

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی - گروه کامپیوتر
آزمایشگاه بینایی ماشین

پایان نامه کارشناسی ارشد

"استخراج ویژگی برای طراحی یک سیستم غربالگری بیماری آبسیاه با استفاده از ترکیب دو تصویر OCT و شبکه"

نویسنده:

فاطمه السادات فعال حسینی مظلوم

اساتید راهنما:

دکتر حمیدرضا پوررضا

دکتر مهدی سعادت‌مند

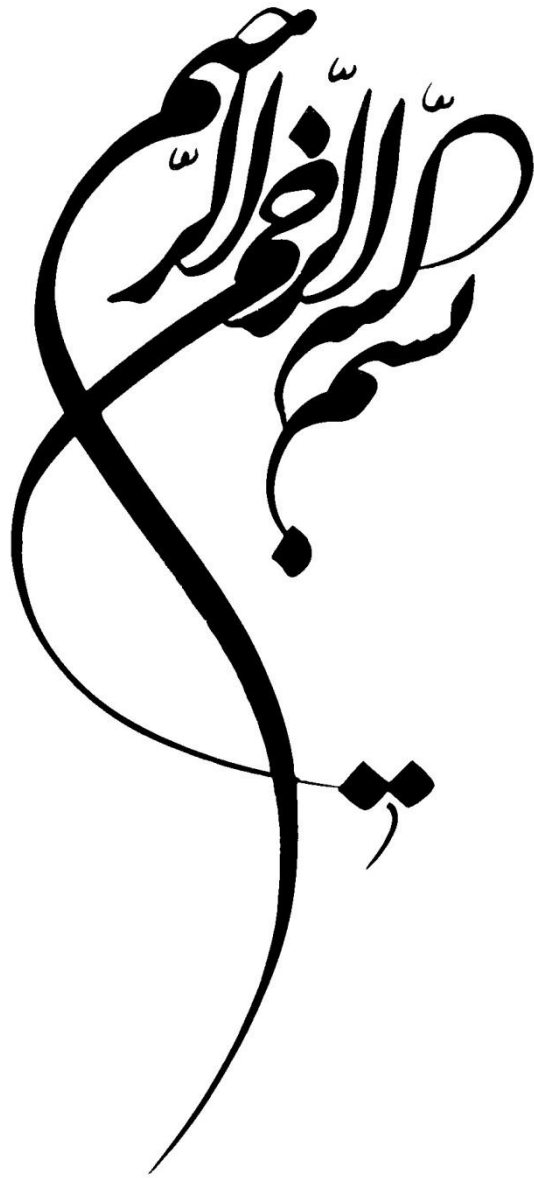
استاد مشاور:

دکتر رامین دانشور

تابستان ۹۲



آزمایشگاه بینایی ماشین
گروه مهندسی کامپیوتر
دانشکده مهندسی
دانشگاه فردوسی مشهد
تلفن ۰۵۱۱ ۸۷۶ ۳۳۰۶



تعهدنامه

اینجانب فاطمه السادات فعال حسینی مظلوم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان‌نامه «استخراج ویژگی برای طراحی یک سیستم خودکار غربالگری بیماری آب‌سیاه با استفاده از ترکیب دو تصویر OCT و شبکه» 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 می‌باشد 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.

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.

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از رساله خانم فاطمه السادات فعال حسینی مظلوم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی در ساعت ۱۱:۳۰ روز سه‌شنبه ۹ مهر در محل دفتر گروه کامپیوتر دانشکده مهندسی با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی‌های لازم، هیأت داوران پایان‌نامه نامبرده را با نمره به عدد ۱۸,۵ به حروف هجده و نیم و با درجه بسیار خوب مورد تأیید قرار داد.

عنوان رساله

استخراج ویژگی برای طراحی یک سیستم غربالگری بیماری آب‌سیاه با استفاده از ترکیب دو تصویر OCT و شبکه

هیأت داوران امضا:

داور: دکتر عابدین واحیدیان مظلوم

گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد

داور: دکتر احد هراتی

گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد

استاد راهنما: دکتر حمیدرضا پوررضا، دکتر مهدی سعادت‌مند طرازجان

گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد، گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد،

استاد مشاور: دکتر رامین دانشور

گروه چشم دانشگاه علوم پزشکی مشهد

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر عابدین واحیدیان مظلوم

مدیر گروه: دکتر سعید ابریشمی

چکیده

آب‌سیاه نوعی بیماری است که تعداد زیادی از انسان‌ها را در سرتاسر دنیا تحت تأثیر قرار داده است. این بیماری منجر به ایجاد تغییراتی بر روی شبکه چشم فرد بیمار می‌شود، که ممکن است به کوری فرد بیمار منجر شود. تشخیص زودهنگام بیماری آب‌سیاه می‌تواند عوارض بعدی آن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. افرادی که در معرض این بیماری هستند، نیاز دارند تا در زمان‌بندی‌های منظم، غربالگری شوند. بنابراین نیاز به یک سیستم تشخیص خودکار بیماری آب‌سیاه می‌باشد.

از جمله اهداف این گزارش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: تقطیع خودکار نواحی موجود در شبکه، بدست آوردن موقعیت و مرز دقیق ناحیه دیسک نوری و کاپ برای محاسبه نسبت CDR، تقطیع لایه RNFL شبکه در تصویر OCT، بدست آوردن قطر لایه RNFL و ناحیه Rim از آن و استخراج ویژگی به منظور غربالگری بیماری آب‌سیاه، که بر اساس دو تصویر OCT و شبکه انجام می‌گیرد.

برای استخراج اطلاعات از تصویر OCT، از روش کانتورهای فعال استفاده می‌شود که توسط آن مرز لایه‌های شبکه در تصویر OCT بدست می‌آید. پس از آن، با استخراج مرز لایه‌ها، ضخامت هر لایه و نیز تغییرات قطر ناحیه Rim، تعیین می‌شود. پردازش تصاویر شبکه شامل تقطیع کاپ و دیسک نوری و سپس محاسبه نسبت کاپ به دیسک (CDR) است. این سیستم با ترکیب ویژگی‌های دو تصویر OCT و شبکه قادر است با دقت بالاتری بیماری آب‌سیاه را شناسایی کند. الگوریتم بدست آمده برای سیستم غربالگری بر روی ۴۶ تصویر OCT و شبکه تست شد که نهایتاً دقت الگوریتم قطعه بندی تصویر OCT نیز برابر با $(10 \pm 4, 18)$ پیکسل معادل $(4, 32 \pm 1, 69)$ میکرومتر بدست آمد.

