



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی – بیوالکتریک

تشخیص و طبقه‌بندی سرطان سینه بر اساس شبکه‌های عصبی کانولوشن

توسط:

رضا راستی بروجنی

استاد راهنما:

آقای دکتر محمد تشنه‌لب

آقای دکتر رضا جعفری

پاییز ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیم ساخته تا دسیه‌ی درخت پر بار وجودشان
بسیایم و از ریشه‌ی آنها شاخ و برگ گیرم و از سیه‌ی وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی
که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود پس از پروردگار
مایه‌ی هستی ام بوده اند، دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگاران که
برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند.

به پاس تعبیر غلیم و انسانی‌شان از کلمه‌ی شار و از خودگذشتگی،
به پاس عاطفه‌ی سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است،
به پاس قلب‌های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید،
و به پاس محبت‌های بی‌دیغشان که هرگز فروکش نمی‌کند،

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزتر از جانم تقدیم می‌کنم...

تأییدیه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه‌ی آقای: **رضا راستی بروجنی**
را با عنوان:

تشخیص و طبقه‌بندی سرطان سینه بر اساس شبکه‌های عصبی کانولوشن

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه‌ی کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	آقای دکتر محمد تشنه‌لب	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم	آقای دکتر رضا جعفری	استادیار	
۳- استاد ممتحن داخلی	آقای دکتر داوود آسمانی	استادیار	
۴- استاد ممتحن خارجی	آقای دکتر رضا ابراهیم‌پور	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر داوود آسمانی	استادیار	

اظهارنامه دانشجو

اینجانب **رضا راستی بروجنی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **مهندسی پزشکی** گرایش **بیوالکتریک** دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان **تشخیص و طبقه‌بندی سرطان سینه بر اساس شبکه‌های عصبی کانولوشن** با راهنمایی اساتید محترم جناب آقایان **دکتر محمد تشنه‌لب** و **دکتر رضا جعفری**، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده، اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده‌ی آن می‌باشد. هر گونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه‌ی دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

شکر شایان ثناء ایند منان که توفیق را رفیق را هم ساخت تا این پایان نامه را به اتمام رسانم. از اساتید گرامی جناب آقایان دکتر محمد تشنوب و دکتر رضا جعفری که قبول زحمت فرمودند و به عنوان اساتید راهنما، همواره بخارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

سرطان سینه دومین علت عمده‌ی مرگ و میر ناشی از سرطان در زنان امروز است. تشخیص زودهنگام سرطان سینه یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین مراحل درمان برای زنان مبتلا به تومورهای بدخیم می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که در بین روش‌های مختلف تصویربرداری پزشکی از جمله ماموگرافی، توموگرافی، سونوگرافی و غیره، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی با کنتراست بهبودیافته، حساس‌ترین روش برای غربالگری زنان در معرض خطر بالا می‌باشد.

امروزه سیستم‌های تشخیص به کمک کامپیوتر، برای کمک به رادیولوژیست‌ها و پزشکان در تشخیص زود هنگام سرطان، طراحی و استفاده می‌شوند. از آنجا که تشخیص بیماری‌های سرطان و طبقه‌بندی آن‌ها وابسته به دانش و تجربه‌ی پزشک است، در این پژوهش سعی شده است تا با توجه به دقت و حساسیت بالای تصویربرداری DCE-MRI از یک سو و مدلسازی دانش و مهارت پزشکان از سوی دیگر، یک سیستم CAD بر اساس شبکه‌های عصبی کانولوشن سلسله مراتبی (CNN) برای ایجاد تمایز بین تومورهای بدخیم و خوش‌خیم در تصاویر DCE-MR سینه پیشنهاد گردد. CNN یک شبکه‌ی سلسله مراتبی عصبی است که بر روی تصاویر دو بعدی اعمال می‌شود و فرآیندهای استخراج ویژگی و طبقه‌بندی را در یک ساختار واحد و کاملاً تطبیقی ادغام می‌کند. این ساختار می‌تواند ویژگی‌های دو بعدی ضروری و کلیدی را به صورت خودکار استخراج نموده و نسبت به اعوجاجات هندسی و محلی در تصاویر ورودی مقاوم است.

بکارگیری شبکه‌ی عصبی کانولوشن و همچنین طراحی و استفاده از ساختار ترکیب خبره‌های کانولوشن (Mixture of CNN Experts) در تصاویر DCE-MR سینه جهت تشخیص نوع تومور، جزء نوآوری‌های این تحقیق به شمار می‌آیند.

