



جمهوری اسلامی ایران

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

گواهی پذیرش مقاله  
CERTIFICATE



مرکز آموزش علمی کاربردی  
سازمان نظام مهندسی

شماره گواهی: ۲۱۳ / م / ۹۳

بدینوسیله گواهی میشود مقاله پژوهشگر گرامی

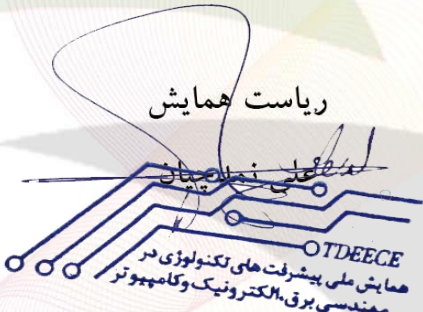
# ابوالفضل قلعه‌نوی

با عنوان

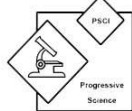
**مقداردهی اولیه مدل شکل فعال به منظور ناحیه‌بندی تصویر رادیولوژی دست**

در اولین همایش ملی پیشرفت‌های تکنولوژی در مهندسی برق، الکترونیک و کامپیوتر که توسط مرکز آموزش عالی خيام الکترونیک برگزار گردید مورد پذیرش قرار گرفته و توسط ایشان ارائه گردید. پیشرفت روزافزون ایشان را از خداوند متعال مسئلت داریم.

ریاست همایش



Science Archive



# مقداردهی اولیه مدل شکل فعال به منظور ناحیه بندی تصویر رادیولوژی دست

ابوالفضل قلعه نوی<sup>۱</sup>، مهدی سعادت مند طرزجان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد  
<sup>۲</sup> مرکز پژوهشی تصویربرداری پزشکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد  
مسئول مکاتبات: ابوالفضل قلعه نوی

## چکیده

سنجش سن استخوانی یک گام مهم در جهت تشخیص و درمان بیماری های هورمونی و ژنتیکی در کودکان است. پیش پردازش یکی از بخش های مهم در یک سیستم خودکار ارزیابی سن استخوانی به شمار می آید. در پیش پردازش هدف حذف پس زمینه و علائم رادیولوژی از تصویر رادیولوژی دست چپ، استخراج انگشتان و استخوان هایی به منظور مقداردهی اولیه مدل فعال در تصویر است. در این مقاله یک روش جدید به منظور حذف پس زمینه و علائم رادیولوژی از تصاویر رادیولوژی دست چپ مبتنی بر تبدیل حوضچه ارائه شده است. همچنین با استفاده از یک فرآیند شبه برچسب زنی انگشتان دست استخراج شده و سپس با استفاده از الگوریتم کنی و عملگرهای مورفولوژی تعدادی از استخوان های هر انگشت به منظور مقداردهی اولیه مدل فعال استخراج شده است. نتایج تجربی نشان می دهد که علاوه بر افزایش سرعت و دقت فرآیند استخراج ناحیه دست، استخراج انگشتان و استخوان ها تاثیر مهمی در مقدار دهی اولیه مدل فعال در تصویر دارد.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی سن استخوانی، تبدیل حوضچه، مدل شکل فعال.

## مقدمه

ارزیابی سن استخوانی یک فرآیند رایج در مراکز درمانی کودکان است. این ارزیابی یک گام مهم در جهت تشخیص و انجام تحقیقات درمانی در مشکلاتی مانند اختلالات غدد درون ریز، اختلالات رشد در کودکان و بیماری های ژنتیکی است. سن استخوانی معمولا براساس معاینه رادیولوژیست از میزان رشد استخوان های دست چپ فرد از روی تصویر رادیولوژی صورت می گیرد. سپس ارزیابی رشد بر اساس مقایسه بین سن استخوانی و سن تقویمی انجام می شود. امروزه در مراکز درمانی، یک روش استاندارد برای ارزیابی سن استخوانی وجود ندارد، اما دو روش رایج مورد استفاده در این مراکز شامل: (۱) روش Greulich و Pyle (G&P) (۱۹۵۹) و (۲) روش های Tanner و Whitehouse (TW3, TW2) (۲۰۰۶) است. ارزیابی سن استخوانی در هر دو روش، بر اساس مقایسه تصویر رادیولوژی دست چپ فرد، با تصاویر موجود در هریک از اطلس ها صورت می گیرد. مشکل اصلی روش G&P وابستگی شدید ارزیابی صورت گرفته به ادراکات و تجربه فرد رادیولوژیست است، چرا که قضاوت افراد مختلف متفاوت بوده و وابسته به شرایط محیطی است. اگر چه روش TW2 ارزیابی سن استخوانی را با دقت بالاتری نسبت به روش G&P انجام می دهد، اما به دلیل پیچیدگی بالا، زمان بر بودن و ساختار مازولی آن، کمتر در مراکز درمانی مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به مشکلات سیستم های انسانی ارزیابی سن استخوانی، ضرورت استفاده از یک سیستم خودکار جهت ارزیابی سن استخوانی روشن می شود.