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱-۱
۲	مقدمه	۱-۱-۱
۳	عصب بینایی	۱-۲-۱
۳	تأثیر آبسیاه بر عصب بینایی	۱-۳-۱
۴	علائم بیماری آبسیاه	۱-۴-۱
۵	تشخیص بیماری آبسیاه	۱-۵-۱
۷	درمان بیماری آبسیاه	۱-۶-۱
۷	انواع دیگر آبسیاه	۱-۷-۱
۸	تصویربرداری OCT	۱-۸-۱
۱۰	ساختار کلی چشم	۱-۹-۱
۱۳	اهداف رساله	۱-۱۰-۱
۱۴	دستاوردهای پایان نامه	۱-۱۱-۱
۱۴	ساختار پایان نامه	۱-۱۲-۱
۱۵	مروری بر کارهای گذشته	۲-۱
۱۶	مقدمه	۲-۱-۱
۱۶	پیش زمینه تقطیع تصاویر پزشکی	۲-۲-۱
۱۷	روش های تقطیع مبتنی بر آستانه یابی	۲-۲-۱-۱
۱۸	روش های تقطیع مبتنی بر ناحیه	۲-۲-۲-۱
۱۸	روش های مبتنی بر رشد ناحیه	۲-۲-۲-۲-۱
۱۸	روش های مبتنی بر تقسیم و ادغام	۲-۲-۲-۲-۲
۱۹	روش های مبتنی بر لبه	۲-۲-۲-۳-۱

۱۹.....	روش‌های مبتنی بر گراف.....	۴-۲-۲
۲۰.....	روش‌های مبتنی بر طبقه بندی.....	۵-۲-۲
۲۰.....	روش‌های مبتنی بر مدل‌های فرم‌پذیر.....	۶-۲-۲
۲۱.....	Risk factor های آب‌سیاه.....	۳-۲
۲۱.....	تأثیر آب‌سیاه بر روی تصویر شبکه.....	۱-۳-۲
۲۲.....	نسبت کاپ به دیسک نوری.....	۱-۱-۳-۲
۲۴.....	Peripapillary Atrophy.....	۲-۱-۳-۲
۲۵.....	خونریزی دیسک.....	۳-۱-۳-۲
۲۶.....	شکاف Rim.....	۴-۱-۳-۲
۲۶.....	کاهش ضخامت ناحیه Rim.....	۵-۱-۳-۲
۲۷.....	عدم تقارن داخل چشم.....	۶-۱-۳-۲
۲۷.....	آسیب لایه RNFL.....	۷-۱-۳-۲
۲۸.....	افزایش زاویه بازشدگی عروق شبکه.....	۸-۱-۳-۲
۲۹.....	تأثیر آب‌سیاه بر روی تصویر OCT.....	۱-۳-۲
۲۹.....	پیشینه.....	۴-۲
۳۰.....	سیستم غربالگری آب‌سیاه مبتنی بر تصویر OCT.....	۱-۴-۲
۳۰.....	روش‌های موجود برای تقطیع و حذف نویز از تصاویر OCT.....	۱-۱-۴-۲
۳۴.....	روش‌های حذف نویز از تصاویر OCT.....	۲-۱-۴-۲
۳۵.....	سیستم غربالگری آب‌سیاه مبتنی بر تصویر شبکه.....	۲-۴-۲
۳۷.....	پیش پردازش.....	۱-۲-۴-۲
۳۸.....	روش‌های تعیین موقعیت دیسک نوری.....	۲-۲-۴-۲
۴۳.....	روش‌های قطعه بندی دیسک نوری.....	۳-۲-۴-۲
۴۸.....	پیش‌زمینه روش‌های کانتور فعال در تقطیع تصاویر پزشکی.....	۵-۲
۴۹.....	لم اساسی حساب تغییرات.....	۱-۵-۲
۴۹.....	روش‌های سطح تراز.....	۲-۵-۲
۵۲.....	کانتور فعال مبتنی بر لبه.....	۱-۲-۵-۲
۵۵.....	کانتور فعال مبتنی بر ناحیه.....	۲-۲-۵-۲
۵۸.....	سیستم پیشنهادی.....	۳
۵۹.....	مقدمه.....	۱-۳
۵۹.....	تقطیع تصویر شبکه.....	۲-۳

۶۰	تقطیع دیسک‌نوری	۱-۲-۳
۶۰	تعیین موقعیت دیسک‌نوری	۱-۱-۲-۳
۶۱	تعیین ناحیه دیسک‌نوری	۲-۱-۲-۳
۶۳	تقطیع کاپ	۲-۲-۳
۶۵	محاسبه شاخص CDR	۳-۲-۳
۶۵	شاخص زاویه بازشدگی عروق	۳-۳
۶۷	تقطیع تصویر OCT	۴-۳
۶۷	پیش‌پردازش	۱-۴-۳
۶۸	تابعی انرژی	۲-۴-۳
۶۹	ترم انرژی مبتنی بر اطلاعات ناحیه	۱-۲-۴-۳
۶۹	ترم انرژی مبتنی بر اطلاعات لبه	۲-۲-۴-۳
۶۹	ترم انرژی مبتنی بر حداقل فاصله	۳-۲-۴-۳
۷۰	ترم هموارساز	۴-۲-۴-۳
۷۰	کمینه‌سازی تابعی انرژی	۳-۴-۳
۷۲	ارزیابی سیستم	۴
۷۳	مقدمه	۱-۴
۷۴	ارزیابی الگوریتم تقطیع تصویر OCT	۲-۴
۷۴	معیار ارزیابی DSC	۱-۲-۴
۷۵	معیار ارزیابی فاصله هاسدورف	۲-۲-۴
۷۷	میانگین ضخامت لایه‌های شبکه	۳-۲-۴
۸۱	نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات	۵
۸۲	مقدمه	۱-۵
۸۲	کارهای آینده	۲-۵
۸۴	مراجع	۶
۹۳	پیوست - الف	۷
۹۴	مقدمه	۱-۷
۹۴	ترم مبتنی بر ناحیه	۲-۷
۹۵	ترم مبتنی بر لبه	۳-۷

