دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی - گروه کامپیوتر
آزمایشگاه بینایی ماشین

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

طراحی سیستم خودکار تشخیص رتینوپاتی دیابتی با قابلیت ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه

نویسنده:

سیده الهه ایمانی

استاد راهنما:

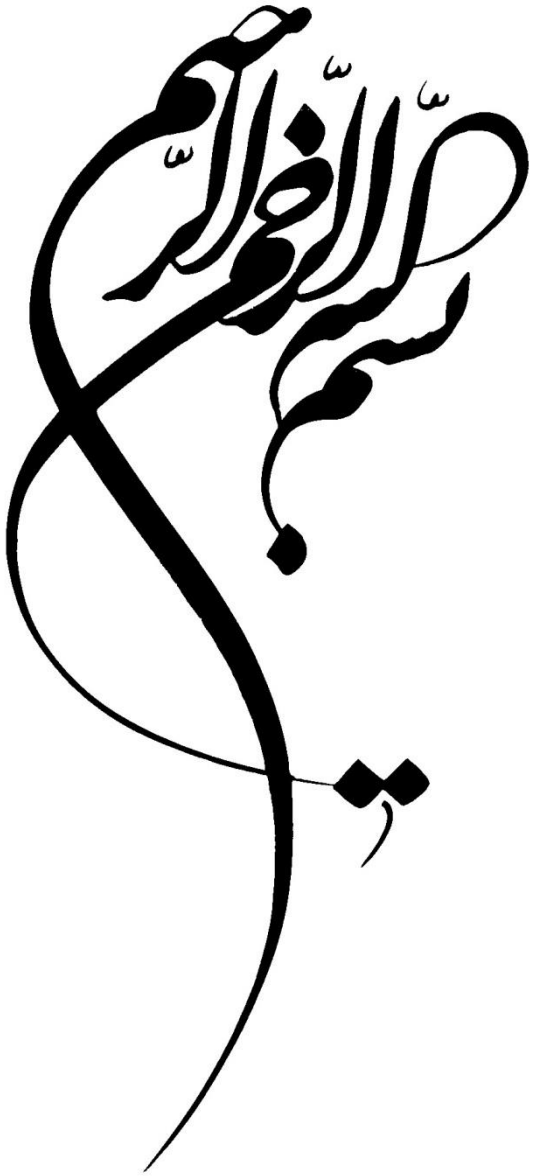
دکتر حمیدرضا پوررضا

استاد مشاور:

دکتر توکا بنایی

زمستان ۹۲

MV Lab
آزمایشگاه بینایی ماشین
گروه مهندسی کامپیوتر
دانشکده مهندسی
دانشگاه فردوسی مشهد
تلفن ۰۶ ۳۳ ۸۷۶ ۰۵۱۱


بسم الله الرحمن الرحیم

تعهدنامه

اینجانب سیده الهه ایمانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر دانشکده مهندسی. دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان‌نامه "ارزیابی کیفی تصاویر شبکیه و غربالگری خودکار عارضه شبکیه دیابتی، مبتنی بر تبدیلات موجک هندسی" تحت راهنمایی دکتر حمیدرضا پوررضا متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود و یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه فردوسی مشهد" و یا "Ferdowsi University of Mashhad" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

رتینوپاتی دیابتی یکی از دلایل شایع نابینایی در جهان محسوب می‌شود. انجام معاینات دوره‌ای و تشخیص بموقع بیماری می‌تواند مانع از بروز نابینایی شود. معاینات دوره‌ای شامل تصویربرداری از ته چشم و تحلیل تصاویر توسط افراد متخصص برای مشاهده تغییرات سریع در الگوی عروق خونی و بروز ضایعات مختلف می‌باشد. این روش معاینه بسیار زمانبر، پرهزینه و نیازمند افراد متخصص می‌باشد. طراحی سیستمی خودکار برای تشخیص رتینوپاتی دیابتی ضروری می‌باشد. با این وجود مشکلاتی از جمله عدم کیفیت مناسب تصاویر شبکیه مانع از خودکار بودن کامل یک سیستم غربالگری می‌شود. زیرا اجزای آناتومی و ضایعات شبکیه در تصاویر با کیفیت نامطلوب به خوبی قابل رویت نمی‌باشد. بنابراین پردازش چنین تصاویری به منظور تشخیص بیماری، شناسایی ضایعات و اجزای آناتومی با مشکل روبرو شده و سبب کاهش کارایی سیستم غربالگری می‌شود. چنین تصاویری معمولا به صورت غیرخودکار تشخیص داده شده و مجددا تهیه می‌شود. هدف ما در این پایان‌نامه، طراحی یک سیستم غربالگری رتینوپاتی دیابتی کاملا خودکار با قابلیت ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه می‌باشد. الگوریتم‌های پیشنهادی ارزیابی کیفی تصاویر شبکیه مبتنی بر ویژگی‌های عمومی و ویژگی‌های ساختاری تصویر می‌باشد. در این روش‌ها از ویژگی‌های عمومی تصویر مانند وضوح و اطلاعات ساختاری مانند میزان رویت‌پذیری عروق خونی برای ارزیابی کیفی تصویر استفاده می‌شود. همچنین روشی برای غربالگری رتینوپاتی دیابتی ارائه شده است که مبتنی بر اطلاعات ساختاری و مورفولوژیکی تصویر می‌باشد. با توجه به اینکه اجزای سالم و ضایعات در تصاویر شبکیه از لحاظ ساختاری و مورفولوژیکی با یکدیگر متفاوت هستند، می‌توان با استفاده از الگوریتم تفکیک محتوای تصویر، عروق و ضایعات تصاویر شبکیه را از یکدیگر تفکیک کرد. سپس با استفاده از ویژگی‌های بافتی تصاویر ضایعات شبکیه، غربالگری رتینوپاتی دیابتی انجام می‌شود. برای ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی از بانک استاندارد MESSIDOR و بانک محلی بیمارستان خاتم‌الانبیا استفاده شده است. مقادیر sensitivity و specificity حاصل از سیستم پیشنهادی به ترتیب برابر با ۹۲,۰۱٪ و ۹۵,۴۵٪ می‌باشد.