به طور کلی، یک سیستم ارزیابی سن استخوانی شامل چهار بخش کلی پیش پردازش، تقطیع، استخراج ویژگی و طبقه بندی است. در بخش پیش پردازش فعالیت های لازم به منظور آماده سازی و تصحیح تصویر برای مراحل بعدی بر روی تصویر صورت می گیرد. این فعالیت ها شامل: بهبود کنتراست، چرخش تصویر به طوری که تصویر در یک حالت استاندارد قرار گیرد و حذف پس زمینه که شامل نواحی از تصویر که دست در آن قرار نگرفته است. در تقطیع هدف استخراج استخوان های خاص دست است. برای این منظور تکنیک های مختلفی از جمله روش های کلاسیک پردازش تصویر و روش های مبتنی بر مدل های فرم پذیر و مدل شکل فعال ارائه شده است. در بخش استخراج ویژگی یک مجموعه ویژگی عددی و یا ساختاری که قابلیت تمایز بین مراحل مختلف رشد را دارند استخراج می شوند. این ویژگی ها معمولا مبتنی بر شکل، شدت روشنایی و بافت ناحیه انتخاب می شوند. در بخش آخر نیز از طبقه بندی های رایج در شناسایی آماری الگو به منظور تعیین سن استخوانی استفاده می شود.

یکی از بخش‌های مهم در سیستم ارزیابی سن استخوانی، پیش‌پردازش است. عمده فعالیت‌های انجام شده در این بخش در جهت حذف پس‌زمینه و چرخش دست به منظور استانداردسازی حالت دست است. حذف پس‌زمینه سبب کاهش اطلاعات غیرمفید تصویر و به دنبال آن کاهش بار محاسبات در مرحله تقطیع می‌شود. پیش‌پردازش در سیستم‌هایی که از تکنیک‌های پایه پردازش تصویر به منظور تقطیع استخوان‌های دست استفاده می‌کنند، اهمیت بیشتری دارد. البته در سیستم‌های مبتنی بر مدل‌های فرم‌پذیر و شکل فعال از ویژگی‌های ناحیه‌های استخراج شده در بخش پیش‌پردازش به منظور مقداردهی اولیه مدل فرم‌پذیر استفاده می‌شود.

