

ارایه‌ی یک روش جدید و کارآمد در تشخیص اتوماتیک سلول‌های لوسمی حاد لنفوئیدی (ALL) با استفاده از تلفیق شاخص‌های آشوب‌گونه، هندسی و آماری

محمدرضا عباسی^۱، سعید کرمانی^۲، اردشیر طالبی^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: لوسمی حاد لنفوئیدی (Acute lymphocytic leukemia یا ALL) یکی از شایع‌ترین انواع سرطان خون در میان کودکان می‌باشد. با توجه به تعداد زیاد آزمایشگاه‌های تشخیص طبی، به نظر می‌رسد در آزمایشگاه‌هایی که فرد خبره‌ای به منظور تشخیص نهایی ALL حضور ندارد، نرم‌افزار می‌تواند ابزار مناسبی در جهت اهداف کمک تشخیصی باشد. هدف از انجام پژوهش حاضر، استفاده از خصوصیات هندسی و آماری هسته‌ها در ایجاد یک سیستم تشخیص اتوماتیک دقیق بود.

روش‌ها: در این مطالعه با استفاده از الگوریتم تقطیع اتوماتیک، هسته‌ی سلول‌های سرطانی از تصاویر موجود جدا شد. با توجه به این که ویژگی‌های آشوب‌گونه باعث تمایز معنی‌داری در الگوهای رشته‌ای و لبه‌ها می‌گردد، در مرحله‌ی بعد سه دسته ویژگی هندسی، آماری و آشوب‌گونه از سلول‌ها استخراج گردید. به منظور تشخیص و طبقه‌بندی، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (Support vector machines یا SVMs) برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: روش پیشنهادی بر روی ۳۱۲ تصویر میکروسکوپی شامل سلول‌های سالم و سرطانی مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها، صحت بالای ۹۲ درصد و دقت بالای ۹۳ درصد در شش گروه سلول را نشان داد. بررسی سطح زیر منحنی (Receiver operating characteristic یا ROC) نشان دهنده‌ی کارایی بالای ۹۱ درصد در روش پیشنهادی بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان دهنده‌ی کارآمد بودن ویژگی‌های مذکور در طبقه‌بندی سلول‌های ALL است. از جمله امتیازات استفاده از ویژگی‌های آشوب‌گونه می‌توان به ایجاد تمایز در هسته‌ی سلول‌های سالم و سرطانی (که در اندازه و کروماتین تفاوت دارند) و استفاده از ویژگی‌های شکل ناهمگون سیتوپلاسم سلول‌های سالم اشاره نمود.

واژگان کلیدی: لوسمی حاد لنفوئیدی، آشوب، ماشین بردار پشتیبان، بازساخت الگو

ارجاع: عباسی محمدرضا، کرمانی سعید، طالبی اردشیر. ارایه‌ی یک روش جدید و کارآمد در تشخیص اتوماتیک سلول‌های لوسمی حاد لنفوئیدی

(ALL) با استفاده از تلفیق شاخص‌های آشوب‌گونه، هندسی و آماری. مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۶؛ ۳۵ (۴۳۳): ۶۴۷-۶۴۳

مقدمه

لوسمی حاد لنفوئیدی (Acute lymphocytic leukemia یا ALL) نوعی سرطان است که در آن مغز استخوان تعداد بسیار زیادی لنفوسیت (گونه‌ای گلبول سفید خونی) تولید می‌کند (۱). این بیماری شایع‌ترین نوع سرطان در میان اطفال می‌باشد که اگر به سرعت درمان نشود، رو به وخامت می‌گذارد (۲). استخراج ویژگی‌های مناسب از روی تصاویر این سلول‌ها بر روی لام نمونه‌های خون محیطی، نقش مهمی را در تشخیص این‌گونه بیماری‌ها ایفا می‌کند. برخی ویژگی‌ها