کلمات کلیدی: غربالگری رتینوپاتی دیابتی، ارزیابی کیفیت تصویر، تفکیک محتوای تصویر و ویژگی‌های بافتی تصویر

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از رساله خانم سیده الهه ایمانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی در ساعت ۱۳ روز سه‌شنبه ۸ بهمن در محل اتاق ۳۱۲ دانشکده مهندسی با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی‌های لازم، هیأت داوران پایان‌نامه نامبرده را با نمره به عدد ۱۹,۲۵ و به حروف نوزده و بیست و پنج صدم با درجه عالی مورد تأیید قرار داد.

عنوان رساله:

طراحی سیستم خودکار تشخیص رتینوپاتی دیابتی با قابلیت ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه

هیئت داوران امضا:

داور: دکتر مهدی سعادتمند طرزجان

گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد

داور: دکتر سید علیرضا سیدین

گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد

استاد راهنما: دکتر حمیدرضا پوررضا

گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد

استاد مشاور: دکتر توکا بنایی

گروه چشم دانشگاه علوم پزشکی مشهد

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر مهدی سعادتمند طرزجان

مدیر گروه: دکتر سعید ابریشمی

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۸
۱-۱- مقدمه ۹
۱-۲- ساختمان چشم ۱۰
۱-۲-۱- ساختمان شبکیه چشم ۱۰
۱-۳- رتینوپاتی دیابتی ۱۱
۱-۳-۱- ضایعات ناشی از رتینوپاتی دیابتی بر روی شبکیه ۱۲
۱-۳-۱- درجه‌بندی رتینوپاتی دیابتی ۱۳
۱-۳-۲- علائم رتینوپاتی دیابتی ۱۳
۱-۴- تصویربرداری شبکیه ۱۵
۱-۵- ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه ۱۵
۱-۶- اهداف انجام پایان‌نامه ۱۶
۱-۷- نوآوری‌های پایان‌نامه ۱۷
۱-۸- ساختار پایان‌نامه ۱۷
۲- مروری بر کارهای گذشته ۱۸
۲-۱- مقدمه ۱۹
۲-۲- الگوریتم‌های ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه ۱۹
۲-۲-۱- روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های عمومی تصویر ۲۰
۲-۲-۲- روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های ساختاری تصویر ۲۱
۲-۲-۳- روش‌های ترکیبی ۲۱
۲-۲-۴- ارزیابی روش‌های ارائه شده ۲۲
۲-۳- الگوریتم‌های غربالگری رتینوپاتی دیابتی ۲۲
۲-۳-۱- پیش‌پردازش ۲۳
۲-۳-۲- استخراج ویژگی ۲۴
۳- مفاهیم اولیه ۲۸
۳-۱- تبدیلات موجک ۳۲
۳-۱-۱- مروری بر موجک کلاسیک ۳۲
۳-۱-۲- مروری بر تبدیل استارلت ۳۳
۳-۲- موجک‌های هندسی ۳۴

۳-۲-۱- تبدیل کرولت ۳۴
۳-۲-۲- تبدیل کانتورلت ۳۶
۳-۲-۳- تبدیل شیرلت ۳۷
۳-۳- تخمین سیگنال با استفاده از Pursuits ۲۹
۳-۳-۱- مروری بر Basis Pursuit (BP) ۲۹
۳-۴- مروری بر الگوریتم تفکیک محتوای تصویر ۳۰
٤- الگوریتم پیشنهادی ۳۹
۴-۱- مقدمه ۴۰
۴-۲- ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه ۴۰
۴-۲-۱- الگوریتم پیشنهادی اول ۴۱
۴-۲-۲- الگوریتم پیشنهادی دوم ۴۵
۴-۳- غربالگری رتینوپاتی دیابتی ۴۷
۴-۳-۱- الگوریتم پیشنهادی ۴۸
٥- ارزیابی و تست روش پیشنهادی ۵۹
۵-۱- مقدمه ۶۰
۵-۲- پایگاه داده ۶۰
۵-۲-۱- پایگاه داده استاندارد ۶۰
۵-۲-۲- پایگاه داده محلی ۶۰
۵-۳- معیارهای ارزیابی ۶۰
۵-۴- ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه ۶۱
۵-۴-۱- الگوریتم پیشنهادی اول ۶۱
۵-۴-۲- الگوریتم پیشنهادی دوم ۶۳
۵-۵- غربالگری رتینوپاتی دیابتی ۶۷
٦- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات ۷٤
۶-۱- نتیجه‌گیری ۷۵
۶-۲- ارائه پیشنهادات ۷۶
مراجع ۷۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۵-۱: نتایج حاصل از الگوریتم اول ارزیابی کیفیت با استفاده از طبقه‌بند SVM و توابع کرنل مختلف برروی بانک MESSIDOR ۶۲
جدول ۵-۲: نتایج حاصل از الگوریتم اول ارزیابی کیفیت با استفاده از طبقه‌بند SVM و توابع کرنل مختلف برروی بانک خاتم‌الانبیا ۶۳
جدول ۵-۳: نتایج حاصل از ارزیابی الگوریتم پیشنهادی دوم ارزیابی کیفیت با استفاده از طبق‌بند SVM با توابع کرنل مختلف ۶۵
جدول ۵-۴: نتایج الگوریتم ۲ ارزیابی کیفیت برای بانک خاتم‌الانبیا ۶۶
جدول ۵-۵: مقایسه الگوریتم پیشنهادی با روش‌های ارائه شده در [۱۸, ۲۵] ۶۷
جدول ۵-۶: نتایج حاصل از ارزیابی الگوریتم غربالگری با استفاده از تبدیلات شیرلت، استارلت و NSCT با استفاده از طبقه‌بند SVM و ۷۰
جدول ۵-۷: نتایج حاصل از ارزیابی الگوریتم غربالگری با استفاده از تبدیلات شیرلت، استارلت و NSCT با استفاده از طبقه‌بند SVM و ۷۱
جدول ۵-۸: مقایسه الگوریتم غربالگری رتینوپاتی دیابتی پیشنهادی با روش‌های ارائه شده در [۳۲, ۴۳, ۵۲] ۷۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: اجزای مختلف چشم انسان. (۱) برشی عرضی کره چشم، (۲) اجزای مختلف شبکیه چشم [۱]..... ۱۰
شکل ۱-۲: ضایعات ناشی از رتینوپاتی دیابتی. (۱): اگزودا، (۲): هموریج، (۳): میکروآنوریسم [۱]..... ۱۲
شکل ۱-۳: دید طبیعی [۱۷]..... ۱۴
شکل ۱-۴: دید فرد مبتلا به رتینوپاتی دیابتی [۱۷]..... ۱۴
شکل ۱-۵: الف) دوربین فوندوس شبکیه. (ب): دستگاه ته‌چشم‌بین..... ۱۵
شکل ۱-۶: نمونه‌هایی از تصاویر با کیفیت نامطلوب شبکیه. (۱): رویت‌پذیری ضعیف دیسک نوری به دلیل پلک زدن. (۲): رویت‌پذیری ضعیف ماکولا به دلیل روشنایی غیریکنواخت. (۳): وضوح پایین ناشی از haze سراسری (۴): آرتیفکت ناشی از پلک زدن. (۵): آرتیفکت ناشی از گرد و غبار روی لنز (۶): تصویر با لبه‌های haze..... ۱۶
شکل ۲-۱: روش‌های ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه..... ۲۰
شکل ۲-۲: مراحل انجام یک سیستم غربالگری..... ۲۲
شکل ۲-۳: انواع روش‌های غربالگری رتینوپاتی دیابتی..... ۲۴
شکل ۲-۴: شبکه مویرگی فووآ در FAZ [۳۹]..... ۲۶
شکل ۳-۵: تفکیک محتوای تصویر با استفاده از تبدیل کرولت و تبدیل کسینوسی. الف) ترکیب تصویر بافت و تصویر طبیعی. ب) تصویر طبیعی. ج) تصویر بافت [۲]..... ۳۲
شکل ۳-۶: تفکیک محتوای تصویر به دو تصویر حاوی منحنی و نقطه. الف: تصویر نرون، ب) اسپین‌های استخراج شده، ج) دندریت‌های استخراج شده [۳]..... ۳۲
شکل ۳-۱: نسل اول تبدیل کرولت..... ۳۵
شکل ۳-۲: بانک فیلتر کانتورلت: تجزیه تصویر به باندهای مختلف و اعمال بانک فیلتر جهتی به هر کانال میان‌گذر ۳۶
شکل ۳-۳: تبدیل کانتورلت بدون نمونه‌برداری: (۱) ساختار تبدیل NSCT، (۲) تقسیم فرکانسی در NSCT [۴].. ۳۷
شکل ۳-۴: ذوذنقه‌های $C1 - C4$ و مستطیل مرکزی R [۳]..... ۳۸
شکل ۴-۱: بلوک دیاگرام سیستم غربالگری رتینوپاتی دیابتی پیشنهادی..... ۴۰
شکل ۴-۲: تصاویر شبکیه با سطوح کیفیت متفاوت. ردیف اول: تصاویر شبکیه با کیفیت مطلوب، ردیف دوم: تصاویر شبکیه با کیفیت نامطلوب..... ۴۲