شبیه‌سازی شبکه‌ی عصبی کانولوشن پیشنهادی برای ۱۲۰۰ عدد ROI حاوی تومور خوش‌خیم و بدخیم، بهترین نتایج را در مرحله تست برای حساسیت ۹۶/۶۷٪، برای خصوصیت ۱۰۰٪ و برای صحت ۹۸/۳۳٪، رقم زد. سیستم پیشنهادی با استفاده از ساختار ترکیب خبره‌ها (ME) کانولوشن، توانست علی‌رغم کاهش زمان آموزش ساختار عصبی برای رسیدن به عملکردهای قابل قبول، از سویی به نرخ طبقه‌بندی ۱۰۰٪ دست یابد. بر این اساس، نتیجه عملکرد طبقه‌بند ME کانولوشن پیشنهادی در مرحله تست برای حساسیت، خصوصیت و صحت برابر ۱۰۰٪ شد.

کلمات کلیدی: سرطان سینه، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی با کنتراست بهبودیافته، سیستم‌های تشخیص به کمک کامپیوتر، شبکه‌های عصبی کانولوشن سلسله مراتبی، ترکیب خبره‌های کانولوشن.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها.....	د
فهرست شکل‌ها.....	ه
فصل ۱- مقدمه.....	۱
۱-۱- پیشگفتار.....	۱
فصل ۲- سرطان سینه و روش تصویر برداری MRI.....	۹
۱-۲- مقدمه.....	۹
۲-۲- سرطان سینه.....	۱۰
۱-۲-۲- عوامل بروز سرطان سینه.....	۱۱
۲-۲-۲- انواع تومورها در سرطان سینه.....	۱۳
۳-۲-۲- توده‌های خوش‌خیم.....	۱۴
۱-۳-۲-۲- کیست‌ها.....	۱۴
۲-۳-۲-۲- تغییرات فیبروکیستیک.....	۱۴
۳-۳-۲-۲- فیبروآدنوم.....	۱۴
۴-۳-۲-۲- ندولاریتی یا غده‌های شیری سینه.....	۱۵
۵-۳-۲-۲- نکروز چربی.....	۱۵
۴-۲-۲- توده‌های بدخیم.....	۱۵
۳-۲- تصویربرداری MRI.....	۱۶
۱-۳-۲- تاریخچه.....	۱۶
۲-۳-۲- طرز کار MRI.....	۱۶
۴-۲- ویژگی‌های تومور در تصاویر MR.....	۱۸
۵-۲- جمع‌بندی فصل.....	۱۹
فصل ۳- بررسی روش‌های عصبی هوشمند در زمینه‌ی طبقه‌بندی تصاویر سرطان سینه.....	۲۱
۱-۳- مقدمه.....	۲۱
۲-۳- مروری بر روش‌ها.....	۲۱
۱-۲-۳- معیارهای ارزیابی یک طبقه‌بند.....	۲۲
۲-۲-۳- تکنیک شبکه‌های عصبی برای تشخیص سرطان سینه.....	۲۳

۲۳.....	شبکه‌های عصبی متداول.....	۱-۲-۲-۳
۲۷.....	شبکه‌های عصبی تصویر محور.....	۲-۲-۲-۳
۳۴.....	معرفی روش هوشمند مورد استفاده در این تحقیق.....	۳-۳
۳۵.....	جمع‌بندی فصل.....	۴-۳
۳۷.....	فصل ۴- طراحی و پیاده‌سازی شبکه‌ی عصبی کانولوشن سلسله مراتبی.....	
۳۷.....	مقدمه.....	۱-۴
۳۷.....	پایگاه داده.....	۲-۴
۳۷.....	پیش‌پردازش تصاویر MR و انتخاب ROI.....	۳-۴
۴۰.....	معماری شبکه‌ی عصبی کانولوشن پیشنهادی.....	۴-۴
۴۲.....	مدل ریاضی لایه‌های مختلف CNN.....	۱-۴-۴
۴۲.....	لایه‌ی کانولوشن.....	۱-۱-۴-۴
۴۳.....	لایه‌ی نمونه‌برداری جزئی.....	۲-۱-۴-۴
۴۴.....	لایه‌ی فعال‌ساز خروجی.....	۳-۱-۴-۴
۴۴.....	آموزش شبکه عصبی کانولوشن.....	۲-۴-۴
۴۶.....	محاسبه‌ی گرادیان خطای شبکه‌ی CNN.....	۳-۴-۴
۴۶.....	تعریف حساسیت خطا.....	۱-۳-۴-۴
۴۷.....	محاسبه‌ی حساسیت‌های خطا.....	۲-۳-۴-۴
۴۸.....	محاسبه‌ی گرادیان خطا برای وزن‌ها و بایاس‌ها.....	۳-۳-۴-۴
۵۰.....	الگوریتم‌های آموزشی CNN.....	۴-۴-۴
۵۱.....	نتایج شبیه‌سازی بر اساس ساختار کانولوشن پیشنهادی.....	۵-۴
۵۲.....	نتایج شبیه‌سازی بر اساس گرادیان نزولی.....	۱-۵-۴
۵۷.....	نتایج شبیه‌سازی بر اساس پس‌انتشار عدول شونده.....	۲-۵-۴
۶۳.....	جمع‌بندی فصل.....	۶-۴
۶۵.....	فصل ۵- طراحی و پیاده‌سازی ترکیب خبره‌های شبکه عصبی کانولوشن.....	
۶۵.....	مقدمه.....	۱-۵
۶۵.....	ترکیب خبره‌ها.....	۲-۵
۶۶.....	مدل ریاضی ساختار ترکیب خبره‌ها.....	۱-۲-۵
۶۸.....	ساختار ترکیب خبره‌های کانولوشن.....	۳-۵
۶۹.....	نتایج شبیه‌سازی ساختار خبره‌ی پیشنهادی.....	۴-۵
۷۱.....	جمع‌بندی فصل.....	۵-۵

فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۷۳

۶-۱- جمع‌بندی تحقیقات انجام شده در پروژه ۷۳

۶-۲- پیشنهادات ۷۴

ضمیمه أ- محاسبه روابط آموزش پارامترهای آزاد در شبکه عصبی کانولوشن نمونه ۷۵

قانون یادگیری دلتا..... ۷۶

محاسبه روابط اصلاح پارامترها در لایه خروجی 06..... ۷۶

محاسبه روابط اصلاح پارامترها در آخرین لایه کانولوشن C5..... ۷۷

محاسبه روابط اصلاح پارامترها در لایه نمونه‌برداری جزئی S4..... ۷۸

محاسبه روابط اصلاح پارامترها در لایه کانولوشن C3..... ۷۹

محاسبه روابط اصلاح پارامترها در لایه نمونه‌برداری جزئی S2..... ۸۰

محاسبه روابط اصلاح پارامترها در لایه کانولوشن C1..... ۸۲

ضمیمه ب- محاسبه روابط آموزش پارامترهای آزاد در ساختار ترکیب خبره‌های شبکه عصبی

کانولوشن نمونه..... ۸۳

فهرست مراجع..... ۸۷

واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۹۰

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۲۷	جدول ۳-۱: نتایج تفکیک خوش‌خیمی و بدخیمی بر اساس دو نوع داده‌ی mass و non-mass [۳۵]..
۳۱	جدول ۳-۲: عملکرد طبقه‌بند CNN با تصاویر میانگین‌گیری شده 32×32 [۳۷].....
۳۱	جدول ۳-۳: عملکرد طبقه‌بند CNN با تصاویر میانگین‌گیری شده 16×16 [۳۷].....
۵۰	جدول ۴-۱: الگوریتم‌های آموزشی مورد استفاده برای شبکه‌ی کانولوشن پیشنهادی
۵۲	جدول ۴-۲: جزئیات ساختارهای CNN1 و CNN2
۵۳	جدول ۴-۳: نتایج طبقه‌بندی CNN1 در مرحله‌ی آزمایش
۵۳	جدول ۴-۴: مقایسه صحت طبقه‌بندی CNN1 در مراحل آموزش و آزمایش
۵۴	جدول ۴-۵: نتایج طبقه‌بندی CNN2 در مرحله‌ی آزمایش
۵۴	جدول ۴-۶: مقایسه صحت طبقه‌بندی CNN2 در مراحل آموزش و آزمایش
۵۵	جدول ۴-۷: جزئیات ساختارهای CNN3 و CNN4
۵۵	جدول ۴-۸: نتایج طبقه‌بندی CNN3 در مرحله‌ی آزمایش
۵۵	جدول ۴-۹: مقایسه صحت طبقه‌بندی CNN3 در مراحل آموزش و آزمایش
۵۶	جدول ۴-۱۰: نتایج طبقه‌بندی CNN4 در مرحله‌ی آزمایش
۵۸	جدول ۴-۱۲: جزئیات ساختارهای CNN5 و CNN6
۵۸	جدول ۴-۱۳: نتایج طبقه‌بندی CNN5 در مرحله‌ی آزمایش
۵۸	جدول ۴-۱۴: مقایسه صحت طبقه‌بندی CNN5 در مراحل آموزش و آزمایش
۵۹	جدول ۴-۱۵: نتایج طبقه‌بندی CNN6 در مرحله‌ی آزمایش
۵۹	جدول ۴-۱۶: مقایسه صحت طبقه‌بندی CNN6 در مراحل آموزش و آزمایش
۶۱	جدول ۴-۱۷: جزئیات ساختارهای CNN7 و CNN8
۶۱	جدول ۴-۱۸: نتایج طبقه‌بندی CNN7 در مرحله‌ی آزمایش
۶۱	جدول ۴-۱۹: مقایسه صحت طبقه‌بندی CNN7 در مراحل آموزش و آزمایش
۶۲	جدول ۴-۲۰: نتایج طبقه‌بندی CNN8 در مرحله‌ی آزمایش
۶۲	جدول ۴-۲۱: مقایسه صحت طبقه‌بندی CNN4 در مراحل آموزش و آزمایش
۷۰	جدول ۵-۱: جزئیات ساختار ترکیب خبره‌های پیشنهادی.....
۷۰	جدول ۵-۲: نتایج طبقه‌بندی ساختار ME در مرحله‌ی آزمایش
۷۱	جدول ۵-۳: مقایسه صحت طبقه‌بندی ساختار ME در مراحل آموزش و آزمایش