به صورت چشمی توسط پزشک تشخیص داده می‌شود و برخی دیگر نیازمند پردازش‌های دقیق کامپیوتری است (۳). تشخیص افتراقی بین انواع مورفولوژیک ALL شامل L₁، L₂ و L₃ از یک طرف و انواع واکنشی شامل لنفوسیت‌های Normal، Atopic و Reactive از طرف دیگر، توسط پزشک و از طریق مشاهده‌ی نمونه‌ی لام خون محیطی در زیر میکروسکوپ انجام می‌گیرد. مشکلاتی همچون خستگی پزشک و کمبود فرد خبره در آزمایشگاه‌های تشخیص طبی، ایجاد سیستم طبقه‌بندی اتوماتیک قابل اعتماد را ضروری می‌نماید.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، گروه بیوالکترونیک و مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی فن‌آوری‌های نوین علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار، گروه بیوالکترونیک و مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی فن‌آوری‌های نوین علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- دانشیار، گروه پاتولوژی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: kermani@med.mui.ac.ir

نویسنده‌ی مسؤو: سعید کرمانی

از تصاویر استخراج گردید. در روش تقطیع اتوماتیک، پیش پردازش تصویر به منظور افزایش کیفیت ناحیه‌ی مورد نظر در تصویر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، تصویر اخذ شده از فضای رنگ RGB (Red Green Blue) به فضای رنگ Hue Saturation Intensity (HIS) تبدیل و سپس بر روی باند شدت I یکنواخت‌سازی هیستوگرام انجام می‌شود (۴). در مرحله‌ی بعد، به تقطیع هسته‌ی سلول‌ها از تصاویر اصلی به وسیله‌ی الگوریتم K-Means مطابق روش پیشنهاد شده‌ی قبلی پرداخته شد (۴). به منظور استخراج سه دسته ویژگی هندسی، آماری و آشوب‌گونه از هسته‌های تقطیع شده‌ی مذکور، مطابق زیر عمل گردید.

ویژگی‌های هندسی: این ویژگی‌ها جزء ساده‌ترین انواع ویژگی‌ها منطبق با نظر همتولوژیست‌ها می‌باشند و شامل مساحت، محیط، خروج از مرکز، استحکام و گستردگی است (۵).

ویژگی‌های آماری: این ویژگی‌ها اطلاعاتی را درباره‌ی نحوه‌ی توزیع شدت روشنایی در تصویر مورد مطالعه ارایه می‌دهد و شامل انرژی، آنتروپی، میانگین، انحراف معیار، کشیدگی و چولگی می‌باشد که در فضاها رنگی RGB، HSV، و Lab بر روی هر سه باند رنگی در این فضاها محاسبه می‌شوند و در مجموع ۵۴ ویژگی آماری حاصل می‌گردد (۵).

ویژگی‌های آشوب‌گونه: به منظور بررسی ناهمواری‌های موجود در بافت تصویر و همچنین، بررسی اشکالی که هندسه‌ی منظمی ندارند، از ویژگی‌های آشوب‌گونه استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی این ویژگی‌ها، ابتدا تصویر از فضای رنگی RGB به باینری و سپس صفحه‌ی تصویر به شبکه‌ای مربعی با طولی که به آن ضریب مقیاس گفته می‌شود، تبدیل می‌گردد. حداقل مقدار ضرایب مقیاس به اندازه‌ی طول یک پیکسل و حداکثر آن به اندازه‌ی طول تصویر اصلی و مقدار آن توانی از دو است. در هر مرحله، لگاریتم مجموع تعداد مربعاتی که شامل حداقل یک پیکسل تصویر باینری هستند، به دست می‌آید (N) و بر لگاریتم ضریب مقیاس در آن مرحله (r) تقسیم می‌گردد (رابطه‌ی ۱). در نهایت، با رسم نمودار شیب منحنی این نسبت، میانگین محل خطی شدن آن به عنوان بعد فرکتال در نظر گرفته می‌شود (۱۱).

