



شمارش نیمه اتوماتیک دیوهای خاکریزی از تصاویر ماهواره‌ای Geoeye به کمک روشی مبتنی بر فضای پدیده و توابع مورفولوژیک

حامد کاجار^۱، علیرضا صفدری نژاد^۲، احمد معدنچی^۳ و محمدجواد ولدان زوج^۴

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، hamedkachar@gmail.com

^۲ کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، safdari_nezhad@sina.kntu.ac.ir

^۳ کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ahmad.madanchi@gmail.com

^۴ دانشیار گروه مهندسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، valadanzouj@kntu.ac.ir

چکیده - یکی از نشانه‌های انجام فعالیت‌های عمرانی، فرآیند خاکبرداری و وجود دیوهای خاکریزی در منطقه است. شناسایی و شمارش دیوهای خاکریزی، به کارشناسان عمرانی و نظامی جهت تشخیص نوع فعالیت عمرانی صورت گرفته، کمک شایانی خواهد نمود و این امر در مسائل فرماندهی برای مدیران جامعه بسیار حائز اهمیت است. راهکار رایج جهت شناسایی و شمارش دیوهای خاکریزی ناشی از فعالیت‌های عمرانی و دستیابی به تخمینی از میزان خاک دیوشده موجود در منطقه، استفاده از روش‌های میدانی و زمینی است که مستلزم حضور در منطقه و صرف نمودن زمان و هزینه‌ی بسیار زیادی است. علاوه بر این، روش‌های میدانی هیچگونه اطلاعات مکامند معنی‌داری، نظیر نقشه‌ی پراکندگی دیوهای خاکریزی در اختیار تصمیم‌گیرندگان عمرانی و نظامی قرار نمی‌دهند. در مقاله‌ی پیش رو، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Geoeye در گام نخست روشی مبتنی بر تولید ویژگی بر مبنای مشخصه‌های بافتی، انتخاب ویژگی در فضای پدیده و استفاده از خوشه‌بندی‌کننده k -means برای شناسایی محدوده‌ی سایت دیوهای خاکریزی و در گام دوم روشی مبتنی بر استفاده از عملگرهای مورفولوژیک برای شمارش دیوهای خاکریزی پیشنهاد گردید. نتایج حاصل از ارزیابی، حاکی از دقت کلی ۹۲/۸ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۵ برای شناسایی و دقت کلی ۹۱/۵ درصد و پارامتر ریسک‌پذیری ۳ درصد برای شمارش دیوهای خاکریزی می‌باشد. کلید واژه- انتخاب ویژگی، تصاویر ماهواره‌ای Geoeye، دیوهای خاکریزی، عملگرهای مورفولوژیک، فضای پدیده.

مسائل فرماندهی برای مدیران جامعه بسیار حائز اهمیت است. برای بررسی و تشخیص مناطقی که خاک‌های مازاد حاصل از حفاری‌های عمرانی توسط ماشین‌آلات راهسازی حمل و در آن مکان دپو شده و همچنین دستیابی به تخمینی از میزان خاک دپو شده، استفاده از روش‌های میدانی و زمینی مستلزم حضور در منطقه‌ی مورد نظر و به کارگیری زمان و هزینه‌ی بسیار زیادی است. از این رو استفاده از روش‌های کم‌هزینه، نوین و همچنین با پوشش وسیع جغرافیایی لازم به نظر می‌رسد، لذا به کارگیری تکنیک‌های سنجش از دوری و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت شناسایی و شمارش دیوهای خاکریزی در یک محدوده‌ی وسیع جغرافیایی امری اجتناب‌ناپذیر است.