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۶	شکل ۱-۱: بلوک‌دیاگرام سیستم CAD پیشنهادی
۱۸	شکل ۱-۲: نمونه‌هایی از تومور خوش‌خیم در تصاویر MRI
۱۹	شکل ۲-۲: نمونه‌هایی از تومور بدخیم در تصاویر MRI
۲۳	شکل ۱-۳: منحنی ROC سه طبقه‌بند مختلف
۲۸	شکل ۲-۳: ساختار CNN پیشنهادی برای شناسایی نواحی میکروآهکی‌شده [۳۶]
۲۹	شکل ۳-۳: دو منحنی ROC از عملکرد CNN: (a) برای میکروآهکی شدگی‌های منفرد، $Az = 0/89$ بطور متوسط. (b) برای میکروآهکی شدگی‌های خوشه‌ای، $Az = 0/97$ [۳۶]
۳۰	شکل ۴-۳: ساختار CNN مورد استفاده برای طبقه‌بندی ROI‌ها به ازای ROI‌های میانگین‌گیری شده [۳۷]
۳۲	شکل ۵-۳: ساختار شبکه‌ی CNN بر اساس دو نوع تصویر ROI [۳۷]
۳۳	شکل ۶-۳: نحوه ساخت تصاویر بافت [۳۷]
۳۴	شکل ۷-۳: ساختار CNN پیشنهادی برای طبقه‌بندی ROI‌ها بر اساس تصاویر میانگین‌گیری شده، تصاویر ویژگی میانگین GLDS و تصاویر ویژگی همبستگی SGLD [۳۷]
۳۷	شکل ۱-۴: بلوک‌دیاگرام روند کلی تحقیق
۳۸	شکل ۲-۴: فرآیند پیش‌پردازش و استخراج ROI از هر تصویر MR سینه
۳۸	شکل ۳-۴: تصویر MR اولیه
۳۸	شکل ۴-۴: تصویر MR پس از بهبود کنتراست و حذف پس‌زمینه
۳۹	شکل ۵-۴: ROI استخراج شده از تصویر MR
۴۰	شکل ۶-۴: ساختار کلی یک شبکه‌ی CNN نمونه
۴۲	شکل ۷-۴: بلوک دیاگرام لایه‌ی ام‌کانولوشن
۴۳	شکل ۸-۴: بلوک دیاگرام لایه‌ی ام‌نمونه‌برداری جزئی
۴۴	شکل ۹-۴: بلوک دیاگرام لایه‌ی خروجی شبکه CNN
۴۶	شکل ۱۰-۴: ساختار شبکه‌ی کانولوشن نمونه با ۶ لایه‌ی فعال
۵۲	شکل ۱۱-۴: نقشه‌های ویژگی در شبکه‌ی کانولوشن آموزش‌یافته نمونه با ۶ لایه‌ی فعال
۵۳	شکل ۱۲-۴: منحنی خطا در آموزش ساختار CNN1 و آزمایش ۲
۵۴	شکل ۱۳-۴: منحنی خطا در آموزش ساختار CNN2 و آزمایش ۲

شکل ۴-۱۴: منحنی خطا در آموزش ساختار CNN3 و آزمایش ۱	۵۶
شکل ۴-۱۵: منحنی خطا در آموزش ساختار CNN4 و آزمایش ۲	۵۷
شکل ۴-۱۶: منحنی خطا در آموزش ساختار CNN5 و آزمایش ۲	۵۹
شکل ۴-۱۷: منحنی خطا در آموزش ساختار CNN6 و آزمایش ۴	۶۰
شکل ۴-۱۸: منحنی خطا در آموزش ساختار CNN7 و آزمایش ۲	۶۲
شکل ۴-۱۹: منحنی خطا در آموزش ساختار CNN8 و آزمایش ۱	۶۳
شکل ۵-۱: ساختار مرسوم ترکیب خبره‌ها با L خبره	۶۵
شکل ۵-۲: ساختار ترکیب خبره‌های کانولوشن پیشنهادی	۶۸
شکل ۵-۳: منحنی خطا در آموزش ساختار ME پیشنهادی و آزمایش ۳	۷۱
شکل أ-۱: نقشه‌های ویژگی در شبکه‌ی کانولوشن نمونه	۷۵
شکل أ-۲: اتصالات و نقشه‌های ویژگی در لایه‌های مختلف شبکه کانولوشن نمونه	۷۵
شکل ب-۱: ساختار ترکیب خبره‌های کانولوشن نمونه	۸۳

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱ - پیشگفتار

سرطان سینه^۱، پس از سرطان ریه^۲ دومین عامل مرگ و میر ناشی از سرطان و پس از سرطان پوست^۳، شایع‌ترین سرطان در میان بانوان است [۱].