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۴- بررسی معیار DSC برای الگوریتم پیشنهادی.....	۷۵
جدول ۲-۴- معیار کمی فاصله هاسدورف برای لایه‌های تقطیع شده.....	۷۶
جدول ۳-۴- معیار میانگین ضخامت.....	۷۸
جدول ۴-۴- مقدار میانگین ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر OCT در حالت نرمال و غیر نرمال.....	۸۰

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- ساختار چشم..... ۳
- شکل ۲-۱- چگونگی خروج مایع از اتاق قدامی..... ۴
- شکل ۳-۱- (الف) دید نرمال، (ب) دید فرد مبتلا به آب‌سیاه..... ۴
- شکل ۴-۱- تغییرات ONH در اثر بیماری آب‌سیاه..... ۵
- شکل ۵-۱- مقایسه رنج به کارگیری تصویربرداری OCT نسبت به سایر تکنیک‌های استاندارد..... ۸
- شکل ۶-۱- لایه‌های درونی شبکیه و نمای دو بعدی از چشم [۳]..... ۹
- شکل ۷-۱- چگونگی شکل‌گیری تصویر بر روی شبکیه..... ۱۰
- شکل ۱-۲- هیستوگرام یک تصویر دو قله‌ای..... ۱۷
- شکل ۲-۲- نواحی مختلف دیسک نوری در تصویر OCT [۲۹]..... ۲۳
- شکل ۳-۲- بخش‌های مختلف دیسک نوری [۲۹]..... ۲۳
- شکل ۴-۲- ناحیه Rim و تغییرات ناحیه کاپ در اثر بیماری آب‌سیاه..... ۲۳
- شکل ۵-۲- روند تغییرات نسبت CDR در اثر بیماری آب‌سیاه..... ۲۳
- شکل ۶-۲- اندازه‌گیری CDR در تصویر شبکیه..... ۲۳
- شکل ۷-۲- تفاوت بین دیسک مبتلا به آب‌سیاه و دیسک سالم..... ۲۴
- شکل ۸-۲- نواحی آلفا و بتا..... ۲۴
- شکل ۹-۲- درجه بندی PPA براساس مقیاس..... ۲۵
- شکل ۱۰-۲- خونریزی در ناحیه Inferior-Temporal..... ۲۵
- شکل ۱۱-۲- مثالی از focal notching of the rim..... ۲۶
- شکل ۱۲-۲- ضخامت Rim در نواحی Nasal و Temporal, Inferior, Superior..... ۲۶
- شکل ۱۳-۲- مثالی از عدم تقارن داخل چشم ناحیه کاپ دیسک‌نوری، سمت چپ: چشم با نسبت CDR کوچک، سمت راست: چشم با CDR بزرگ..... ۲۷
- شکل ۱۴-۲- مثالی از آسیب دیدگی RNFL..... ۲۸
- شکل ۱۵-۲- زوایای انشعاب اول و دوم در عروق شبکیه..... ۲۸

- شکل ۲-۱۶- لایه‌های مختلف شبکه در یک تصویر OCT [۳۷]..... ۲۹
- شکل ۲-۱۷- دسته بندی روش‌های مختلف شناسایی لایه RNFL..... ۳۰
- شکل ۲-۱۸- دسته بندی روش‌های مختلف حذف نویز از تصاویر OCT..... ۳۵
- شکل ۲-۱۹- دسته بندی روش‌های مختلف شناسایی دیسک نوری..... ۳۶
- شکل ۲-۲۰- مثالی از منحنی و سطوح هم‌تراز متناظر آن. در سطر اول سمت چپ منحنی اولیه و در سمت راست بازنمایی سطح هم‌تراز آن نشان داده شده است..... ۵۰
- شکل ۲-۲۱- نمایش سطوح تراز در مدل سطوح هم‌تراز [۳]..... ۵۱
- شکل ۳-۱- فلوجارت روش پیاده سازی شده برای تقطیع کاپ و دیسک‌نوری [۱۴۰]..... ۶۰
- شکل ۳-۲- مراحل مختلف تخمین موقعیت دیسک‌نوری..... ۶۱
- شکل ۳-۳- مراحل مختلف شناسایی دیسک‌نوری بر روی کانال قرمز تصویر اصلی..... ۶۲
- شکل ۳-۴- مراحل تقطیع کاپ و مقایسه نتیجه نهایی با نتیجه تقطیع پزشک..... ۶۴
- شکل ۳-۵- نمونه‌ای از نتایج تقطیع تصاویر شبکه..... ۶۵
- شکل ۳-۶- نمایش وریدها و شریان‌ها و مشکلات موجود در تقطیع عروق شبکه..... ۶۶
- شکل ۳-۷- نواحی انتخاب شده توسط پزشک برای استخراج زاویه باز شدگی شریان از شاخه اصلی..... ۶۶
- شکل ۳-۸- مراحل پیش‌پردازش و تقطیع تصویر OCT..... ۶۸
- شکل ۳-۹- نمونه‌ای از نتایج تقطیع با استفاده از روش پیشنهادی..... ۷۱
- شکل ۴-۱- نمونه‌ای از تصاویر بانک تصویر ایجاد شده..... ۷۴
- شکل ۴-۲- نمودار معیار DSC برای تصاویر OCT..... ۷۵
- شکل ۴-۳- نمودار معیار HD برای لایه INFL تصاویر OCT..... ۷۶
- شکل ۴-۴- نمودار معیار HD برای لایه ONFL تصاویر OCT..... ۷۶
- شکل ۴-۵- میانگین ضخامت لایه RNFL در تصاویر نرمال تقطیع شده و تصاویر نرمال برچسب زده شده توسط پزشک..... ۷۷
- شکل ۴-۶- میانگین ضخامت لایه RNFL در تصاویر غیر نرمال تقطیع شده و تصاویر غیر نرمال برچسب زده شده توسط پزشک..... ۷۷
- شکل ۴-۷- میانگین ضخامت لایه RNFL در تصاویر نرمال و غیر نرمال برچسب زده شده توسط پزشک..... ۷۸
- شکل ۴-۸- میانگین لایه RNFL در تصاویر نرمال و غیر نرمال تقطیع شده..... ۷۸
- شکل ۴-۹- ضخامت لایه RNFL، در نواحی مختلف، در دو حالت نرمال و غیر نرمال، در تصاویر تقطیع شده..... ۷۹
- شکل ۴-۱۰- ضخامت لایه RNFL، در نواحی مختلف، در دو حالت نرمال و غیر نرمال، در تصاویر برچسب زده شده توسط پزشک..... ۷۹
- شکل ۵-۱- نمایی از یک تصویر OCT..... ۸۳