شکل ۴-۳: تصاویر شبکیه با سطح کیفیت متفاوت. (الف) تصویر با کیفیت مناسب، (ب-د) تصاویر با کیفیت نامناسب ۴۳
شکل ۴-۴: هیستوگرام ضرایب تبدیل شیرلت برای تصاویر مربوط به شکل ۴-۳ ..... ۴۴
شکل ۴-۵: واریانس فراوانی ضرایب تبدیل شیرلت برای ۴۰۰ تصویر با سطح کیفیت متفاوت: ۲۰۰ تصویر با کیفیت مطلوب، ۲۰۰ تصویر با کیفیت نامطلوب ۴۴
شکل ۴-۶: درجه اوج در نمودار آماری ضرایب تبدیل شیرلت برای ۴۰۰ تصویر با سطح کیفیت متفاوت: ۲۰۰ تصویر با کیفیت مطلوب، ۲۰۰ تصویر با کیفیت نامطلوب ۴۵
شکل ۴-۷: بازنمایی عروق با استفاده از واریانس ضرایب SIST برای تصاویر شبکیه با سطوح کیفیت متفاوت. ردیف اول: تصاویر شبکیه، ردیف دوم: عروق بازنمایی شده و ردیف سوم: بلوک‌بندی تصاویر بازنمایی شده ۴۷
شکل ۴-۸: بهبود روشنایی تصویر. به ترتیب از چپ به راست: تصویر رنگی، کانال سبز تصویر، زمینه تصویر حاصل از اعمال فیلتر میانه و تصویر بهبود یافته ۴۸
شکل ۴-۹: تصاویر مربوط به عروق و ضایعات شبکیه ۴۹
شکل ۴-۱۰: شبه کد تفکیک عروق از ضایعات ۵۰
شکل ۴-۱۱: تصویر مربوط به یک شبکیه بیمار ۵۰
شکل ۴-۱۲: تفکیک عروق و ضایعات با استفاده از تبدیلات کرولت (بازنمایی عروق) و موجک (بازنمایی ضایعات) .. ۵۱
شکل ۴-۱۳: تفکیک عروق و ضایعات با استفاده از تبدیلات کرولت (بازنمایی عروق) و استارت (بازنمایی ضایعات).. ۵۱
شکل ۴-۱۴: تفکیک عروق و ضایعات با استفاده از تبدیلات شیرلت (بازنمایی عروق) و موجک (بازنمایی ضایعات).. ۵۲
شکل ۴-۱۵: تفکیک عروق و ضایعات با استفاده از تبدیلات شیرلت (بازنمایی عروق) و استارلت (بازنمایی ضایعات) ۵۲
شکل ۴-۱۶: تفکیک عروق و ضایعات با استفاده از تبدیلات شیرلت (بازنمایی عروق) و NSCT (بازنمایی ضایعات). ۵۳
شکل ۴-۱۷: تصویر ضایعات مربوط به شکل ۴-۱۳ ..... ۵۴
شکل ۴-۱۸: تصویر ضایعات مربوط به شکل شکل ۴-۱۵ ..... ۵۴
شکل ۴-۱۹: تفکیک عروق از ضایعات در تصاویر شبکیه. به ترتیب از بالا سمت چپ به صورت ساعتگرد: تصویر اصلی، تصویر عروق، تصویر ضایعات و تصویر نویز ۵۵
شکل ۴-۲۰: محاسبه آستانه با استفاده از هیستوگرام تجمعی تصویر ۵۶
شکل ۴-۲۱: تشخیص نقاط انشعاب و نقاط قطع عروق. از بالا سمت چپ به صورت ساعتگرد: تصویر عروق، نقشه عروق خونی، اسکلت عروق و نقاط انشعاب و قطع استخراج شده ۵۷
شکل ۴-۲۲: شبه کد محاسبه تصویر ناهمگنی ۵۸
شکل ۵-۱: نمونه‌ای از تصاویر نرمال دارای بازتاب نور ۷۲
شکل ۶-۱: بخشی از دیکشنری آموزش دیده برای عروق و ضایعات. (۱): دیکشنری عروق، (۲): دیکشنری ضایعات ۷۷
شکل ۶-۲: تفکیک عروق و ضایعات با استفاده از دیکشنری‌های تولید شده ۷۷