۱- مقدمه

با انجام فعالیت‌های عمرانی، تغییرات و رخ‌نمون‌هایی در شکل طبیعی زمین ایجاد می‌شود. با توجه به آن که فعالیت‌های عمرانی غالباً با فرآیند خاکبرداری همراه است، مدیران کارگاه‌های عمرانی برای صرفه‌جویی در هزینه، مناطقی در نزدیکی کارگاه عمرانی را به عنوان محلی برای انبار و دپو کردن خاک‌های مازاد حاصل از حفاری در نظر می‌گیرند. از این رو می‌توان فرآیند خاکبرداری و وجود دیوهای خاک در منطقه را به عنوان یکی از نشانگرهای انجام فعالیت عمرانی تلقی نمود. با شناسایی و شمارش دیوهای خاکریزی، علاوه بر دستیابی به برآوردی تقریبی از میزان حجم کلی دیوهای خاکریزی، دید کلی نیز، برای کارشناسان عمرانی و نظامی جهت تشخیص نوع فعالیت عمرانی صورت گرفته، ایجاد خواهد شد که این امر در

۲- متدولوژی

با توجه به شکل ۱، اگرچه چیدمان دپوهای خاکریزی بسیار متنوع و متفاوت است و از یک الگوی ثابت و یکسانی پیروی نمی‌کند، اما بافت^۱ تصویر در مناطق دپو متمایز و متفاوت از سایر مناطق است. از طرفی به نظر می‌رسد شناسایی مرز و محدوده‌ی سایت‌های دپوهای خاکریزی با استفاده از ویژگی‌های بافتی تصویر امکان‌پذیر باشد. لذا در ادامه‌ی روند تحقیق، منطقه‌ی مورد مطالعه (شکل ۲)، انتخاب شد.



شکل ۲: تصویر اخذ شده توسط سنجنده‌ی Geoeye از منطقه‌ی مورد مطالعه

لازم به ذکر است، سنجنده‌ی Geoeye1 در بین سیستم‌های تصویربرداری تجاری بالاترین قدرت تفکیک مکانی را داراست و قادر به جمع‌آوری تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۰/۴۱ متری در حالت پانکروماتیک (سیاه و سفید) و ۱/۶۵ متری در حالت رنگی می‌باشد. باند پانکروماتیک این سنجنده به دلیل مسائل نظامی برای هم‌هی مشتریان تا ۰/۵ متر نمونه‌برداری مجدد می‌شود [۱].

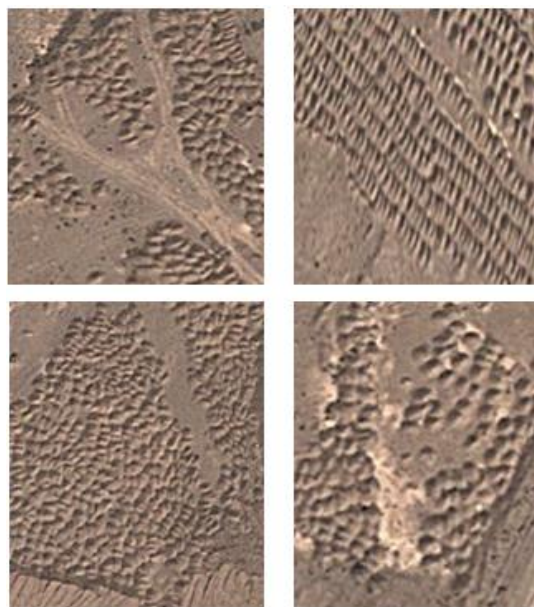
۲-۲- روش پیشنهادی

با توجه به محوریت پژوهش حاضر یعنی شناسایی و شمارش دپوهای خاکریزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، روش و الگوریتم پیشنهادی شامل دو مرحله‌ی اصلی می‌باشد. در مرحله‌ی اول محدوده‌ی سایت دپوهای خاکریزی شناسایی و در مرحله‌ی دوم تعداد دپوهای خاکریزی موجود در تصویر شمارش می‌شود. در ادامه، روند اجرای هر یک از دو مرحله‌ی فوق‌الذکر بیان خواهد شد.