عمده روش‌های ارائه شده به منظور حذف پس‌زمینه و استخراج ناحیه دست، مبتنی بر پارامترهای آماری و استفاده از هیستوگرام تصویر است. Pietka و همکاران (۲۰۰۱) از ویژگی انحراف معیار برای حذف پس‌زمینه استفاده نموده‌اند. آن‌ها با فرض اینکه پیکسل‌های پس‌زمینه دارای انحراف معیار کم و پیکسل‌های ناحیه دست دارای انحراف معیار زیاد هستند، عمل حذف پس‌زمینه را انجام داده‌اند. فرض همگن بودن پس‌زمینه در حضور نویز همیشه برقرار نیست، لذا این روش در تصاویر نویزی با مشکل مواجه می‌شود. در روش‌های مشابه دیگری نیز از ویژگی‌های آماری میانگین و انحراف معیار استفاده شده است (Pietka و همکاران، ۲۰۰۴ و Gertych و همکاران، ۲۰۰۷). در کار دیگری از این نویسنده (۲۰۰۱) از هیستوگرام محلی برای حذف پس‌زمینه استفاده شده‌است. در این روش تصویر به چهار ناحیه تقسیم شده و در هیستوگرام هر ناحیه، اولین ماکزیمم محلی به عنوان سطح آستانه برای پس‌زمینه در نظر گرفته شده و بر اساس درون‌یابی خطی، مقدار آستانه در هر نقطه تخمین زده می‌شود. مشکل این روش در استفاده از درون‌یاب خطی برای تخمین سطح آستانه است. Giordano و همکاران (۲۰۰۷) ویژگی‌های آماری هیستوگرام را به خدمت گرفته‌اند. آن‌ها به ازای هر پیکسل، در یک همسایگی پیرامون آن، میانگین و انحراف معیار محلی را محاسبه کرده و اگر میانگین محلی، از ضریبی از میانگین کل کمتر بوده و همچنین انحراف معیار محلی بین دو حد بالا و پایین از انحراف معیار کل باشد، آنگاه آن پیکسل به عنوان پس‌زمینه شناخته می‌شود. Agrawal و همکاران (۲۰۱۱) نیز برای حذف پس‌زمینه و اشیاء اضافی، ابتدا یک تصویر دودویی به روش آستانه‌گذاری سراسری ایجاد کرده و سپس بزرگترین شیء در تصویر به عنوان دست در نظر گرفته شده‌است. سپس با عملیات گسترش و سایش مورفولوژی، سعی در هموارسازی لبه‌ها دارند.

پس از حذف پس‌زمینه و استخراج ناحیه دست، تعیین زاویه دست در تصویر یکی دیگر از پیش‌پردازش‌های مورد نیاز در یک سیستم ارزیابی سن استخوانی است. Pietka و همکاران (۱۹۹۱) به روش اسکن افقی و عمودی تصویر دودویی دست سعی در یافتن زاویه دست دارند. در کار Giordano و همکاران (۲۰۱۰) ابتدا نوک انگشت سوم با اسکن تصویر دودویی یافت می‌شود. سپس با یافتن محور اصلی انگشت و محاسبه زاویه بین آن و خط عبوری از مرکز دست، زاویه دست تعیین می‌شود. Agrawal و همکاران (۲۰۱۱) بر روی تصویر دودویی حاصل از مرحله حذف پس‌زمینه یک دایره به مرکز دست و به شعاع  $0.55$  برابر دورترین نقطه از مرکز دست رسم می‌کنند. این دایره همه انگشت‌ها را قطع و بخش بالایی انگشت را از کف دست جدا می‌کند. دو بخش که دارای بیشترین فاصله هستند مشخص شده و خط واصل بین مراکز آن‌ها رسم می‌شود. در نهایت، با بررسی زاویه بین خط مذکور و خط عبور کننده از مرکز دست زاویه دست تعیین می‌شود.

در این مقاله یک الگوریتم جدید به منظور استخراج ناحیه دست در تصاویر رادیولوژی با الهام از تبدیل حوضچه ارائه شده‌است. همچنین با استفاده از یک فرآیند شبه برچسب‌زنی، انگشتان دست استخراج شده و سپس با استفاده از الگوریتم کنی و عملگرهای مورفولوژی تعدادی از استخوان‌های هر انگشت به منظور مقداردهی اولیه مدل فعال استخراج می‌شوند. در بخش دوم، مواد و روش‌های الگوریتم پیشنهادی و در انتها به نتایج و بحث می‌پردازیم.

