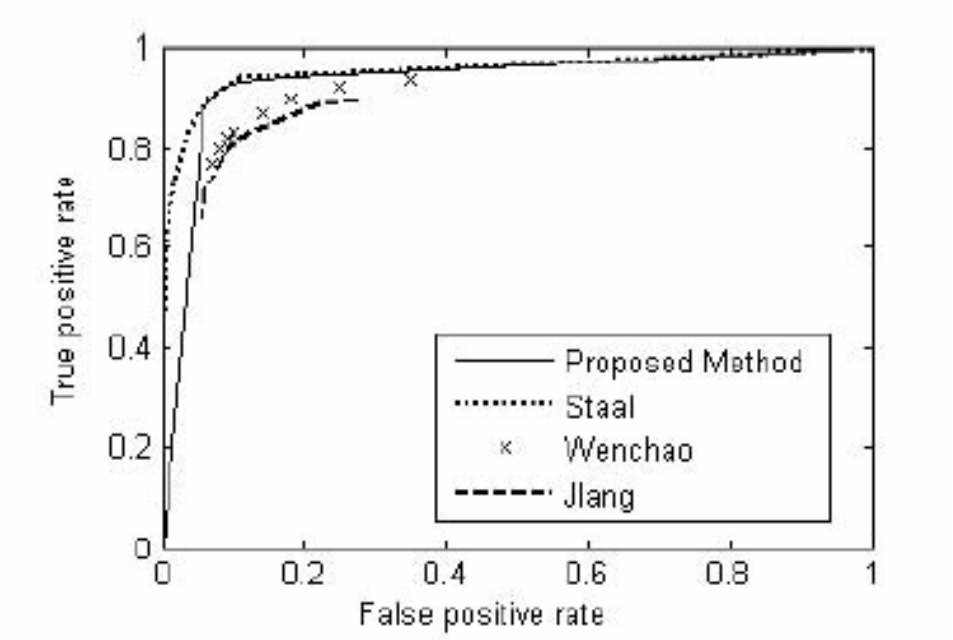
a – تصویر رنگی ورودی b – خطوط میانی آشکار شده c- رگ های بدست آمده

[12] Segmentation
[13] Receiver Operator characteristic
[14] True positive rate
[15] False positive rate



شکل ۱۲ :

در جهت عقربه های ساعت a – تصویر صحیح b –نتیجه Staal c- نتیجه Zana d- نتیجه این الگوریتم



شکل ۱۳:

منحنی ROC برای روش های مختلف