شناسایی به موقع و زود هنگام سرطان سینه می‌تواند کمک شایانی در جلوگیری از پیشرفت و درمان این بیماری و معضلات ناشی از آن کند. تکنیک‌های تصویربرداری پزشکی از یک سو و طراحی سیستم‌های تشخیص به کمک کامپیوتر^۴ از سوی دیگر توانسته‌اند سهم عمده‌ای در شناسایی و درمان به موقع این سرطان ایفا نمایند.

یکی از روش‌های مؤثر تشخیصی مدرن، تصویربرداری MRI^۵ است که به عنوان روشی غیر تهاجمی و بدون درد، به پزشک در تشخیص و انتخاب روش درمانی مناسب یاری می‌رساند.

در تصویربرداری سینه، MRI یک روش کلینیکی گسترده و کمکی برای ماموگرافی و اولتراسوند محسوب می‌شود. از آنجا که تصویربرداری MRI دارای حساسیت و تفکیک‌پذیری بالایی در بافت‌های چگال سینه است، لذا یک روش ارزشمند تشخیصی در مورد سرطان سینه خواهد بود. دقت تصاویر این روش و مزایای آن سبب شده است تا بیماری‌هایی که به کمک سایر روش‌های تصویربرداری از جمله سونوگرافی و توموگرافی کامپیوتری، CT اسکن و CAT اسکن، به خوبی تشخیص داده نمی‌شوند؛ توسط این روش به موقع تشخیص داده شده و اقدامات درمانی آن صورت پذیرد. البته باید توجه نمود که لزوماً MRI سینه، جایگزین ماموگرافی یا سونوگرافی سینه نیست، بلکه ابزار نسبتاً کاملتری جهت شناسایی و درجه‌بندی سرطان سینه و سایر ناهنجاری‌های مربوط به آن است.

در سال‌های گذشته و با رشد بیش از حد این سرطان در جوامع بشری پیشرفته و یا در حال توسعه از یک سو، و از سویی با پیشرفت تکنیک‌های تصویربرداری و پیشرفت علوم کامپیوتر، اهمیت طراحی و به کارگیری سیستم‌های تشخیص کامپیوتری کارآمد بیش از پیش احساس می‌گردد.

¹ - Breast cancer

² - Lung cancer

³ - Cancroid

⁴ - CAD

⁵ - Magnetic Resonance Imaging (MRI)

شاید بتوان لزوم طراحی و بکارگیری سیستم‌های CAD را در موارد زیر خلاصه نمود [۵-۲]:

- ۱- مشاوره تخصصی به رادیولوژیست‌ها و بالا بردن دقت و حساسیت تشخیص بیماری.
- ۲- کاهش موارد نمونه‌برداری بافت^۱ در بیماران، که معضلات و هزینه‌های مربوط به خود را دارد.
- ۳- مواردی که در تشخیص از چشم متخصصان به دلایلی چون کیفیت کم تصاویر، ظاهر خوش‌خیم ضایعات و همچنین خطای چشم، پوشیده می‌ماند.
- ۴- تعدد ناهنجاری‌هایی که تنها بخشی از آن‌ها از نوع بدخیم هستند.
- ۵- کاهش موارد تشخیص FP^۲.

سیستم‌های تشخیص کامپیوتری به خصوص در دهه گذشته جایگاه مهمی را در بهبود شناسایی و طبقه‌بندی بیماری‌ها بر اساس تصاویر پزشکی، به خود اختصاص داده‌اند.

سیستم‌های CAD به طور مؤثر و کارآمد در شناسایی انواع بافت‌های سرطانی، بیماری‌های درون‌ساختاری و رشد بیماری‌ها و همچنین با هزینه‌های منطقی به کمک رادیولوژیست‌ها آمده‌اند. در این بین برخی سیستم‌ها تنها به بررسی و تمایز بافت‌های سالم از بافت‌های بیمار می‌پردازند [۴] و برخی نیز انواع بافت‌های سرطانی را نیز طبقه‌بندی می‌کنند [۳].

ابتدایی‌ترین سیستم‌های CAD بر پایه‌ی تصاویر پزشکی، بر اصول پردازش تصویر و تکنیک‌های مربوط به آن استوار بود. در این سیستم‌ها از تکنیک‌های پردازش تصویر پر هزینه‌ای چون تطبیق الگو^۳ استفاده می‌شد که همگی توانسته بودند تا حدودی در مسئله شناسایی و تشخیص ناهنجاری‌های پزشکی، بهبودهای قابل قبولی حاصل کنند. اما این تکنیک‌ها متناسب با مسئله، نوع تصویر و کیفیت تصویربرداری آن، کارایی مختلفی از خود نشان می‌دادند [۴].