## مواد و روش:

### تبدیل حوضچه

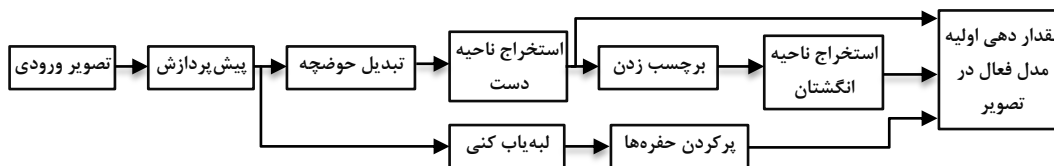
تبدیل حوضچه یک روش ناحیه‌بندی رایج برگرفته از مبانی مورفولوژی ریاضی است. این تبدیل اولین بار توسط Digabel و Lantuejoul (۱۹۷۹) به منظور تحلیل تصاویر دودویی ساده ارائه شده است. یک نقشه سه بعدی از پستی و بلندی‌های یک منطقه جغرافیایی را در نظر بگیرید. حوزه آگیر مربوط به هر مینیمم محلی این نقشه بعنوان یک حوضچه شناخته می‌شود. به عبارتی اجتماع تمام نقاطی که قطرات باران فرود آمده در آن نقاط به سمت یک مینیمم محلی حرکت می‌کنند حوضچه مربوط به آن مینیمم محلی نامیده می‌شود. مجموعه نقاطی از این نقشه که احتمال حرکت قطرات باران فرود آمده در آن‌ها به دو یا چند مینیمم محلی وجود دارد، خطوط حوضچه نامیده می‌شوند. در تبدیل حوضچه هدف برچسب زنی نقشه به گونه‌ای است که برای تمام نقاط یک حوضچه برچسب یکسان و متمایز از برچسب نقاط سایر حوضچه‌های نقشه اختصاص یابد و برای تمام نقاط مربوط به خطوط حوضچه یک برچسب مخصوص و متمایز از برچسب حوضچه‌ها اختصاص یابد. در پیاده سازی تبدیل حوضچه می‌توان از ایده شهودی زیر کمک گرفت. فرض کنید در مینیمم‌های محلی نقشه سوراخ‌هایی تعبیه شده باشد. حال اگر نقشه در دریاچه‌ای از آب غرق شود، آب در حوضچه‌های مختلف بالا آمده و در نقاطی به هم می‌رسند. غرق شدن نقشه به گونه‌ای است که نرخ افزایش ارتفاع آب در حوضچه‌ها با یکدیگر برابر است. براساس ایده شهودی، یک روش به منظور پیاده‌سازی تبدیل حوضچه ارائه شده‌است. فرض کنید تصویر  $f$  به صورت یک نقشه سه بعدی از پستی و بلندی‌های یک منطقه جغرافیایی در نظر گرفته شود به طوری که شدت روشنایی هر پیکسل نشان دهنده ارتفاع آن نقطه در نقشه باشد. اگر شدت روشنایی در تصویر از  $h_{min}$  تا  $h_{max}$  در حال تغییر باشد، آنگاه با تغییر

شدت روشنایی  $h$  از مقدار  $h_{min}$  تا  $h_{max}$  در هر مرحله اجزایی از تصویر آگیری می‌شوند. فرض کنید مجموعه پیکسل‌های قرار گرفته در آگیری  $i$  ام در مرحله  $n-1$  ام آگیری با  $C_{n-1}(i)$  نشان داده‌شود. اگر مجموعه نواحی متصل در مرحله  $n$  ام  $Q_n$  باشد، آنگاه برای هر ناحیه متصل  $q \in Q_n$  سه حالت پیش می‌آید:

- اشتراکی بین  $q$  و  $C_{n-1}$  وجود ندارد که در این صورت یک حوضچه جدید آگیری شده‌است.
- $q$  تنها با یک ناحیه از  $C_{n-1}$  اشتراک دارد که در این صورت  $q$  در یکی از آگیری‌ها وجود دارد.
- $q$  با بیش از یک ناحیه از  $C_{n-1}$  اشتراک دارد که در این صورت دو آگیری در حال ادغام شدن هستند و لذا باید بین دو ناحیه مرز ایجاد شود.