۱- مقدمه

۱-۱- مقدمه

بیماری‌های تخریب کننده شبکیه مانند AMD^۱، رتینوپاتی دیابتی، آب‌سیاه و ... به عنوان علل عمده نابینایی غیر قابل بازگشت در جهان شناخته می‌شوند. گلوکوم^۲ یا آب‌سیاه اصطلاحی است که برای توصیف دسته‌ای از بیماری‌های چشم به کار برده می‌شود که با تخریب عصب بینایی همراه است. آب‌سیاه اولین عامل «نابینایی قابل پیشگیری» و دومین دلیل «نابینایی برگشت‌ناپذیر» در سراسر جهان می‌باشد. براساس آمار جهانی حدود ۱۶۱ میلیون کم‌بینا و ۳۷ میلیون نابینا در جهان زندگی می‌کنند و آب‌سیاه عامل ۱۲,۳٪ بار جهانی نابینایی را تشکیل می‌دهد. بار جهانی منتسب به آب‌سیاه در کشورهای در حال توسعه و در افراد میان‌سال بارزتر می‌باشد. رقم جهانی آب‌سیاه تا سال ۲۰۱۰ حدود ۶۰,۵ میلیون و تا سال ۲۰۲۰ حدود ۷۹,۶ میلیون برآورد شده است. همچنین شیوع نابینایی یک طرفه ناشی از آب‌سیاه ۸,۴ میلیون نفر تا سال ۲۰۱۰ و ۱۱ میلیون نفر تا سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی شده است. بار اقتصادی حاصل از مراقبت‌های پزشکی آب‌سیاه رو به افزایش می‌باشد و چالش روز افزون دیگر توجه به نحوه توزیع مراقبت‌های پزشکی در سطح جهان می‌باشد. نتایج مطالعه در چهار کشور اروپایی ایتالیا، فرانسه، آلمان و انگلیس، حاکی از آن است که هزینه درمان یک فرد مبتلا به افزایش فشار چشمی ۳۰۰ دلار، مبتلا به آب‌سیاه ۳ هزار دلار و افراد تحت درمان ۹ هزار دلار در سال است. از آنجا که جمعیت مسن و نیازمند به مراقبت‌های آب‌سیاه در حال افزایش می‌باشد، پیش‌بینی می‌شود که هزینه‌های پزشکی ناشی از آب‌سیاه بیش از پیش افزایش یابد [۱].

آب‌سیاه باعث اختلال در شبکیه و تخریب سر عصب بینایی می‌گردد، که با از دست رفتن تدریجی سلول‌های ganglion شبکیه و تخریب آکسون‌های عصب نوری در ارتباط می‌باشد. تخریب عصب بینایی منجر به افزایش فشار داخلی چشم (IOP^۳) می‌شود. علاوه بر فاکتور افزایش فشار داخلی چشم، عواملی چون افزایش سن، نژاد (نژاد سیاه‌پوست در معرض ابتلا بیشتری قرار دارند)، سابقه خانوادگی آب‌سیاه، نزدیک‌بینی و فشارخون غیرطبیعی نیز بر روی ابتلا به این بیماری مؤثرند. درمان موفقیت‌آمیز آب‌سیاه به شدت وابسته به تشخیص زودهنگام این بیماری است. برآورد می‌شود که حدود دو میلیون نفر در ایران مبتلا به آب‌سیاه باشند و حدود ۵ تا ۱۰ میلیون نفر در معرض ابتلا به این بیماری قرار دارند. این بیماری در افراد بالای ۴۰ سال شایع‌تر بوده و با افزایش سن، شیوع آن بیشتر می‌شود. همچنین شیوع آن در

^۱ - Age-related Macular Degeneration

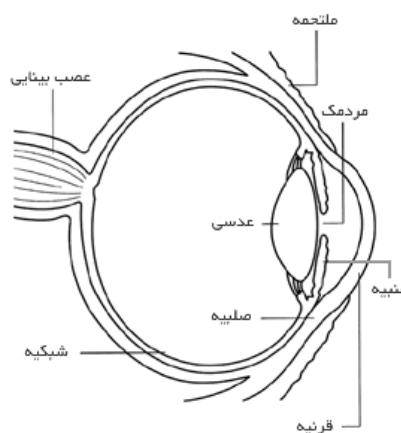
^۲ - Glaucoma

^۳ - Intra Ocular Pressure

مردان، آمریکاییان و آسیایی‌ها بیشتر است. در حال حاضر درمانی برای آب‌سیاه وجود ندارد زیرا هیچ نشانه هشداردهنده زودهنگامی ندارد که بتوان با استفاده از آن، بیماری را شناسایی و از پیشرفت آن جلوگیری نمود [۲]. در ادامه به تبیین موارد فوق و بررسی ساختار داخلی چشم و روش‌های تصویربرداری مختلف از چشم پرداخته می‌شود.

۲-۱- عصب بینایی

بیش از یک میلیون رشته عصبی که بصورت دسته‌ای از رشته‌ها گرد هم آمده‌اند، عصب بینایی را تشکیل می‌دهند. عصب بینایی، شبکه (پرده نازک حساس به نور در قسمت عقب کره چشم) را به مغز متصل می‌کند (شکل ۱-۱). برای داشتن دید خوب، سالم بودن عصب بینایی ضروری است.