به منظور بررسی همگن بودن بافت، از شاخصی به نام Lacunarity استفاده می‌شود (۱۲) که برابر نسبت واریانس به میانگین تصویر I، به ابعاد M*N است (رابطه‌ی ۲). ترکیبات توده‌ای و جهت‌گیری‌های متفاوت در بافت‌های گوناگون ممکن است به بعد فرکتال یکسان منجر شود. بنابراین، تصویر اصلی به وسیله‌ی الگوریتم آستانه‌گذاری Otsu به چهار سطح روشنایی تقسیم می‌شود (۱۳).

مرادی امین و همکاران با استخراج ویژگی‌های هندسی و آماری جهت تشخیص سلول‌های لوسمی و طبقه‌بندی به وسیله‌ی طبقه‌بندی کننده‌ی ماشین بردار پشتیبانی (Support vector machines) یا SVMs، مطالعات متعددی را انجام دادند (۶-۸). قانع و همکاران سلول‌های Chronic myeloid leukemia (CML) را با استفاده از برخی ویژگی‌های هندسی هسته طبقه‌بندی نمودند (۷). سعیدی‌زاده و همکاران به منظور افتراق میان پلاسماسل طبیعی و میلوماسل، از ویژگی‌های آنتروپی و انحراف معیار استخراج شده از هسته و سلول استفاده کردند (۸). در کنار ویژگی‌های هندسی و آماری مذکور، به نظر می‌رسد که استفاده از نظریه‌ی آشوب و محاسبه‌ی شاخص‌های آشوب‌گونه جهت تشخیص سلول‌های لوسمی و طبقه‌بندی آن‌ها نقش مؤثری داشته باشد. مطابق این نظریه، بی‌نظمی‌های موجود در بافت سلول‌های سرطانی و مرز آن‌ها توسط بعد فرکتال بیان می‌شود. Mohapatra و همکاران در مطالعه‌ی خود با استخراج بعد فرکتال در کنار ویژگی‌های بافت و هندسی، موفق به تمایز سلول‌های سالم و سرطانی ALL شدند (۹). در پژوهش دیگری، Al-Kadi به منظور طبقه‌بندی تومور مننژیم نوع ۱، از بعد فرکتال به همراه تبدیل ویولت برای طبقه‌بندی چهار زیرگروه از این بیماری استفاده نمود (۱۰).

در مطالعه‌ی حاضر با ارایه یک روش جدید، شاخص‌های هندسی، آماری و آشوب‌گونه تلفیق گردید تا با اطمینان بیشتر الگوریتمی جهت طبقه‌بندی ALL ایجاد شود. در بخش روش این پژوهش، روش تقطیع سلول با استفاده از الگوریتم‌های K-Means و Watershed و استخراج ویژگی‌های هندسی، آماری و آشوب‌گونه و طبقه‌بندی به روش SVMs توضیح داده شد. همچنین، یافته‌ها در قالب دو جدول شامل ارزیابی مقادیر حساسیت، صحت و ویژگی و عملکرد طبقه‌بندی کننده توسط شاخص سطح زیر منحنی نمودار Receiver operating characteristic (ROC) ارایه گردید. در بخش آخر نیز به مقایسه‌ی روش ارایه شده با مطالعات قبلی و جمع‌بندی پرداخته شد.

روش‌ها

در ابتدا از ۲۱ بیمار مبتلا به ALL، ۳۱۲ تصویر میکروسکوپی اخذ شد. این تصاویر شامل ۹۵۸ سلول در شش گروه L1، L2، L3، Reactive، Normal و Atopic بود. لام‌های استفاده شده در پژوهش، از نمونه‌های موجود در آزمایشگاه پاتولوژی بیمارستان‌های سیدالشهدا (ع) و الزهراء (س) اصفهان تهیه شد. تمام تصاویر مورد استفاده نیز به وسیله‌ی دوربین Nikon 1 V1 و میکروسکوپ نوری Nikon Eclipse 50i با توان شیء ۱۰۰ و بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ گرفته شد. در ادامه، با استفاده از الگوریتم تقطیع اتوماتیک، هسته‌ی سلول‌ها