۱- مقدمه

۱-۱- مقدمه

دیابت نوعی بیماری شایع در جهان می‌باشد. این بیماری آثار بدی بر روی چشم‌ها، سیستم عصبی، قلب و سایر اعضای بدن دارد. اولین عضوی که معمولا دچار آسیب می‌شود، چشم است. این بیماری می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله ایجاد آب مروارید، آب سیاه و مهمتر از همه صدمه به عروق خونی داخل چشم، بر روی دید تاثیر بگذارد. رتینوپاتی دیابتی عارضه‌ای ناشی از دیابت است که بدلیل تغییرات ایجاد شده در عروق خونی شبکیه رخ می‌دهد. آسیب دیدن عروق خونی شبکیه، سبب نشت خون، رشد شاخه‌های عروقی شکننده و کلافه‌مانند و تخریب شبکیه می‌شود. آسیب دیدن شبکیه سبب تار شدن تصاویر ارسالی به مغز می‌شود. رتینوپاتی دیابتی یکی از علل اصلی کاهش دید بوده و افرادی که دیابت درمان نشده دارند، ۲۵ برابر بیشتر در معرض ابتلا به نابینایی قرار دارند. در بسیاری از کشورها، بیماری دیابت دلیل شایع نابینایی در افراد بزرگسال بین ۲۰ تا ۷۴ سال است.

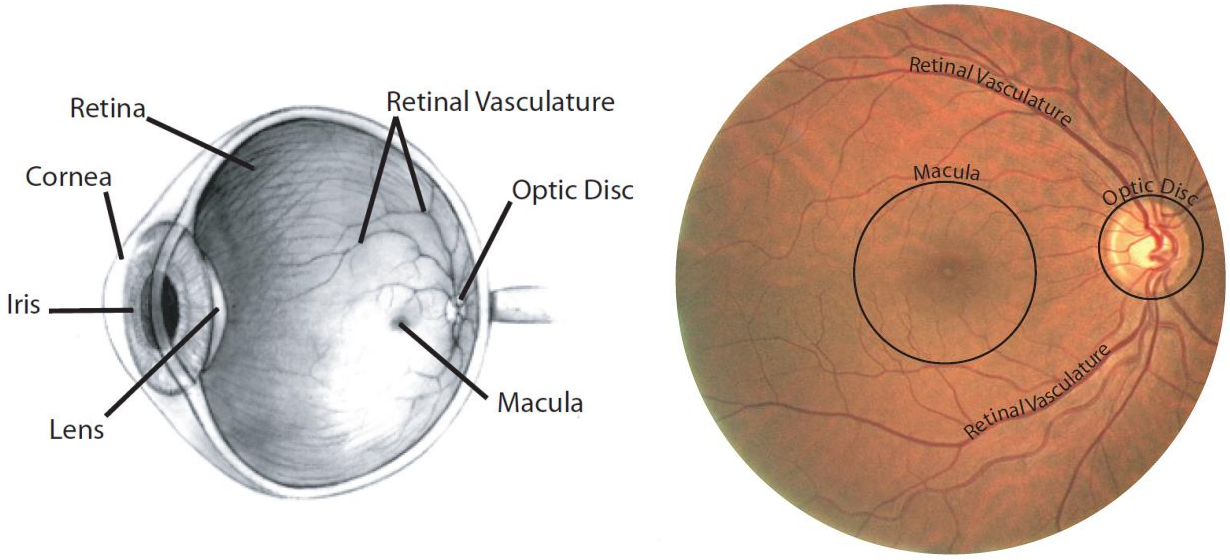
رتینوپاتی دیابتی بیماری مزمن می‌باشد که ممکن است هنگامی که تشخیص داده می‌شود، تغییرات شبکیه به درجه‌ای رسیده باشد که درمان آن غیرممکن باشد. اگرچه دیابت به خودی خود درمان نمی‌شود، ولی در صورتی که بیماری‌های چشمی زودهنگام تشخیص داده شوند، می‌توان از عوارض آن پیشگیری نمود [۵]. بنابراین معاینات دوره‌ای به منظور جلوگیری از پیشرفت بیماری و بروز نابینایی ضروری است. معاینات چشمی معمولا هر ۱۲ ماه یک بار صورت می‌گیرد. این معاینات شامل تصویربرداری از ته چشم، و تحلیل تصاویر به منظور تشخیص تغییرات سریع در الگوی عروق خونی و بروز ضایعات مختلف می‌باشد. اگرچه تشخیص سریع و درمان با استفاده از لیزر در جلوگیری از نابینایی موثر می‌باشد، ولی بسیاری از بیماران دیابتی به دلیل کمبود مراکز تخصصی چشم و یا هزینه بالای معاینات تخصصی چشم، بموقع درمان نمی‌شوند. با توجه به اینکه ۷۵٪ نابینایی ناشی از بیماری دیابت قابل پیش‌گیری است، طراحی سیستم غربالگری مناسب برای تشخیص بیماران با وضعیت اضطراری در مرحله‌ای که درمان آنها امکان‌پذیر باشد، حیاتی به نظر می‌رسد [۶].