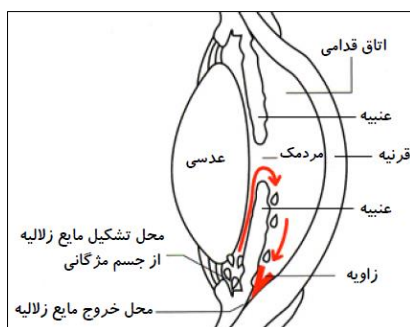


شکل ۱-۱- ساختار چشم

۳-۱- تأثیر آب‌سیاه بر عصب بینایی

در بسیاری از افراد افزایش فشار داخل چشم سبب آب‌سیاه می‌شود. در جلوی چشم، فضایی وجود دارد که «اتاق قدامی» خوانده می‌شود، مایع شفاف همواره وارد این فضا شده و از آن خارج می‌شود که وظیفه تغذیه بافت‌های مجاور را به عهده دارد. به محلی که مایع از اتاق قدامی خارج می‌شود اصطلاحاً «زاویه» گفته می‌شود که محل تلاقی قرنیه و عنبیه است (شکل ۲-۱). زمانی که مایع به زاویه می‌رسد از طریق یک شبکه اسفنجی شکل، شبیه یک سیستم زه‌کشی، از چشم خارج می‌شود. آب‌سیاه زاویه باز عبارت است از یک نوع بیماری مزمن چشم، که در آن مایعی که به‌طور طبیعی به چشم وارد و از آن خارج می‌شود به تدریج در چشم گیر می‌افتد. این تجمع مایع در چشم موجب افزایش فشار چشم و آسیب رسیدن به عصب بینایی و درجاتی از نابینایی می‌شود، مگر آنکه فشار چشم پایین آورده شود. آب‌سیاه زاویه باز از آنجا به این نام خوانده می‌شود که زاویه‌ای که مایع از آن خارج می‌شود «باز» است. افرادی که در معرض خطر ابتلا به آب‌سیاه قرار دارند:

- افراد بالای ۴۰ سال
- افراد با نزدیک بینی بالا
- مبتلایان به بیماری قند
- کسانی که در خانواده‌شان سابقه این بیماری وجود دارد



شکل ۱-۲- چگونگی خروج مایع از اتاق قدامی

۴-۱- علائم بیماری آب‌سیاه

آب‌سیاه زاویه باز در ابتدا علامت خاصی ندارد. دید طبیعی بوده و دردی وجود ندارد و گاهی تا مدت‌ها وجود دارد بدون آنکه علامتی داشته باشد. با ادامه یافتن بیماری، بیمار متوجه می‌شود که هر چند اشیایی را که جلوی قرار دارند خوب می‌بیند ولی اشیایی را که در کنار قرار داشته و باید از گوشه چشم به آنها نگاه کند، به خوبی نمی‌بیند. بیمار مبتلا به آب‌سیاه در صورت عدم درمان، ممکن است ناگهان متوجه شود که «دید کناری» ندارد. درست مانند اینکه از درون یک لوله به اطراف نگاه می‌کند (شکل ۱-۳). ادامه یافتن بیماری ممکن است سبب از بین رفتن دید باقی‌مانده، حتی در مرکز میدان بینایی، شده و بیمار کور شود. آب‌سیاه مزمن، برعکس آب‌سیاه حاد، معمولاً درد ایجاد نمی‌کند. این بیماری در تمام سنین می‌تواند به وجود آید، اما در افراد بالای ۴۰ سال شایع‌تر است. علائم این بیماری عبارتند از:

مراحل اولیه:

- از دست رفتن دید محیطی در نواحی کوچک از میدان دید
- افزایش فشار چشم
- تاری دیدی در یک طرف در سمت بینی میدان دید

مراحل پیشرفته:

- افزایش نسبت کاپ به دیسک
- بزرگ‌تر شدن نواحی از دست رفتن دید، معمولاً در هر دو چشم
- سفت شدن کره چشم
- کاهش دید محیطی و به تدریج کاهش دید مرکزی

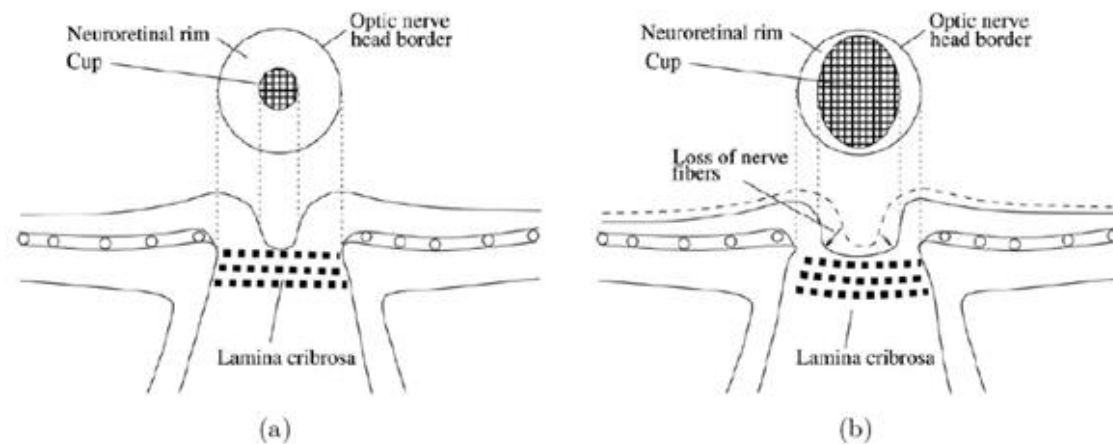


شکل ۱-۳- (الف) دید نرمال، (ب) دید فرد مبتلا به آب‌سیاه

۵-۱- تشخیص بیماری آبسیاه

بسیاری تصور می‌کنند که در صورتی مبتلا به آبسیاه هستند که فشار چشمشان بالا باشد اما همیشه چنین نیست. فشار بالای چشم خطر ابتلا به آبسیاه را افزایش می‌دهد. بالا بودن فشار چشم الزاما به معنای ابتلا به آبسیاه نیست. ابتلا یا عدم ابتلا به آبسیاه بر اثر بالا بودن فشار چشم، بستگی به میزان تحمل عصب بینایی در مقابل فشار بالای چشم دارد و این میزان در افراد مختلف متفاوت است. هر چند فشار طبیعی معمولاً بین ۱۲ تا ۲۱ میلی‌متر جیوه است، ولی حتی در این فشار ممکن است شخص به آبسیاه مبتلا باشد و این نشان می‌دهد که معاینه چشم اهمیت بسیار زیادی دارد.