### روش پیشنهادی

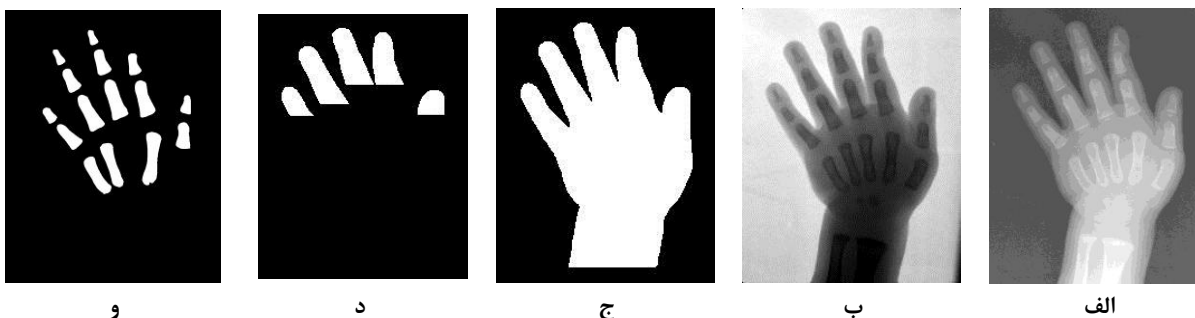
دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱ بخش‌های مختلف روش پیشنهادی به منظور حذف پس‌زمینه و استخراج ناحیه انگشتان و استخوان‌ها برای مقداردهی اولیه مدل فعال در تصویر نشان می‌دهد.