طراحی سیستم غربالگری خودکار می‌تواند سبب صرفه‌جویی در زمان، هزینه و نیروی انسانی شود. با این وجود مشکلاتی وجود دارد که مانع از تمام خودکار بودن یک سیستم غربالگری می‌شود. یکی از این مشکلات، کیفیت نامناسب تصاویر شبکیه است. کیفیت تصاویر شبکیه تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله حرکت سر و چشم بیمار، مردمک کوچک، آب مروارید، کثیفی لنز، پلک زدن بیمار و گرد و غبار به‌گونه‌ای تغییر می‌کند که اجزای آناتومی شبکیه در این تصاویر به خوبی قابل مشاهده نمی‌باشد. استفاده از چنین تصاویری سبب کاهش کارایی سیستم غربالگری رتینوپاتی دیابتی می‌شود. بنابراین ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه، پیش از غربالگری ضروری به نظر می‌رسد.

هدف این پایان‌نامه ارائه الگوریتم‌هایی به منظور افزایش قابلیت دوربین‌های تصویربرداری ته چشم، و تولید یک سیستم غربالگری کاملا خودکار رتینوپاتی دیابتی با قابلیت ارزیابی کیفی تصاویر می‌باشد. در ادامه این فصل ابتدا ساختمان چشم را معرفی کرده، سپس توضیح مختصری در مورد رتینوپاتی دیابتی، عوارض و علائم آن ارائه می‌دهیم.

۱-۲- ساختمان چشم

حس بینایی در میان پنج حس انسان بیشترین استفاده را دارد. بیشتر اطلاعات دریافتی انسان توسط چشم صورت می‌گیرد، و بخش قابل توجهی از مغز به پردازش داده‌های بصری اختصاص یافته است. همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، ساختمان چشم شبیه یک کره است. در قسمت جلوی این کره یک پنجره شفاف به نام قرنیه وجود دارد. نور از محیط خارج وارد قرنیه شده و پس از عبور از مردمک به عدسی می‌رسد. عدسی نور را به صورت دقیق بر روی شبکیه متمرکز می‌کند تا تصویر واضحی بر روی شبکیه ایجاد شود. برای آنکه اشیاء به صورت دقیق و واضح مشاهده شوند لازم است مسیری که نور در چشم طی می‌کند شفاف باشد و قرنیه و عدسی نور را به صورت صحیح برروی شبکیه متمرکز کنند [۷].



شکل ۱-۱: اجزای مختلف چشم انسان. (۱) برشی عرضی کره چشم، (۲) اجزای مختلف شبکیه چشم [۱]

۱-۲-۱- ساختمان شبکیه چشم

شبکیه یک پرده نازک حساس به نور در انتهای کره چشم است. پرتوهای نوری که به شبکیه برخورد می‌کنند به پیام‌های عصبی تبدیل می‌شود. این پیام‌ها از طریق عصب‌های بینایی به مغز منتقل شده و در آنجا تفسیر می‌شوند. در شبکیه انسان دو نوع گیرنده نوری به نام گیرنده مخروطی و گیرنده استوانه‌ای وجود دارد که میزان حساسیت آن‌ها به نور متفاوت است. گیرنده‌های استوانه‌ای برای دید در محیط‌های تاریک به کار می‌روند و نسبت به رنگ حساس نیستند. در حالی که گیرنده‌های مخروطی در تشخیص رنگ و جزئیات ظریف مورد استفاده قرار می‌گیرند. نحوه قرارگیری این

سلول‌ها در شبکیه به گونه‌ای است که در ناحیه مرکزی شبکیه (ماکولا[۱]) تعداد گیرنده‌های مخروطی بیشتری وجود دارد. بنابراین هنگامی که فرد به صورت مستقیم به یک شیء نگاه می‌کند، تصویر آن شیء مستقیماً روی ماکولا و در محلی که تعداد سلول‌های مخروطی بیشتری وجود دارد، قرار می‌گیرد. در نتیجه آن شیء با وضوح بیشتری مشاهده می‌شود [۷]. تمام گیرنده‌های نوری از طریق شبکه عظیمی از اعصاب به مغز متصل شده‌اند. اجزای اصلی شبکیه چشم در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. در ادامه به معرفی برخی از این اجزا می‌پردازیم.

۱-۲-۱-۱- دیسک نوری[۲]

دیسک نوری یا سر عصب بینایی محل ورود و خروج اعصاب بینایی بین مغز و شبکیه می‌باشد. به این بخش از شبکیه نقطه کور گفته می‌شود. زیرا در این ناحیه هیچ‌گونه سلول مخروطی و استوانه‌ای وجود نداشته و این امر منجر به شکست در میدان بینایی می‌شود. دیسک نوری روشن‌ترین بخش در تصاویر فوندوس[۳] بوده و به شکل یک ناحیه دایروی در تصویر مشاهده می‌شود [۸].

۱-۲-۱-۲- ماکولا

ماکولا ناحیه‌ای در مرکز شبکیه چشم است. این بخش کوچک و بسیار حساس شبکیه، مسئول دید دقیق مرکزی می‌باشد. ماکولا به انسان توانایی درک جزئیات و انجام کارهایی که نیاز به دید مرکزی دارند (از جمله خواندن) را می‌دهد [۹].

۱-۲-۱-۳- فووآ[۴]

فووآ یک تورفتگی در مرکز ناحیه ماکولا است که به صورت یک ناحیه تاریک در تصاویر شبکیه ظاهر می‌شود. این بخش از شبکیه در فعالیت‌هایی که نیاز به تمرکز روی جزئیات دقیق (مانند خواندن) است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضایعات موجود در این ناحیه در صورتی که درمان نشوند سبب تهدید بینایی خواهند شد [۱۰]. قطر این ناحیه در شبکیه چشم حدود ۱mm می‌باشد. برخلاف نواحی پیرامون شبکیه، در این ناحیه هیچ رگی وجود ندارد و این ناحیه حاوی تعداد زیادی سلول مخروطی می‌باشد [۹].