دو مورد از مهم‌ترین بیماری‌های مرتبط با شبکیه، شامل بیماری آبسیاه و مشکلات شبکیه ناشی از دیابت^۱ می‌باشد. نشانه بیماری آبسیاه، گودالی شدن^۲ عصب بینایی و از دست رفتن میدان دید می‌باشد. دهانه عصب بینایی (ONH^۳) بخشی است که عصب بینایی را به شبکیه متصل می‌نماید و ساختار دو بعدی آن دیسک بینایی^۴ نام دارد و تأثیرات بیماری آبسیاه در این محدوده از شبکیه ظاهر می‌گردد. این تغییرات در (شکل ۴-۱) نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۱- تغییرات ONH در اثر بیماری آبسیاه: (a) ONH نرمال، (b) ONH بعد از بیماری آبسیاه

مشکلات شبکیه ناشی از دیابت نیز از بیماری‌های منجر به نابینایی بوده ولی با تشخیص زود هنگام و معاینات سالیانه می‌توان از عواقب آن جلوگیری نمود.

چشم پزشک برای تشخیص آبسیاه باید معاینات زیر را انجام دهد:

- بررسی حدت بینایی (Visual Acuity): در این تست که با استفاده از چارت‌های بینایی انجام می‌شود بینایی بیمار در فواصل متفاوت مشخص می‌شود. حدت بینایی در مراحل پیشرفته آبسیاه کاهش می‌یابد.
- تونومتری^۵: در این تست فشار مایع داخل چشم اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری فشار داخلی چشم در تشخیص آبسیاه نقش اساسی دارد. فشار چشم در بیماران مبتلا به آبسیاه مزمن که درمان نشده‌اند، معمولاً

¹ - Diabetic Retinopathy

² - Cupping

³ - Optic Nerve Head

⁴ - Optic Disc

⁵ - Tonometry

بین ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر جیوه افزایش می‌یابد که معمولاً به دلیل افزایش مقاومت در برابر خروج زلالیه و اشکال در شبکه تراپکولار است. فشار داخلی چشم یکی از عوامل قابل کنترل (با درمان دارویی) جهت پیشگیری از پیشرفت آب‌سیاه می‌باشد. ابزارهای متفاوتی برای اندازه‌گیری فشار چشم وجود دارد که عبارتند از: تونومتر گلدمن، تونومتر شیوتز و تونومتر الکترونیک (تونوپن). اکنون ابزار رایج برای اندازه‌گیری فشار چشم تونومتر گلدمن است که بر روی دستگاه اسلیت لمپ سوار می‌شود.

- **اتساع مردمک:** در این تست با استفاده از قطره مردمک چشم بیمار باز می‌شود و بدین ترتیب چشم پزشک دید بهتری برای معاینه عصب بینایی پیدا می‌کند. بعد از معاینه ممکن است دید نزدیک تا چند ساعت تار باشد. از این روش برای اندازه‌گیری ضخامت بخش مرکزی قرنیه استفاده می‌شود. ضخامت بخش مرکزی قرنیه کمتر از ۵۵۵ میکرومتر یک عامل خطر برای ابتلا به آب‌سیاه محسوب می‌شود.

تست‌های تشخیصی خاص بیماری آب‌سیاه عبارتند از:

- **پریمتری برای تست میدان بینایی:** در این تست دید کناری (محیطی) بیمار اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به اینکه از دست دادن دید کناری یکی از علائم آب‌سیاه است، این تست به تشخیص بیماری کمک می‌کند. پریمتری بهترین روش برای بررسی عملکرد بینایی و اندازه‌گیری میدان بینایی است. در بیماران مبتلا به آب‌سیاه در مراحل اولیه، ابتدا دید محیطی آسیب می‌بیند و در مراحل پیشرفته، بیمار اصطلاحاً دید تونلی پیدا می‌کند و با پیشرفت بیشتر بیماری، حدت بینایی (دید مرکزی) نیز کاهش می‌یابد.

- **روش‌های تصویربرداری ضخامت لایه فیبر عصبی شبکیه و عصب بینایی:** برای نمونه می‌توان به روش‌های OCT، HRT^۱ و GDx اشاره کرد. OCT در اندازه‌گیری ضخامت لایه عصبی شبکیه مورد استفاده قرار می‌گیرد، همچنین با این روش می‌توان ماکولا را مورد بررسی قرار داد. مزیت مهم این روش، عدم نیاز به اتساع مردمک بیمار است. با انجام HRT می‌توان تصویر سه بعدی از عصب بینایی و شبکیه را جهت بررسی میزان آسیب به لایه فیبر عصبی شبکیه بدست آورد.

اخذ تصاویر در فواصل زمانی معین از بیمار و ثبت این تصاویر، امکان مطالعه روند تغییرات الگوها و مراحل مختلف چگونگی پیشرفت بیماری بر روی شبکیه را فراهم می‌سازد. بیش از نیمی از مبتلایان به آب‌سیاه (در کشورهای پیشرفته ۵۰٪ و در کشورهای در حال توسعه ۹۰٪)، از بیماری خود اطلاعی ندارند. پیشرفت‌های طبی و جراحی، پزشکان را قادر ساخته است تا با تشخیص و درمان به موقع آب‌سیاه از عوارض ناشی از بیماری در بسیاری از مبتلایان جلوگیری کنند. در گذشته یکی از اصلی‌ترین معیارهای غربالگری و تشخیص آب‌سیاه اندازه‌گیری فشار چشم بود. اما باید در نظر داشت بیماری آب‌سیاه حتی در فشار طبیعی چشم نیز می‌تواند ایجاد شود. بنابراین بررسی معیار اندازه‌گیری فشار چشم، به تنهایی برای تشخیص آب‌سیاه کافی نیست. با توجه به اینکه در شروع این بیماری، تغییراتی در عصب بینایی رخ می‌دهد و سپس نقص میدان بینایی ایجاد می‌شود، بررسی و معاینه عصب بینایی برای غربالگری و تشخیص آب‌سیاه، روش مناسب‌تر و مطمئن‌تری می‌باشد. بنابراین با وجود امکان تصویربرداری از عصب بینایی و لایه فیبر عصبی شبکیه، امکان تشخیص دقیق و زودهنگام آب‌سیاه وجود دارد. غربالگری آب‌سیاه شامل دو روش است: غربالگری عام (تمام