در اوایل دهه ۹۰ میلادی، محققان در مطالعات خود نشان دادند چنانچه بتوانند از یک ساختار هوشمند بر پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی^۴ به منظور شناسایی و طبقه‌بندی ناهنجاری‌ها در تصاویر پزشکی استفاده کنند، نه تنها می‌توانند نرخ بازشناسی بالاتری حاصل کنند، بلکه تشخیص‌های FP کمتری نسبت به روش‌های پردازش تصویر صرف در مسائل یکسان، بدست دهند [۴-۲].

لذا توسعه‌ی سیستم‌های CAD بر اساس انواع مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی و تکنیک‌های مربوط به آن‌ها، به طور گسترده توسط محققان مورد توجه واقع شد.

ساختار شبکه عصبی مصنوعی، یک ساختار ساده شده و الهام گرفته از سیستم عصبی انسان

^۱ - Biopsy

^۲ - False-Positive

^۳ - Template matching

^۴ - Artificial neural network

است که در آن سعی می‌شود تا مدلی مصنوعی از فرآیندهای یادگیری، ذخیره‌سازی و تصمیم‌گیری در مورد داده‌های ورودی بر اساس سیستم عصبی انسان، ارائه گردد.

در سیستم‌های CAD بر مبنای شبکه عصبی، سعی می‌شود تا از مدلسازی ساختار عصبی بینایی انسان توسط یک شبکه عصبی به منظور تشخیص بیماری از روی تصاویر پزشکی استفاده شود [۲]. در این سیستم‌ها به منظور شناسایی ناهنجاری‌های پزشکی؛ پس از پیش‌پردازش‌های لازم، در ابتدای‌ترین گام، یک ناحیه‌ی مورد نظر^۱ از تصویر پزشکی انتخاب می‌گردد که احتمال حضور یک ناهنجاری در آن ناحیه از تصویر، وجود دارد. این گام توسط بکارگیری دانش رادیولوژیست‌های ماهر صورت می‌گیرد. سپس در یک مرحله کاملاً مستقل، ویژگی‌های کلیدی نواحی مورد نظر بر اساس مجموعه‌ای از یک یا چند تابع تحلیلی یا آماری استخراج می‌گردد. به این گام، مرحله استخراج ویژگی^۲ گفته می‌شود. در این مرحله سعی بر آن است تا مجموعه‌ای از مشخصه‌های کلیدی جهت تمیز بین کلاس‌های تصویر مد نظر، از تصویر اصلی انتخاب شود.

در مرحله‌ی بعدی، برداری از ویژگی‌های یک‌بعدی به ازای هر تصویر به عنوان ورودی و یک خروجی مطلوب بر اساس کلاس همان تصویر به ساختار شبکه عصبی اعمال می‌گردند و در نهایت شبکه بر اساس فرآیند آموزش خود، کلاس هر تصویر را یاد می‌گیرد.

به این نوع از شبکه‌های عصبی که ورودی آن‌ها بر مبنای ویژگی‌های استخراج شده تعریف می‌شود، شبکه‌های عصبی ویژگی محور^۳ گفته می‌شود [۶].

در سیستم‌های CAD بر اساس شبکه‌های عصبی ویژگی‌محور، در تشخیص ناهنجاری‌ها در تصاویر پزشکی بطور عمده سه دسته از ویژگی‌ها مطرح و مورد استفاده قرار می‌گیرند:

۱- ویژگی‌های مورفولوژیک،

۲- ویژگی‌های بافتی و

۳- ویژگی‌های جنبشی.

بر اساس تحقیقات پژوهشگران، استفاده توأمان از هر سه دسته ویژگی‌های فوق می‌تواند دقت و تعمیم بهتری را برای سیستم CAD در بر داشته باشد، اما نکته‌ای که در اینجا مطرح است بحث تعداد ویژگی‌ها و میزان اهمیت و تأثیر آن‌ها در قدرت تشخیصی سیستم است. از سویی برخی از ویژگی‌ها به طور ضمنی با یکدیگر همبستگی داشته و می‌توانند نوعی پیچیدگی غیر ضروری در حل مسئله ایجاد کنند [۵-۸].

¹ - Region of Interest (ROI)

² - Feature Extraction

³ - Feature Based Neural Networks

لذا طراحی و استخراج ویژگی‌های بهینه نیاز به داشتن دانش دقیق از مسئله و دینامیک‌های آن، تعریف دقیق و درک میزان وابستگی‌های ویژگی‌ها نسبت به هم و پرهیز از هر گونه پیچیده‌سازی است.

آنچه که در مرحله بعدی اهمیت قرار دارد، ساختار اتصالات و طراحی شبکه عصبی‌ای است که بتواند در تعامل خوب با ویژگی‌های استخراج شده پس از فرآیند آموزش و در مرحله تست، نرخ طبقه‌بندی بالا و نرخ FP تا حد ممکن پایینی حاصل کند. در طراحی ساختار شبکه عصبی به دو موضوع: ۱- چگونگی اتصالات شبکه، تعریف توابع و پارامترهای آزاد شبکه و ۲- روش آموزش پارامترهای آزاد شبکه در رسیدن به کارایی مطلوب، پرداخته می‌شود.