جدول ۱. نتایج حاصل از تقطیع اتوماتیک هسته‌ی سلول‌ها

دیگر سلول‌ها	Reactive	دیگر سلول‌ها	Normal	دیگر سلول‌ها	Atopic	دیگر سلول‌ها	L3	دیگر سلول‌ها	L2	دیگر سلول‌ها	L1
حساسیت	۹۴/۵۷	۹۲/۴۴	۹۳/۸۳	۸۲/۸۰	۹۷/۴۲	۹۸/۶۱	۹۷/۶۱	۹۸/۹۲	۹۱/۹۰	۹۲/۹۵	۹۳/۸۹
ویژگی	۹۲/۴۴	۹۴/۵۷	۸۲/۸۰	۹۳/۸۳	۹۷/۴۲	۹۸/۶۱	۹۸/۶۱	۹۷/۶۱	۹۱/۹۰	۹۳/۸۹	۹۲/۹۵
دقت	۹۴/۳۶	۹۴/۳۶	۹۳/۲۵	۹۳/۲۵	۹۸/۴۰	۹۸/۴۰	۹۸/۴۰	۹۸/۷۱	۹۳/۹۰	۹۳/۲۲	۹۳/۲۲

جدول ۱ نتایج حاصل از طبقه‌بندی هسته‌های تقطیع اتوماتیک را نشان می‌دهد.

ارزیابی و بررسی عملکرد طبقه‌بندی کننده: جهت ارزیابی و بررسی کارایی الگوریتم طبقه‌بندی، از نمودار ROC که نسبت تعداد نمونه‌های تشخیص داده شده صحیح به تعداد نمونه‌های تشخیص داده غیر صحیح را در ازای آستانه‌گذاری‌های مختلف به صورت نمودار نشان می‌دهد، استفاده شد (۱۵). سطح زیر منحنی ROC مطابق جدول ۲ می‌باشد. این جدول، دقت بالای ۹۱ درصد و توانایی الگوریتم در تشخیص موارد صحیح به ناصحیح در هر شش گروه سلول را نشان می‌دهد.

تصویر مرز اطراف سلول به منظور بررسی تغییرات آن به دست می‌آید و به منظور بررسی دقیق‌تر، تصویر اصلی به چهار ناحیه‌ی مختصاتی تقسیم می‌گردد و در نهایت، دو شاخص بعد فرکتال و Lacunarity بر روی تصاویر مذکور محاسبه و در مجموع ۱۸ ویژگی حاصل می‌شود.

$$FD = \frac{\log N}{\log r} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

$$lacunarity = \frac{1/MN \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} I(m,n)^2}{(1/MN \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} I(k,l))^2} - 1 \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

یافته‌ها

در پژوهش حاضر، از ۳۱۲ تصویر میکروسکوپی مربوط به سلول‌های ALL در شش گروه شامل ۲۷۷ سلول L1، ۲۱۵ سلول L2، ۱۵۱ سلول L3، ۱۷۱ سلول Atopic، ۵۰ سلول Normal و ۹۴ سلول Reactive جهت طبقه‌بندی به صورت اتوماتیک استفاده شد. پس از اعمال الگوریتم تقطیع اتوماتیک پیشنهاد شده، هسته‌ی سلول‌ها از تصاویر اصلی جدا گردید. در مرحله‌ی بعد، سه گروه ویژگی هندسی، آماری و آشوب‌گونه از تصاویر سلول‌ها استخراج و سپس به وسیله‌ی الگوریتم SVMs (۱۴) هسته‌ها به صورت دو کلاسی (یک گروه با بقیه) طبقه‌بندی شد. ارزیابی این طبقه‌بندی با استفاده از سه شاخص حساسیت، ویژگی و دقت می‌باشد که روابط آن‌ها در ادامه ارائه شده است (روابط ۳-۵).

$$Sensitivity = \frac{T_p}{T_p + F_N} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

$$Specificity = \frac{T_N}{T_N + F_p} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

$$Accuracy = \frac{T_p + T_N}{T_p + T_N + F_p + F_N} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

در این روابط، T_p تعداد سلول‌های صحیح متعلق به گروه هدف، T_N تعداد سلول‌های صحیح متعلق به گروه‌های دیگر، F_p تعداد سلول‌های اشتباه متعلق به گروه هدف و F_N تعداد سلول‌های اشتباه متعلق به گروه‌های دیگر می‌باشد.