^۱ - Heidelberg Retinal Tomography

جمعیت) و غربالگری جمعیت در معرض خطر. غربالگری عام، در حال حاضر با توجه به شیوع آب‌سیاه در جمعیت جوان و با در نظر گرفتن جنبه‌های هزینه-اثر بخشی آن، در ایران توصیه نشده است. غربالگری جمعیت در معرض خطر، شامل مبتلایان به دیابت و سابقه خانوادگی آب‌سیاه در بستگان درجه اول همچون در بیماران که نزدیک‌بینی یا دوربینی شدید دارند می‌باشد. چون آسیب دید مرکزی در مراحل پیشرفت آب‌سیاه اتفاق می‌افتد توصیه می‌شود افراد در معرض خطر حداقل سالی یک بار جهت معاینات چشمی به متخصص مراجعه نمایند. برای غربالگری در مرحله اولیه معاینات تونومتری و معاینه سر عصب بینایی با کمک آفتالموسکوپ^۱ انجام می‌شود.

۶-۱- درمان بیماری آب‌سیاه

معاینات چشم پزشکی بهترین راه تشخیص آب‌سیاه است. اندازه‌گیری فشار چشم به تنهایی برای تشخیص آب‌سیاه کافی نیست، تنها راه اظهارنظر قطعی درباره آب‌سیاه معاینه کامل چشم است که شامل اندازه‌گیری فشار داخل چشم، معاینه زاویه چشم و سر عصب بینایی و بررسی میدان بینایی می‌باشد. هر چند آب‌سیاه علاج قطعی ندارد ولی درمان‌های رایج، بیماری را کنترل می‌کنند و این تأییدی بر اهمیت تشخیص و درمان زودرس است. بیشتر چشم پزشکان آب‌سیاهی را که تازه تشخیص داده شده است را با دارو درمان می‌کنند. تحقیقات جدید نشان داده است که جراحی با لیزر، جایگزینی مطمئن و مؤثر است. روش‌های درمانی آب‌سیاه شامل موارد زیر است:

- درمان دارویی

- جراحی با لیزر

۷-۱- انواع دیگر آب‌سیاه

هر چند آب‌سیاه زاویه باز شایع‌ترین نوع این بیماری است ولی آب‌سیاه انواع دیگری نیز دارد. چهار نوع اصلی آب‌سیاه وجود دارد: زاویه باز اولیه، زاویه بسته اولیه، ثانویه و آب‌سیاه کودکان.

- در آب‌سیاه با فشار طبیعی یا پایین، تخریب عصب بینایی و محدود شدن دید کناری بصورت غیر منتظره‌ای در افرادی رخ می‌دهد که فشار چشمشان طبیعی است. در درمان این بیماران از همان روش‌های درمان آب‌سیاه زاویه باز استفاده می‌شود.
- در آب‌سیاه زاویه بسته مایعی که در قسمت جلوی چشم قرار دارد به دلیل مسدود شدن زاویه توسط قسمتی از عنبیه (قسمت رنگی چشم) راهی به زاویه نداشته و نمی‌تواند از چشم خارج شود. در این بیماران یک افزایش ناگهانی در فشار چشم دیده می‌شود. علائم این نوع آب‌سیاه شامل درد شدید، تهوع، قرمزی چشم و تاری دید است. آب‌سیاه زاویه بسته یک مورد اورژانس است و بیمار باید سریعاً درمان شود. در صورت عدم درمان، بیمار ممکن است ظرف ۱ یا ۲ روز کور شود. جراحی لیزری فوری بطور معمول انسداد را برطرف کرده و بیمار را از کوری نجات می‌دهد.
- در آب‌سیاه مادرزادی، کودک به دلیل وجود یک نقص مادرزادی در زاویه به آب‌سیاه مبتلاست. کودکان مبتلا معمولاً علائم واضحی نظیر چشم‌های کدر^۲، حساسیت به نور، و اشک‌ریزش شدید دارند. درمان معمولاً

^۱ - Ophthalmoscopy

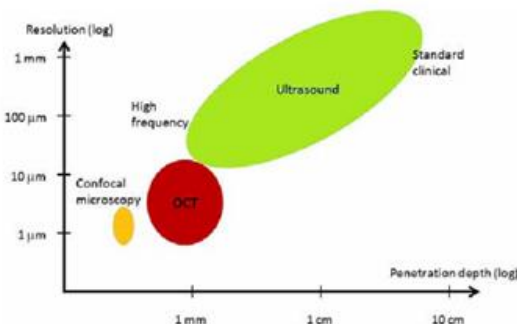
^۲ - Cloudy Eye

بصورت جراحی صورت می‌گیرد زیرا داروهای ضد آب‌سیاه ممکن است اثرات نامشخصی بر روی شیرخواران داشته باشند و همچنین تجویز این داروها در این بیماران مشکل است. در صورتیکه جراحی بلافاصله پس از تشخیص انجام شود این کودکان شانس بسیار بالایی برای داشتن یک دید خوب خواهند داشت.

- آب‌سیاه ثانویه می‌تواند عارضه‌ای از بیماری‌های دیگر باشد. این نوع آب‌سیاه بعضی اوقات ناشی از جراحی چشم یا کاتاراکت پیشرفته، آسیب‌های چشمی، بعضی تومورهای چشمی، یا یووئیت (التهاب چشم) باشد. یکی از انواع به نام آب‌سیاه رنگدانه‌ای^۱ زمانی رخ می‌دهد که رنگدانه‌ها بصورت فلس از عنبیه جدا شده و با انسداد شبکه خروج مایع چشمی، مانع عبور آن شوند. نوع شدیدی از آب‌سیاه نیز به نام آب‌سیاه نئوواسکولار^۲ با دیابت مرتبط است. همچنین، داروهای کورتیکواستروئیدی (دارای کورتون) که در درمان التهاب‌های چشمی و دیگر بیماری‌ها کاربرد دارند نیز می‌توانند در درصد کمی از بیماران سبب شروع آب‌سیاه شوند.