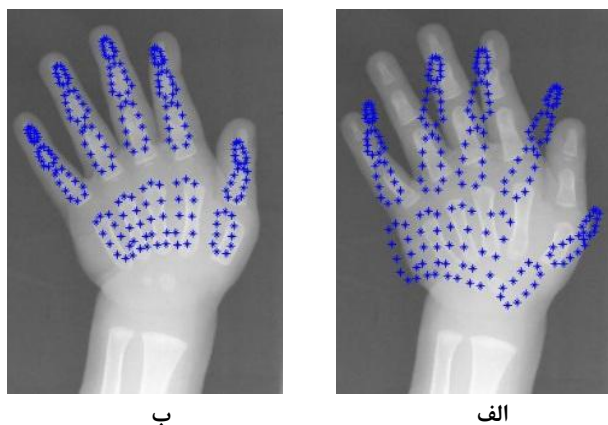
شکل ۱- نمودار بلوکی الگوریتم پیشنهادی

نخستین گام در الگوریتم پیشنهادی پیش‌پردازش است. با توجه به اینکه بیشتر تصاویر پزشکی از جمله تصاویر رادیولوژی نویزی هستند، لذا اولین گام حذف نويز تصاویر است. برای این منظور از یک فیلتر میانه استفاده شده‌است. پس از حذف نويز، به منظور بهبود کنتراست تصویر از تبدیل لگاریتمی و تعدیل سطوح خاکستری استفاده شده‌است. با توجه به اینکه تصاویر رادیولوژی دارای بازه مقادیر سطوح خاکستری گسترده‌ای هستند و از طرفی سطوح خاکستری پیکسل‌ها بیشتر تیره هستند، لذا استفاده از تبدیل لگاریتمی می‌تواند سبب افزایش کنتراست در تصاویر رادیولوژی شود. از طرفی تعدیل سطوح خاکستری نیز سبب نگاشت دامنه پویای تصویر به دامنه‌ای گسترده‌تر و در نتیجه افزایش کنتراست می‌شود. خروجی حاصل از پیش‌پردازش در شکل (۲-ب) نشان داده شده‌است. در مرحله بعد با استفاده از تبدیل حوضچه عمل استخراج ناحیه دست و حذف پس‌زمینه صورت می‌گیرد. اولین گام در تبدیل حوضچه انتخاب سطوح آستانه حداقل  $h_{min}$  و حداکثر  $h_{max}$  به منظور غرقه‌سازی نواحی تصویر به صورت تکراری است. برای این منظور از الگوریتم Ptile (۱۹۶۲) استفاده شده‌است. با شروع از سطح آستانه  $tr = h_{min}$ ، در هر مرحله به اندازه طول گام  $\mu$  افزایش می‌یابد. در هر مرحله تصویر با استفاده از سطح آستانه  $tr$  آگیری می‌شود و بزرگترین ناحیه متصل که بیانگر بخشی از ناحیه دست می‌باشد، انتخاب می‌شود. این امر سبب حذف اشیاء اضافی رادیولوژی از تصویر نیز می‌شود. با افزایش مقدار آستانه  $tr$  به اندازه طول گام، بعضی از ناحیه‌های متصل حاصل از مرحله قبلی آگیری شروع به ادغام در ناحیه اصلی دست می‌کنند. شرط ادغام یک ناحیه در ناحیه اصلی این است که آن ناحیه متصل به کناره‌های تصویر نباشد. در صورتی که پس از افزایش سطح آستانه یکی از ناحیه‌های ادغام شده در ناحیه اصلی شرط یاد شده را نقض کند آنگاه مقدار آستانه به آستانه مرحله قبل تغییر یافته و طول گام نصف می‌شود. این عمل تا زمانی که طول گام به اندازه کافی کوچک شود تکرار می‌شود. استفاده از طول گام در افزایش مقدار سطح آستانه آگیری سبب افزایش سرعت همگرایی الگوریتم آگیری می‌شود. در ابتدا با انتخاب طول گام بزرگ، حوضچه‌های عمیق (نواحی با سطوح خاکستری پایین) به سرعت آگیری شده و ظهور پیدا می‌کنند. در مراحل پایانی آگیری به منظور افزایش دقت ناحیه‌بندی طول گام کاهش می‌یابد. تصویر دودویی حاصل از تبدیل حوضچه در شکل (۲-ج) نشان داده شده‌است. پس از استخراج ناحیه دست و ایجاد تصویر دودویی مبتنی بر تبدیل حوضچه، در مرحله بعد زاویه دست بر اساس تصویر دودویی تعیین می‌شود. در این مقاله تشخیص زاویه دست بر اساس زاویه انگشت سوم صورت می‌گیرد، لذا با استفاده از یک الگوریتم برچسب‌زنی که در ادامه بیان می‌شود، ناحیه مربوط به انگشتان در تصویر دودویی استخراج شده و سپس بر اساس جهت ناحیه انگشت سوم زاویه دست تعیین می‌شود. با توجه به تصویر دودویی، هر سطر از تصویر بیانگر یک تابع موج است که سطح بالای تابع متناظر با نواحی دست و سطح پایین آن متناظر با پس‌زمینه است. با شروع از بالای تصویر، در هر مرحله تعداد موج‌های موجود در تابع متناظر با هر سطر تصویر دودویی بررسی می‌شود. واضح است که با حرکت به سمت پایین تصویر، تعداد موج‌های موجود در تابع متناظر با هر سطر افزایش پیدا می‌کند که به دلیل اضافه شدن یک انگشت جدید در آن سطر است. این افزایش تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که دو انگشت با یکدیگر متصل شوند که در این صورت تعداد موج‌های تابع متناظر با آن سطر کاهش پیدا می‌کند. کاهش تعداد موج‌های تابع تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تمام پنج انگشت در ناحیه کف دست به یکدیگر متصل شوند. در هر مرحله ناحیه مربوط به هر موج بر اساس برچسب ناحیه مربوط به آن موج در سطر بالاتر برچسب زنی می‌شود. اگر در سطر بالاتر برچسبی وجود نداشته باشد آنگاه به این ناحیه یک برچسب جدید داده می‌شود. با شروع اتصال بین دو انگشت، عمل برچسب زنی برای دو انگشت متصل شده متوقف شده و برچسب زنی تنها برای سایر انگشتان صورت می‌گیرد. این عمل باعث عدم ادغام نواحی

متناظر با هر انگشت در تصویر برچسب خورده می شود. این فرآیند تا زمان اتصال تمام انگشتان ادامه پیدا کرده و در نهایت بر اساس تصویر برچسب خورده، ناحیه از سمت چپ تصویر که متناظر با ناحیه انگشت سوم است استخراج شده و بر اساس ویژگی جهت ناحیه، زاویه دست تعیین می شود. خروجی حاصل از الگوریتم برچسب زنی در شکل (۲-د) نشان داده شده است. آخرین گام در الگوریتم پیشنهادی، استخراج استخوان های هر انگشت است. با توجه به اینکه برای مقداردهی اولیه مدل فعال در تصویر تنها نیاز به استخراج یک استخوان از هر انگشت است، لذا در روش پیشنهادی نیازی به استخراج همه استخوان های هر انگشت نیست. برای این منظور با توجه به دیاگرام شکل ۱، ابتدا بر روی تصویر یک فیلتر کنی اعمال شده که سبب استخراج لبه استخوان ها و بافت نرم می شود. با توجه به اینکه هر استخوان یک مرز بسته است، لذا با استفاده از الگوریتم پرکردن حفره ها و سپس بازکردن مرفولوژی، استخوان های موجود در تصویر قابل استخراج است. شکل (۲-و) استخوان های استخراج شده در هر انگشت را نشان می دهد. اما در مواردی که مرز استخوان دچار گسستگی باشد، با استفاده از الگوریتم پرکردن حفره، ناحیه استخوان استخراج نمی شود که این امر در مواردی که حداقل یک استخوان از انگشت یافت شده باشد مشکلی برای مقداردهی اولیه مدل فعال ایجاد نخواهد کرد. در نهایت بر اساس ویژگی های ناحیه دست، انگشتان و استخوان های استخراج شده از هر انگشت، مدل فعال در تصویر مقداردهی اولیه خواهد شد. شکل ۳ نمونه ای از مقداردهی اولیه مدل فعال در تصویر را نشان می دهد.