جدول ۲. بررسی عملکرد طبقه‌بندی کننده در شش گروه سلول تقطیع شده به وسیله‌ی سطح زیر نمودار (Receiver operating characteristic) ROC

سطح زیر نمودار	Reactive	Normal	Atopic	L3	L2	L1
	۰/۹۸۶۶	۰/۹۸۲۸	۰/۹۸۷۹	۰/۹۴۸۱	۰/۹۳۱۶	۰/۹۱۶۸

نمودار ROC، دقت بالای ۹۱ درصد و توانایی الگوریتم در تشخیص موارد صحیح به ناصحیح در هر شش گروه سلول مشخص گردید. هدف اصلی از انجام پژوهش‌های آینده، اصلاح روش‌های استخراج ویژگی آشوب‌گونه به منظور استخراج ویژگی‌های مؤثرتر و انتخاب ویژگی‌های بهینه به منظور افزایش کارایی طبقه‌بندی کننده است.

تشکر و قدردانی

مطالعه‌ی حاضر برگرفته از طرح تحقیقاتی به شماره‌ی ۳۹۴۱۰۵۰ مصوب دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله از معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان به جهت حمایت از این طرح پژوهشی و کارکنان بخش آزمایشگاه تشخیصی بیمارستان‌های سیدالشهدا (ع) و الزهرا (س) اصفهان جهت همکاری در تهیه‌ی داده‌های مورد نیاز، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

بر اساس نتایج طبقه‌بندی در جدول ۱، بیشترین میزان حساسیت مربوط به سلول‌های L۳ و Atopic و کمترین آن مربوط به سلول‌های Normal بود. هر سه گروه L۱، L۲ و L۳ سلول‌هایی با شکل هندسی کروی داشتند. استفاده از ویژگی بعد فرکتال در کنار اندازه‌ی محیط، توانایی مناسبی در تشخیص این نوع سلول‌ها ایجاد می‌کند. وجود واکنش در گروه L۳ که این گروه سلول را به نسبت دو گروه دیگر متمایزتر می‌کند، با استفاده از الگوریتم به صورت محسوس‌تری تشخیص داده می‌شود. اندازه‌ی هسته‌های L۲ بزرگ‌تر از L۱ است. همچنین، کروماتین هسته‌ی آن‌ها ظریف‌تر، نوکلئول و سیتوپلاسم در آن‌ها واضح‌تر و هسته ناصاف‌تر می‌باشد. تمام موارد ذکر شده، نشان دهنده‌ی تأثیر استفاده از ویژگی‌های آشوب‌گونه در طبقه‌بندی این سلول‌ها بر اساس نتایج به دست آمده از الگوریتم طبقه‌بندی است. دقت بالای ۹۳ درصد بیانگر کارایی الگوریتم تقطیع و ویژگی‌های استخراج شده می‌باشد. بررسی کارایی الگوریتم طبقه‌بندی به وسیله‌ی