در شبکه‌های عصبی ویژگی محور آنچه مسلم است آنکه، هر گونه کاستی یا افزونگی در مراحل استخراج ویژگی و یا طراحی ساختار شبکه عصبی، به شدت بر روی کارایی سیستم عصبی چه از لحاظ صحت و حساسیت عملکرد سیستم هوشمند و چه از لحاظ هزینه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، تأثیرگذار است.

یک چالش اساسی در شبکه‌های عصبی، میزان مقاوم بودن و قابلیت اعتماد به عملکرد سیستم عصبی در مواجهه با ورودی‌های جدید همراه با اغوجاج و نویز است [۱۱-۱۰]. به نظر می‌رسد این چالش در شبکه‌های عصبی ویژگی محور، مسئله تأمل‌برانگیزی باشد. زیرا نویز و اغوجاجاتی که در مرحله اخذ تصویر، به تصویر ملحق می‌شوند، می‌تواند عملکرد گام‌های پیش‌پردازش، استخراج ویژگی، ساختار شبکه عصبی طراحی شده و بطور کلی کارایی سیستم CAD را دچار اختلال کند.

دسته دیگری از شبکه‌های عصبی تعریف می‌شوند که ورودی آن‌ها خود داده‌ها هستند [۶]. بدین معنی که قبل از اعمال داده‌ها به شبکه، مرحله استخراج ویژگی وجود ندارد و داده‌ها مستقیماً و احتمالاً پس از یک پیش‌پردازش اولیه، به شبکه اعمال می‌شوند. داده‌ها می‌توانند یک‌بعدی باشند که در این صورت از ساختارهای متداول در معماری شبکه عصبی جهت پردازش آن‌ها استفاده می‌شود، یا می‌توانند دو یا سه یا چند بعدی باشند که در این صورت ساختارهای متفاوتی برای پردازش آن‌ها طراحی و استفاده می‌شود. به این دسته از شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی داده محور^۱ گفته می‌شود. چنانچه داده مورد استفاده تصویر باشد، به این نوع از شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی تصویر محور^۲ می‌گوییم [۶].

در سیستم‌های CAD بر مبنای شبکه عصبی تصویر محور، تکیه اصلی بر اعمال تصویر ROI به طور مستقیم به عنوان ورودی شبکه عصبی است. حال این شبکه عصبی است که باید بر اساس فیلترهای عصبی آموزش‌پذیر دو بعدی خود، به صورت خودکار و طی فرآیند آموزش شبکه، ویژگی‌های کارآمد و اساسی تصاویر را بر مبنای ایجاد تمایز بین کلاس‌های مختلف یاد بگیرد [۱۳-۱۱].

^۱ - Data Based Neural Networks

^۲ - Image Based Neural Networks

بهترین ساختار عصبی بر پایه شبکه‌های عصبی تصویر محور، که در مدلسازی مشخصه‌های بینایی انسان قابلیت و کارآمدی بیشتری تا کنون از خود به نمایش گذاشته است، ساختار شبکه‌های عصبی کانولوشن^۱ می‌باشد.

ساختار شبکه‌های عصبی کانولوشن، نخستین بار توسط Lecun در سال ۱۹۹۸ میلادی به منظور شناسایی اسناد مطرح و مورد استفاده واقع شد و بعدها توسط خود Lecun مدل‌های بهبود یافته آن منتشر گردید. محققان مختلفی نیز از ایده‌ها و حتی ساختارهای مطرح شده توسط Lecun در زمینه‌های تحقیقاتی خود بهره برده‌اند [۱۲] و [۱۴].

هدف از طراحی شبکه‌های عصبی کانولوشن جهت مدلسازی سیستم بینایی انسان، پیاده‌سازی دقیق‌تری از نحوه عملکرد این سیستم و ارتباط آن با ناحیه بینایی مغز است که وظیفه‌ی استخراج خودکار ویژگی‌های کلیدی، یادگیری تصاویر در یک ساختار عصبی مجتمع و همچنین حذف افزونگی‌های احتمالی را بر عهده دارد.

در اواسط دهه پایانی قرن ۲۰ میلادی، همچنان که تشخیص کامپیوتری تومورهای سرطان در تصاویر ماموگرافی و ندول‌های ریوی^۲ در تصاویر قفسه‌سینه توسط محققان مورد توجه قرار می‌گرفت، محققان سعی کردند تکنیک‌های مختلف شبکه‌های عصبی را در شناسایی سلول‌های سرطانی به کار گیرند و در این بین به قابلیت و توانایی‌های شبکه‌های کانولوشن به عنوان ابزاری قدرتمند در تشخیص خودکار الگوهای تصویری پی بردند [۴-۲].