شکل ۲- خروجی هر کدام از مراحل روش پیشنهادی. (الف) تصویر اصلی. (ب) تصویر پس از پیش پردازش. (ج) تصویر دودویی خروجی تبدیل حوضچه. (د) تصویر بعد از الگوریتم برچسب زنی. (و) استخوان های استخراج شده مبتنی لبه یاب کنی و پرکردن حفره.



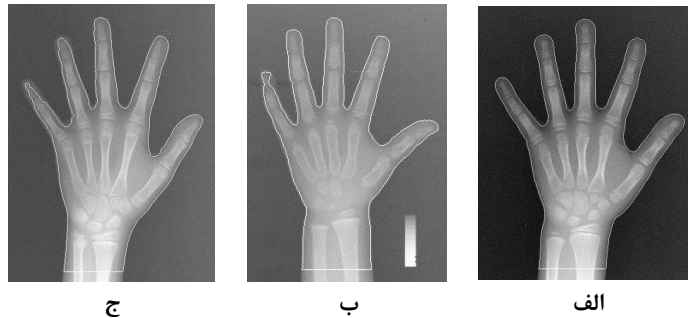
شکل ۳- (الف) مکان اولیه مدل شکل فعال در تصویر. (ب) مدل شکل فعال مقداردهی شده بر اساس ویژگی های ناحیه دست، انگشتان و استخوان ها.

### نتایج و بحث:

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی از یک پایگاه تصویر که شامل ۱۳۷۰ تصویر رادیولوژی دست چپ مربوط به چهار نژاد مختلف، از بدو تولد تا ۱۸ سالگی و دو جنس مختلف استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی روش پیشنهادی در استخراج ناحیه دست در جدول ۱ خلاصه شده است. این ارزیابی در سه مرحله انجام شده است به طوری که در هر مرحله یک آستانه به عنوان میزان خطای قابل قبول در استخراج ناحیه دست تعیین و بر اساس آن میزان عملکرد الگوریتم توسط متخصص ارزیابی شده است. میزان خطای قابل قبول در هر مرحله بر حسب درصدی از پیکسل های کل ناحیه دست تعریف می شود. در شکل ۴ نمونه ای از تصاویر که با پذیرش درصدی خطا در استخراج ناحیه دست، توسط متخصص درست تشخیص داده شده است را نشان می دهد.

جدول ۱- عملکرد سیستم پیشنهادی در تقطیع ناحیه دست

میزان خطای قابل قبول در استخراج ناحیه دست			درصد تقطیع درست
بدون خطا	۱٪ خطا	۵٪ خطا	
۶۶.۳٪	۸۵.۴٪	۹۸.۲٪	



شکل ۴. نمونه‌ای از تصاویر درست ناحیه بندی شده با پذیرش درصدی از خطا. الف) تصویر بدون خطا. ب) تصویر با پذیرش ۱٪ خطا. ج) تصویر با پذیرش ۵٪ خطا.