References

- Bain BJ. A beginner's guide to blood cells. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2004. p. 64-5.
- Hall JE. Guyton and Hall textbook of medical physiology. 13th ed. Philadelphia, PA: Saunders; 2015.
- Haworth C, Heppleston AD, Morris Jones PH, Campbell RH, Evans DI, Palmer MK. Routine bone marrow examination in the management of acute lymphoblastic leukaemia of childhood. *J Clin Pathol* 1981; 34(5): 483-5.
- Moradi Amin M, Kermani S, Talebi A, Oghli MG. Recognition of acute lymphoblastic leukemia cells in microscopic images using k-means clustering and support vector machine classifier. *J Med Signals Sens* 2015; 5(1): 49-58.
- Moradi Amin M, Memari A, Samadzadehghdam N, Kermani S, Talebi A. Computer aided detection and classification of acute lymphoblastic leukemia cell subtypes based on microscopic image analysis. *Microsc Res Tech* 2016; 79(10): 908-16.
- Moradi Amin M, Samadzadehghdam N, Kermani S, Talebi A. Enhanced recognition of acute lymphoblastic leukemia cells in microscopic images based on feature reduction using principle component analysis. *Frontiers in Biomedical Technologies* 2015; 2(3): 128-36.
- Ghane N, Vard A, Talebi A, Nematollahy P. Classification of effective cells in diagnosis of chronic myeloid leukemia (CML) using semi-automatic image processing of microscopic images. *J Isfahan Med Sch* 2017; 34(405): 1304-10. [In Persian].
- Saeedizadeh Z, Mehri DA, Talebi A, Rabbani H, Sarrafzadeh O, Vard A. Automatic recognition of myeloma cells in microscopic images using bottleneck algorithm, modified watershed and SVM classifier. *J Microsc* 2016; 261(1): 46-56.
- Mohapatra S, Patra D, Satpathy S. An ensemble classifier system for early diagnosis of acute lymphoblastic leukemia in blood microscopic images. *Neural Comput Appl* 2014; 24(7): 1887-904.
- Al-Kadi OS. A fractal dimension based optimal wavelet packet analysis technique for classification of meningioma brain tumours. *Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) 2009*; 2009 Nov 7-10; Cairo, Egypt. p. 4177-80.
- Napolitano A, Ungania S, Cannata V. Fractal Dimension estimation methods for biomedical images. INTECH Open Access Publisher; 2012.
- Al-Kadi OS, Watson D. Texture analysis of aggressive and nonaggressive lung tumor CE CT images. *IEEE Trans Biomed Eng* 2008; 55(7): 1822-30.
- Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 1979; 9(1): 62-6.
- Suykens JAK, Vandewalle J. Least Squares Support Vector Machine Classifiers. *Neural Process Lett* 1999; 9(3): 293-300.
- Fawcett T. ROC graphs: Notes and practical considerations for researchers. *ReCALL* 2004; 31(HPL-2003-4): 1-38.

A Novel and More Efficient Approach for Automatic Diagnosis of Acute Lymphoblastic Leukemic Cells based on Combining Geometrical and Statistical Features of Blood Cells

Mohamad Reza Abbasi¹, Saeed Kermani², Ardeshir Talebi³

Original Article

Abstract

Background: Acute lymphoblastic leukemia (ALL) is one of the most common types of leukemia among children. Due to the large number of clinical laboratories, in those with no expert pathologist for diagnosis of leukemia, software can be a useful tool for diagnostic purposes. The aim of this study was to create an automatic detector to help diagnosis process.

Methods: Using automatic segmentation algorithm, the nucleus of blast and lymphocyte cells were separated from existing images. As the chaotic characteristic caused significant difference in edges and string patterns, three geometrical, statistical, and chaotic features were derived from cells. In order to diagnosis and classification, support vector machine algorithm was used and the accuracy of classification was investigated using receiver characteristic operating curves (ROC).

Findings: This study was conducted on 312 microscopic images including blast and lymphocyte cells. There was a specificity of more than 92% and an accuracy of more than 93% in six cell groups. In addition, checking out the area under the ROC curve represented more than 91% efficiency for suggested method.

Conclusion: The findings indicate the effectiveness of these features in classification. Differentiation of blast and lymphocyte cells, that are different only in size of chromatin, and also uneven shape of lymphocyte cytoplasm, are of the advantages of using chaotic features.

Keywords: Acute lymphoblastic leukemia (ALL), Chaos, Support vector machine, Pattern recognition

Citation: Abbasi MR, Kermani S, Talebi A. A Novel and More Efficient Approach for Automatic Diagnosis of Acute Lymphoblastic Leukemic Cells based on Combining Geometrical and Statistical Features of Blood Cells. J Isfahan Med Sch 2017; 35(433): 643-7.

1- MSc Student, Student Research Committee, Department of Bioelectric and Biomedical Engineering, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Department of Bioelectric and Biomedical Engineering, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

3- Associate Professor, Department of Pathology, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Corresponding Author: Saeed Kermani, Email: kermani@med.mui.ac.ir