۱-۳- رتینوپاتی دیابتی

رتینوپاتی دیابتی عارضه‌ای ناشی از دیابت است که بدلیل تغییرات ایجاد شده در عروق خونی شبکیه، ایجاد می‌شود. با آسیب دیدن عروق خونی، ممکن است فرد بینایی خود را از دست بدهد. اگرچه بیماری دیابت درمان نمی‌شود، ولی رتینوپاتی دیابتی می‌تواند به کمک عمل لیزر با موفقیت درمان شود. این بیماری در اکثر افراد مبتلا به دیابت ایجاد شده و درمان آن وابسته به سن بیمار و مدت زمان ابتلا به رتینوپاتی دیابتی می‌باشد. تشخیص رتینوپاتی دیابتی می‌تواند با معاینه شبکیه برای مشاهده عوارض رتینوپاتی دیابتی انجام شود.

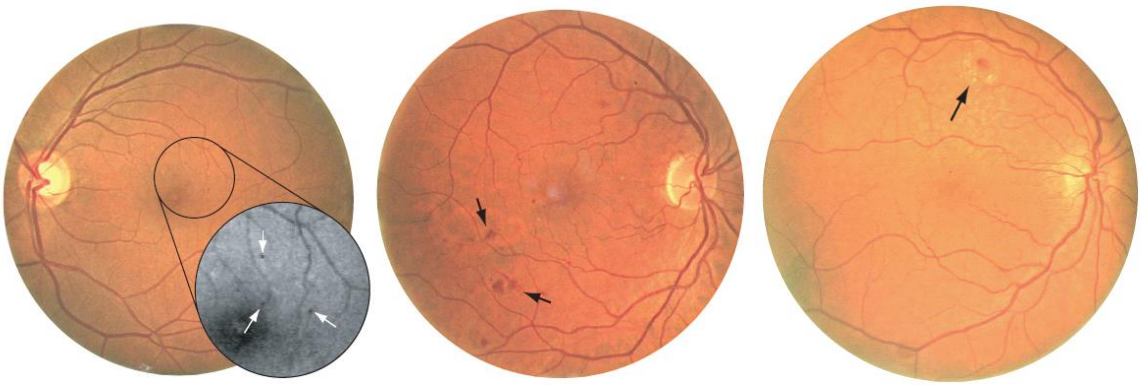
---

[۱] Macula

[۲] Optic disc

[۳] Fundus

[۴] Fovea



(۳) (۲) (۱)

شکل ۱-۲: ضایعات ناشی از رتینوپاتی دیابتی. (۱): اگزودا، (۲): هموریج، (۳): میکروآنوریسم [۱]

۱-۳-۱- ضایعات ناشی از رتینوپاتی دیابتی بر روی شبکیه

تصاویر فوندوس شبکیه علاوه بر ساختارهای عادی شبکیه، شامل اطلاعاتی در مورد عوارض ناشی از رتینوپاتی دیابتی می‌باشد. در ادامه به شرح برخی از ضایعات رتینوپاتی دیابتی می‌پردازیم.

۱-۳-۱-۱- میکروآنوریسم[۱]

میکروآنوریسم اولین نشانه رتینوپاتی دیابتی است که سبب نشت خون به شبکیه می‌شود. این ضایعه معمولا به صورت لکه‌های دایروی کوچک قرمزرنگ با قطر کمتر از ۱۲۵ μm نمایان می‌شود. قطر این ضایعات معمولا کمتر از قطر عروق خونی می‌باشد. افزایش تعداد این ضایعات منجر به تشدید رتینوپاتی دیابتی و کم‌خونی می‌گردد [۱۱, ۱۲].

۱-۳-۱-۲- هموریج[۲]

ضایعه هموریج ناشی از خونریزی عروق خونی در شبکیه است. این ضایعه با افزایش رتینوپاتی دیابتی نمایان شده و معمولا به صورت لکه‌های قرمزرنگ ظاهر می‌شوند. افزایش تعداد این ضایعه منجر به رتینوپاتی غیرپرولیفراتیو[۳] می‌گردد [۱۳]. ضایعه هموریج همرنگ با ضایعه میکروآنوریسم بوده و از نظر اندازه کمی بزرگتر از میکروآنوریسم می‌باشد [۱۴].

۱-۳-۱-۳-اگزودا[۴]

ضایعه اگزودا نشان‌دهنده تجمع چربی و پروتئین در شبکیه چشم می‌باشد. این ضایعه معمولا به صورت لکه‌های روشن، بازتابنده و به رنگ زرد در شبکیه مشاهده می‌شود. اگرچه این ضایعه به تنهایی تهدیدکننده بینایی بشمار نمی‌آید. در صورتی که این ضایعه نزدیک به ناحیه ماکولا قرار گیرد، سبب تهدید بینایی می‌گردد [۱۲].

---

۱ Microaneurysm

۲ Hemorrhage

۳ Non-proliferative Diabetic Retinopathy

۴ Exudate

۱-۳-۱-۴- پیداش عروق جدید یا نورگ‌زایی[۱]

در برخی افراد مبتلا به رتینوپاتی دیابتی ممکن است عروق خونی متورم شده و سبب نشت خون در شبکیه گردد. گاهی نیز عروق بسیار ضعیفی در سطح شبکیه رشد پیدا می‌کند که می‌تواند منجر به نشت خون در شبکیه شود [۱۲]. به این پدیده نورگ‌زایی گفته می‌شود. نمونه‌ای از ضایعات ناشی از رتینوپاتی دیابتی در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود.

۱-۳-۱- درجه‌بندی رتینوپاتی دیابتی

شدت رتینوپاتی دیابتی به صورت زیر به پنج سطح تقسیم می‌شود [۱۵]:

۱. **عدم رتینوپاتی دیابتی – درجه صفر:** در این مرحله، هیچ علائمی از بیماری در تصاویر شبکیه وجود ندارد و تصاویر شبکیه عادی می‌باشند.

۲. **رتینوپاتی دیابتی غیرپرولیفراتیو خفیف (NPDR خفیف) – درجه یک:** در این مرحله از بیماری، حداقل یک میکروآنوریسم در سطح شبکیه ایجاد می‌شود.