عمده خطاهای ایجاد شده در استخراج ناحیه دست مربوط به انگشت پنجم می‌باشد که با توجه به استفاده از انگشت سوم جهت تعیین زاویه دست، این امر مشکلی ایجاد نمی‌کند. از طرفی خروجی این الگوریتم به عنوان پیش‌پردازش برای مراحل بعدی در یک سیستم ارزیابی سن استخوانی استفاده می‌شود، لذا این عدم دقت در استخراج ناحیه دست می‌تواند در مراحل بعدی تصحیح شود. دسته دیگر از خطاهای ایجاد شده ناشی از چسبیدگی علائم رادیولوژی به ناحیه دست می‌باشد. این مشکل می‌تواند در زمان تصویر برداری و توسط فرد رادیولوژیست برطرف شود.

در استخراج نواحی انگشتان، نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در ۹۹.۸ درصد، همه انگشتان را به درستی استخراج می‌کند. لازم به ذکر است که در استخراج نواحی انگشتان لزومی به استخراج کل انگشت نیست بلکه برای مقدار دهی اولیه مدل فعال در تصویر تنها نیاز به تشخیص یک نقطه و جهت هر انگشت است. همچنین الگوریتم پیشنهادی در ۹۷.۳ درصد از مواقع حداقل یک استخوان از هر انگشت را تشخیص داده‌است. در مواردی که هیچ یک از استخوان‌های یک انگشت یافت نشده‌است، استفاده از مکان سایر انگشتان و همچنین جستجو در راستای افقی و عمودی سبب می‌شود تا مقداردهی اولیه مدل فعال در تصویر به خوبی صورت گیرد.

#### منابع مورد استفاده:

- Greulich, W. W., & Pyle, S. I. (1959). Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. The American Journal of the Medical Sciences, 238(3), 393.
- Ortega, A. I., Haiter-Neto, F., Ambrosano, G. M. B., Bóscolo, F. N., Almeida, S. M., & Casanova, M. S. (2006). Comparison of TW2 and TW3 skeletal age differences in a Brazilian population. Journal of Applied Oral Science, 14(2), 142-146.
- Pietka, E., Gertych, A., Pospiech, S., Cao, F., Huang, H. K., & Gilsanz, V. (2001). Computer-assisted bone age assessment: Image preprocessing and epiphyseal/metaphyseal ROI extraction. Medical Imaging, IEEE Transactions on, 20(8), 715-729.
- Pietka, E., Gertych, A., Pospiech, S., Cao, F., Huang, H. K., & Gilzanz, V. (2004). Computer-assisted bone age assessment: graphical user interface for image processing and comparison. Journal of digital imaging, 17(3), 175-188.
- Gertych, A., Zhang, A., Sayre, J., Pospiech-Kurkowska, S., & Huang, H. K. (2007). Bone age assessment of children using a digital hand atlas. Computerized Medical Imaging and Graphics, 31(4), 322-331.
- Pietka, E., Pospiech, S., Gertych, A., Cao, F., Huang, H. K., & Gilsanz, V. (2001). Computer automated approach to the extraction of epiphyseal regions in hand radiographs. Journal of digital imaging, 14(4), 165-172.
- Giordano, D., Leonardi, R., Maiorana, F., Scarciofalo, G., & Spampinato, C. (2007, August). Epiphysis and metaphysis extraction and classification by adaptive thresholding and dog filtering for automated skeletal bone age analysis. In Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE (pp. 6551-6556). IEEE.

- Agrawal, A., Patil, U., & Ranjan, S. (2011, October). Automated segmentation of epiphysis and metaphysis for computerized bone age analysis. In Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR), 2011 IEEE (pp. 1-4). IEEE.
- Pietka, E., McNitt-Gray, M. F., Kuo, M. L., & Huang, H. K. (1991). Computer-assisted phalangeal analysis in skeletal age assessment. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 10(4), 616-620.
- Giordano, D., Spampinato, C., Scarciofalo, G., & Leonardi, R. (2010). An automatic system for skeletal bone age measurement by robust processing of carpal and epiphysial/metaphysial bones. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, 59(10), 2539-2553.
- Agrawal, A., Patil, U., & Ranjan, S. (2011, October). Automated segmentation of epiphysis and metaphysis for computerized bone age analysis. In Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR), 2011 IEEE (pp. 1-4). IEEE.
- Beucher, S., & Lantuéjoul, C. (1979). Use of watersheds in contour detection.
- Doyle, W. (1962). Operations useful for similarity-invariant pattern recognition. *Journal of the ACM (JACM)*, 9(2), 259-267.