۸-۱- تصویربرداری OCT

بررسی دقیق شبکه برای تشخیص بیماری‌های این اندام، نیازمند نوعی تصویرگیری دقیق از لایه‌های تشکیل دهنده آن می‌باشد. روش تصویربرداری OCT^۳، یک روش غیر تهاجمی^۴ نسبتاً جدید است که با استفاده از تصویربرداری عمقی لایه‌های سلولی شبکه را بازنمایی کرده و در درمان بیماری‌های چشمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش تصویربرداری برای تشخیص بیماری‌های مختلف شبکه مانند AMD^۵، رتینوپاتی و آب‌سیاه مورد استفاده واقع می‌شود. این تز روش جدیدی را برای تقطیع لایه‌های شبکه در تصویر OCT بیان می‌کند، که نقش مهمی را در درمان بیماری‌های چشمی ایفا می‌کند. شکل ۵-۱ رنج کاری تصویرگیری OCT را با تکنیک‌های استاندارد دیگر مقایسه می‌نماید.



شکل ۵-۱- مقایسه رنج به کارگیری تصویربرداری OCT نسبت به سایر تکنیک‌های استاندارد

همانگونه که قبلاً گفته شد تشخیص کلینیکال بیماری آب‌سیاه شامل: اندازه‌گیری فشار داخلی چشم (IOP) از طریق تونومتری، معاینه سر عصب بینایی از طریق آفتالموسکوپ و optic disc stereo biomicroscopy است. مؤلفه‌های

^۱ - Pigmentary Glaucoma

^۲ - Neovascular Glaucoma

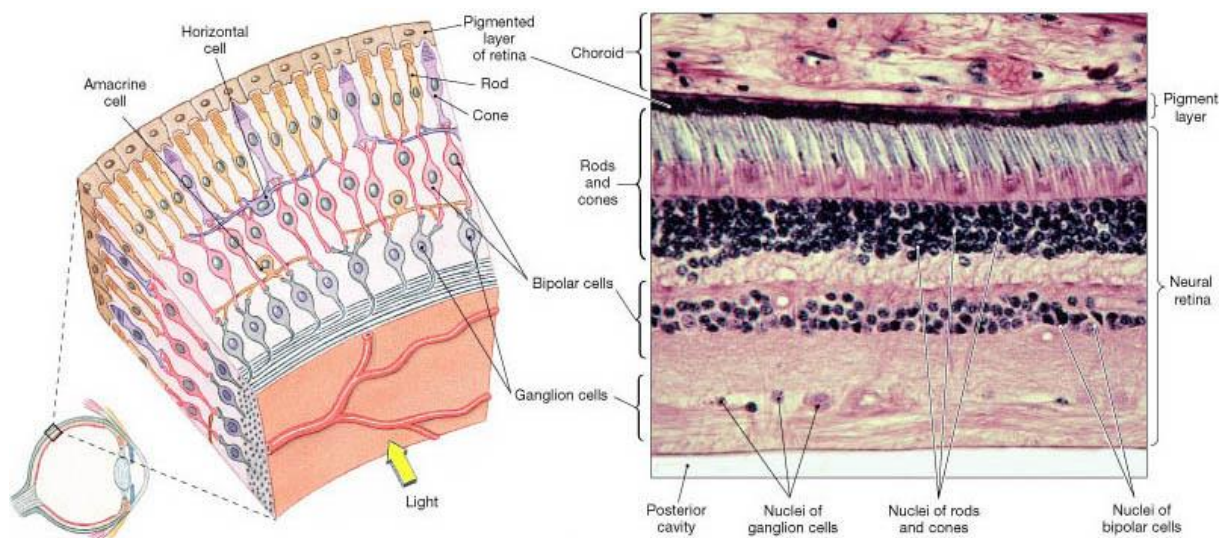
^۳ - Optical Coherence Tomography

^۴ - non-invasive

^۵ - Agerelated Macular Degeneration

کلیدی دیگر شامل معاینه زاویه اتاق قدامی^۱ با استفاده از شکاف سگمان قدامی^۲ یا gonioscopy، ارزیابی لایه RNFL با استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری مانند GDx و Confocal scanning laser ophthalmoscopy و HRT و OCT. در میان روش‌های تصویربرداری مورد استفاده در تشخیص بیماری‌های چشمی، روش تصویربرداری OCT تصاویر با رزولوشن بالاتری را فراهم می‌کند، همچنین این روش، اولین روش تصویربرداری است که زیرساخت‌های شبکیه را به تصویر می‌کشد. به علاوه تصویر OCT می‌تواند اطلاعات سه بعدی از ساختار شبکیه مانند ضخامت لایه‌ها را ارائه کند. در این شیوه نیاز به تزریق نیست. نور مخصوصی به چشم تابانده شده و پس از برخورد به شبکیه به لایه‌های آن نفوذ می‌کند و تصویر دقیق، شبیه به یک برش آناتومیک از شبکیه بدست می‌دهد. بافت شبکیه چشم یک ساختار چند لایه‌ای است که با ساختاری مرکب از چندین لایه سلولی، بخش خلفی حفره چشم را در بر گرفته است (مطابق شکل ۶-۱) و مسئول تبدیل انرژی نورانی به سیگنال‌های عصبی برای تحلیل نهایی توسط مغز می‌باشد. بنابراین شبکیه چشم که از چندین لایه از سلول‌های عصبی به هم پیوسته شده توسط سیناپس تشکیل شده است، این لایه‌ها براساس (شکل ۶-۱) شامل موارد زیر می‌باشند:

۱	Internal Limiting Membrane (ILM)	۸	Outer Limiting Membrane (OLM)
۲	Nerve Fiber Layer (NFL)	۹	Inner Segment Layer (ISL)
۳	Ganglion Cell Layer (GCL)	۱۰	Connecting Cilia (CL)
۴	Inner Plexiform Layer (IPL)	۱۱	Outer Segment Layer (OSL)
۵	Inner Nuclear Layer (INL)	۱۲	Verhoeff's Membrane (VM)
۶	Outer Plexiform Layer (OPL)	۱۳	Retinal Pigment Epithelium (RPE)
۷	Outer Nuclear Layer (ONL)	۱۴	Bruch's Membrane (BM) And Other Layers



شکل ۶-۱- لایه‌های درونی شبکیه و نمای دو بعدی از چشم [۳]

^۱ - Anterior-Chamber Angle Examination

^۲ - Anterior Segment Slit Lamp Biomicroscopy