۳. **رتینوپاتی دیابتی غیرپرولیفراتیو متوسط (NPDR متوسط) – درجه دو:** در این سطح از بیماری، برخی از عروق خونی تغذیه کننده شبکیه چشم مسدود می‌شوند.

۴. **رتینوپاتی دیابتی غیرپرولیفراتیو شدید (NPDR شدید) – درجه سه:** در این مرحله، عروق خونی در نواحی بیشتری از شبکیه مسدود می‌شوند. این نواحی سیگنال‌هایی را به مغز ارسال می‌کنند تا عروق خونی جدیدی برای تغذیه شبکیه رشد کند.

۵. **رتینوپاتی دیابتی پرولیفراتیو[۲] (PDR) – درجه چهار:** این مرحله پیشرفته‌ترین مرحله بیماری است. در این مرحله عروق خونی جدیدی رشد می‌کنند که بسیار باریک و شکننده هستند. نشت خون توسط این عروق موجب ضعیفی شدید چشم شده و یا حتی ممکن است منجر به نابینایی گردد.

۱-۳-۲- علائم رتینوپاتی دیابتی

معمولاً در مرحله رتینوپاتی غیرپرولیفراتیو علامتی وجود ندارد. اگرچه ممکن است در صورت ایجاد تورم در مرکز دید، تاری دید بصورت تدریجی ایجاد شود. اما بیمار ممکن است هرگز به تغییر میزان دید خود پی نبرد. معاینه چشم‌پزشکی تنها راهی است که به کمک آن می‌توان تغییرات داخل چشم بیمار را تشخیص داد. زمانی که خونریزی ایجاد می‌شود، دید فرد تار شده و لکه‌هایی در دید بیمار ایجاد می‌شود. حتی ممکن است دید بیمار بکلی از بین برود. رتینوپاتی دیابتی پرولیفراتیو[۳] اگرچه بدون درد است اما درجه شدیدی از رتینوپاتی دیابتی محسوب می‌شود و نیازمند درمان فوری می‌باشد. شکل ۱-۳ دید طبیعی و شکل ۱-۴ دید فرد مبتلا به رتینوپاتی دیابتی را نشان می‌دهد [۱۶].

---

[۱] Neovascularization

[۲] Proliferative Diabetic Retinopathy

[۳] Proliferative

شکل ۱-۳: دید طبیعی [۱۷]

شکل ۱-٤: دید فرد مبتلا به رتینوپاتی دیابتی [۱۷]

۱-۴- تصویربرداری شبکیه

علاوه بر معاینه مستقیم چشم بیمار توسط چشم‌پزشک، شبکیه را می‌توان به صورت غیرمستقیم و با استفاده از تصاویر دیجیتال معاینه کرد. دوربین فوندوس (شکل ۱-۵ (الف))، یک دوربین دیجیتالی معمولی است که به منظور تهیه تصاویر رنگی از شبکیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخلاف دستگاه‌های ته‌چشم‌بین قدیمی (شکل ۱-۵ (ب))، این دوربین‌ها امکان ذخیره داده‌ها را نیز فراهم می‌کنند. با این کار می‌توان فرایند تشخیص بیماری را پس از تصویربرداری انجام داد. دوربین‌های فوندوس شبکیه با توجه به نیاز به اتساع مردمک چشم، به دو گروه mydriatic و non-mydriatic تقسیم می‌شوند. دوربین‌های non-mydriatic ابعاد کوچک‌تری داشته و برای غربالگری مناسب می‌باشند. در این دوربین‌ها نیازی به اتساع مردمک وجود ندارد. بنابراین کیفیت تصاویر در آنها پایین بوده و میدان دید کوچک‌تری را فراهم می‌کنند. زمانی که نیاز به تشخیص دقیق‌تری باشد، از دوربین‌های mydriatic استفاده می‌شود. زیرا تصویربرداری در این دوربین‌ها با اتساع مردمک صورت می‌گیرد. بنابراین تصاویر تولید شده دارای کیفیت بهتری می‌باشند.

(ب) (الف)

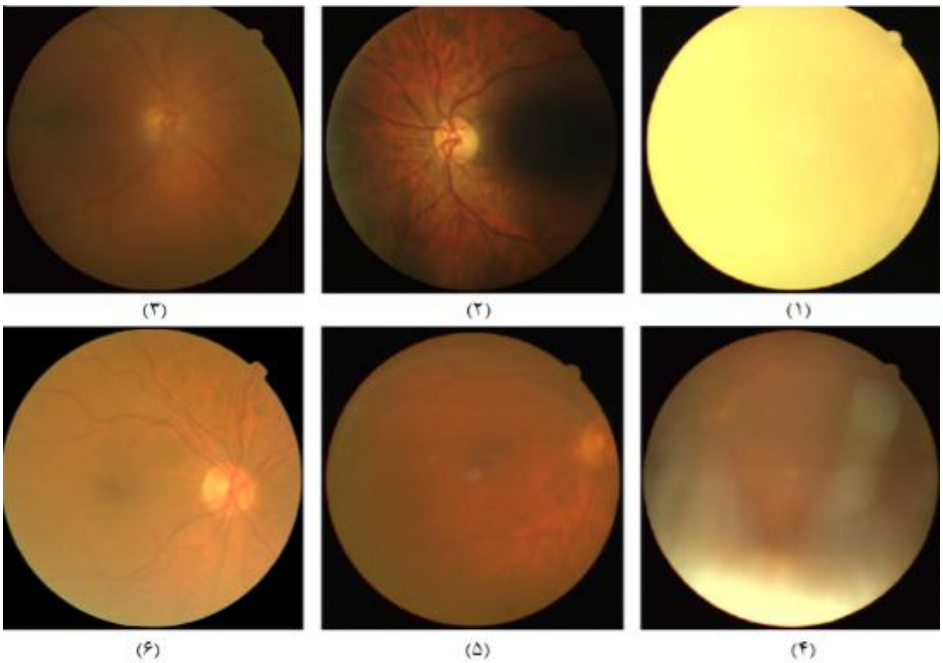
شکل ۱-۵: الف) دوربین فوندوس شبکیه. (ب): دستگاه ته‌چشم‌بین