یک شبکه عصبی کانولوشن می‌تواند برای تشخیص و طبقه‌بندی الگوهای مختلفی از تصاویر MRI، PET^۳ و... مورد استفاده قرار گیرد. معمولاً یک ناحیه‌ی مورد نظر از تصاویر چندگانه پزشکی به عنوان ورودی، به شبکه‌ی CNN اعمال می‌شود. این تصاویر ورودی از ROI‌ها، با استفاده از فرآیندهایی مثل کانولوشن با کرنل^۴ عصبی و نمونه‌برداری جزئی^۵ به عنوان روش‌های استخراج ویژگی خودکار، در چند مرحله دنبال شده و ابعاد تصاویر ویژگی استخراج شده مرحله به مرحله کاهش می‌یابد. در نهایت برداری از ویژگی‌های استخراج شده به منظور طبقه‌بندی و تشخیص، وارد مرحله پایانی که همان طبقه‌بندی تصویر ورودی است، می‌گردد [۱۱] و [۱۳].

در مقالات منتشر شده بر مبنای CNN ها و کاربردهای آن در پردازش تصاویر، سعی بر آن شده است تا حتی الامکان معماری‌های ساده‌تر همراه با آموزش سریعتر پارامترها و همچنین ساختارهایی با مقاومت

^۱ - Convolution Neural Networks (CNNs)

^۲ - Lung nodule

^۳ - Positron Emission Tomography

^۴ - Kernel

^۵ - Subsampling

بالا نسبت با اعوجاجات ناخواسته در تصاویر، ارائه و بهبود یابند.

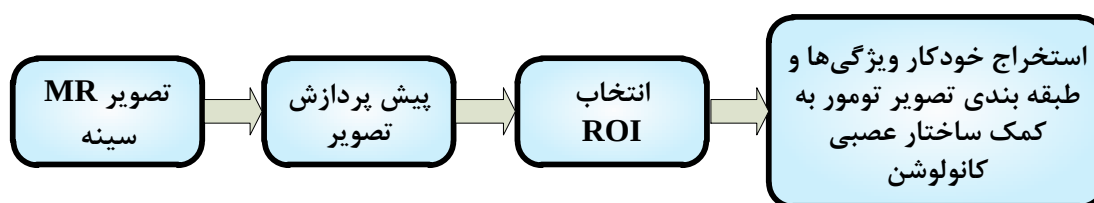
از مزیت‌های اصلی استفاده از این شبکه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۰-۱۷]:

- ۱- عدم نیاز به پیش‌پردازش‌های زمان‌بر تصویر ورودی.
- ۲- استخراج ویژگی‌های کارآمد و کلیدی و حذف افزونگی‌های احتمالی متناسب با مسئله به صورت کاملاً خودکار.
- ۳- مقاوم بودن (عدم حساسیت) خروجی نسبت به اعوجاجات محلی و هندسی در تصاویر ورودی و همچنین عوامل نویز و اغتشاش.
- ۴- تغذیه مستقیم شبکه با تصاویر مد نظر در ورودی.
- ۵- انجام عملیات‌های استخراج ویژگی و طبقه‌بندی در یک ساختار واحد و متمرکز.
- ۶- حفظ ساختار مکانی تصاویر دو بعدی ورودی.
- ۷- تحلیل بصری پارامترهای آموزشی شبکه در قالب فیلترهای عصبی.

البته این شبکه‌ها علی‌رغم مزیت‌های جالبی که دارند، نقاط ضعفی را در دل خود جای داده‌اند. از آن جمله می‌توان به تعدد پارامترهای آموزشی، نیاز به داده‌های آموزشی فراوان متناسب با تعداد پارامترهای آموزشی و هزینه‌ی زمانی فرآیند آموزش، اشاره کرد.

باید اشاره شود که محققان برای جبران این نقاط ضعف در مطالعات خود، راهکارهای متنوعی معرفی کرده‌اند. در این میان روش‌های متعددی برای تسریع آموزش این ساختارها و همچنین ساختارهایی با حداقل پارامترهای آموزشی بهبود یافته‌اند. از آن جمله می‌توان به مرجع [۱۱] اشاره کرد.

هدف ما در این نوشتار؛ طراحی، پیاده‌سازی و بهبود ساختارهایی از نوع شبکه‌های عصبی کانولوشن به منظور طبقه‌بندی تومورهای خوش خیم و بدخیم در تصاویر MR سینه است. در شکل ۱-۱، روند کلی تحقیق در قالب بلوک‌دیاگرام سیستم CAD پیشنهادی، نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱: بلوک‌دیاگرام سیستم CAD پیشنهادی.

با توجه به شکل ۱-۱، تصویر MRI اولیه پس از پیش‌پردازش‌های لازم که شامل مراحل چون بهبود کنتراست و حذف پس‌زمینه است، وارد مرحله تعیین ROI می‌شود. در این مرحله از یک الگوریتم خودکار به منظور قطعه‌بندی مکان تومور در تصویر اصلی استفاده می‌گردد و در نهایت تصویری با ابعاد تومور به