۱-۵- ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه

تاکنون سیستم‌های خودکار و نیمه‌خودکار متعددی برای غربالگری رتینوپاتی دیابتی ارائه شده است. با این وجود مشکلاتی وجود دارد که مانع از تمام‌خودکار بودن یک سیستم غربالگری شده و کارایی سیستم غربالگری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یکی از این مشکلات، نیاز به تضمین کیفیت تصاویر شبکیه است. این موضوع در زمانی که کاربر سیستم غربالگری فردی غیرمتخصص باشد، می‌تواند سبب کاهش کارایی سیستم غربالگری شود. با توجه به اینکه نرخ تولید تصاویر با کیفیت نامطلوب حدود ۴٫۸۵٪ تا ۱۷٫۳٪ می‌باشد، عدم جداسازی این تصاویر کارایی سیستم غربالگری را کاهش می‌دهد. اگرچه الگوریتم‌های افزایش کیفیت تصاویر به منظور بهبود کنتراست و روشنایی تصویر موجود می‌باشد، اما با اعمال این الگوریتم‌ها به تصاویر با کیفیت نامطلوب، ممکن است همچنان کیفیت این تصاویر کمتر از مقدار آستانه باشد. زیرا در بسیاری از تصاویر با کیفیت نامطلوب، بخشی از اجزای آناتومیکی شبکیه محو شده و قابل رویت نمی‌باشد

[۱۸]. افزودن قابلیت ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه به یک سیستم غربالگری، می‌تواند در تصمیم‌گیری برای تصویربرداری مجدد کمک‌کننده باشد.

کیفیت تصاویر شبکیه تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله حرکت سر و چشم بیمار، پلک زدن، مردمک کوچک، آب مروارید، گرد و غبار و کثیفی لنز به‌گونه‌ای تغییر می‌کند که اجزای آناتومی شبکیه در این تصاویر به خوبی قابل مشاهده نمی‌باشد. حرکت سر و چشم بیمار منجر به تولید تصاویر تار یا تصاویری با روشنایی غیریکنواخت شده، و بازشدگی کم مردمک سبب تولید تصاویر تیره با کنتراست پایین می‌شود. همچنین آب مروارید منجر به تولید تصاویر تار می‌گردد. این تصاویر سبب تشخیص اشتباه بیماری و کاهش کارایی در غربالگری رتینوپاتی دیابتی می‌شوند. نمونه‌ای از این تصاویر در شکل ۱-۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۱-٦: نمونه‌هایی از تصاویر با کیفیت نامطلوب شبکیه. (۱): رویت‌پذیری ضعیف دیسک نوری به دلیل پلک زدن. (۲): رویت‌پذیری ضعیف ماکولا به دلیل روشنایی غیریکنواخت. (۳): وضوح پایین ناشی از haze سراسری (٤): آرتیفکت ناشی از پلک زدن. (۵): آرتیفکت ناشی از گرد و غبار روی لنز (٦): تصویر با لبه‌های haze

۱-۶- اهداف انجام پایان‌نامه

همانطور که قبلا هم گفته شد، رتینوپاتی دیابتی یکی از دلایل شایع نابینایی در جهان محسوب می‌شود. تشخیص و درمان بموقع این بیماری می‌تواند تا ۵۰٪ از نابینایی جلوگیری کند. افزایش روزافزون بیماران دیابتی و کمبود پزشکان متخصص مانع از تشخیص بموقع رتینوپاتی دیابتی شده است. بنابراین طراحی یک سیستم غربالگری خودکار رتینوپاتی دیابتی برای تشخیص بموقع و جلوگیری از نابینایی ضروری است.

در این پایان‌نامه یک سیستم کاملا خودکار رتینوپاتی دیابتی ارائه شده است. در سیستم پیشنهادی با استفاده از تصاویر گرفته شده از شبکیه بیمار، رتینوپاتی دیابتی تشخیص داده می‌شود. اولین مرحله پس از تهیه تصویر، ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه می‌باشد. در این مرحله کیفیت تصاویر شبکیه برای ورود به مرحله غربالگری ارزیابی می‌شود. در صورت

نامطلوب بودن کیفیت تصویر، از کاربر خواسته می‌شود که مجددا تصویربرداری را انجام دهد. در صورتی که پس از تصویربرداری مجدد، همچنان کیفیت تصویر نامطلوب باشد، بیمار به پزشک ارجاع داده می‌شود. در صورت مناسب بودن کیفیت، تصویر وارد فاز غربالگری می‌شود. در این مرحله با استفاده از ویژگی‌های استخراج شده از تصویر و استفاده از طبقه‌بند مناسب، غربالگری انجام می‌شود. پس از غربالگری، در صورتی که تصویر غیرنرمال تشخیص داده شود، فرد به پزشک ارجاع داده می‌شود.

۱-۷- نوآوری‌های پایان‌نامه

از جمله نوآوری‌های پایان‌نامه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارائه یک سیستم کاملا خودکار غربالگری رتینوپاتی دیابتی با قابلیت ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه و شناسایی رتینوپاتی دیابتی
- ارائه دو الگوریتم خودکار ارزیابی کیفیت
- ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه بدون نیاز به تقطیع اجزای آناتومی شبکیه
- ارائه الگوریتم خودکار غربالگری رتینوپاتی دیابتی
- استفاده از اطلاعات آماری تمام ضایعات شبکیه بدون نیاز به تقطیع ضایعات مختلف

۱-۸- ساختار پایان‌نامه

در فصل دوم پایان‌نامه به بررسی و شرح روش‌های ارائه شده در زمینه ارزیابی کیفیت تصاویر شبکیه و غربالگری رتینوپاتی دیابتی پرداخته شده است. مطالب مورد نیاز برای درک الگوریتم‌های پیشنهادی، در فصل سه شرح داده شده است. در فصل چهار، الگوریتم‌های پیشنهاد شده برای ارزیابی کیفیت و غربالگری رتینوپاتی دیابتی ارائه شده است. در فصل پنج، الگوریتم‌های پیشنهاد شده مورد ارزیابی قرار گرفته و با تعدادی از الگوریتم‌های دیگر مقایسه شده است. در فصل آخر جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مطرح شده است.