اولین مرحله‌ی تحقیق، نیازسنجی جهت انتخاب مناسب‌ترین تصویر ماهواره‌ای برای انجام پژوهش حاضر است. با توجه به آن که غالباً برای حمل و دپو کردن خاک‌های مازاد ناشی از حفاری‌های عمرانی، از کامیون‌های (کمپرسی‌های) راهسازی با ظرفیت محدود و معلوم استفاده می‌شود و با بررسی‌هایی که به صورت زمینی و در محل دپو انجام گرفت، حجم و میزان فضای اشغال شده‌ی زمین توسط دپوهای خاک تقریباً برابر ۸ متر مکعب می‌باشد، لذا باید از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا جهت شناسایی و شمارش دپوهای خاکریزی استفاده نمود.

۱-۲- منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

با توجه به لزوم استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا جهت شناسایی و شمارش دپوهای خاکریزی و با بررسی‌ها و مطالعات انجام گرفته، منطقه‌ی نطنز در استان اصفهان با وجود کارگاه‌های عمرانی فراوان، منطقه‌ای مناسب برای انجام پژوهش حاضر تلقی شد. از این رو با استفاده از جست‌وجوگر Google Earth منطقه‌ی مذکور مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به گزارش نرم افزار Google Earth، تصاویر اخذ شده از مناطق مذکور، تصاویر سنجنده‌ی Geoeye می‌باشد، لذا از تصاویر مزبور در پژوهش حاضر استفاده گردید. آرایش و چیدمان دپوهای خاکریزی بر روی زمین بسیار متنوع و متفاوت می‌باشد. از این رو در شکل ۱، نمونه‌ای از چیدمان‌های گوناگون دپوهای خاکریزی نشان داده شده است.



شکل ۱: نمونه‌ای از نحوه‌ی چیدمان‌های گوناگون دپوهای خاکریزی

^۱ Texture

۲-۲-۱- مرحله اول: شناسایی محدوده‌ی دیوها

برای استخراج اطلاعات از تصاویر به ویژه تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، محدودیت‌هایی وجود دارد. با توجه به پایین بودن قدرت تفکیک طیفی تصاویر مذکور، طبقه‌بندی این نوع از تصاویر منجر به نتایج قابل توجهی نمی‌گردد. بنابراین بایستی از داده‌های کمکی و روش‌های دیگری جهت استخراج اطلاعات از این تصاویر استفاده نمود.

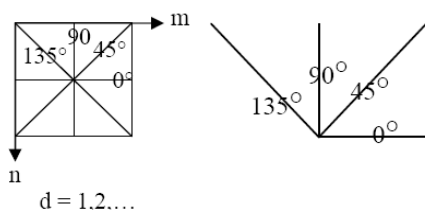
با توجه به رفتار منظم چیدمان درجات خاکستری دیوهای خاکریزی در تصویر نسبت به دیگر عوارض منطقه (شکل ۱ و ۲)، می‌توان با استفاده از مشخصه‌های بافتی و ویژگی‌های متن تصویر به نحوی محدوده‌ی سایت دیوهای خاکریزی را از سایر مناطق تفکیک نمود. در واقع منظور از بافت تصویر، چگونگی توزیع درجات خاکستری در تصویر است [۲]. در ادامه روش به کار گرفته شده برای استخراج ویژگی‌های بافتی از تصویر بیان شده است.

۲-۲-۱-۱- استخراج ویژگی‌های بافتی

محققین با استفاده از روش‌های مختلفی سعی در کمی‌سازی بافت تصویر نموده‌اند. Haralick در سال ۱۹۷۳ به معرفی روش کمی‌سازی بافت با استفاده از ماتریس رخداد توام^۲ پرداخت [۳]. در این روش از ماتریس رخداد توام به عنوان یک واسطه، جهت تولید ویژگی‌های آشکارساز بافت تصویر استفاده می‌شود. ماتریس رخداد توام یک ماتریس مربعی با ابعاد $N_g \times N_g$ است که N_g تعداد درجات خاکستری موجود در تصویر است. هر درایه‌ی این ماتریس بیانگر تعداد زوج پیکسل‌هایی است که در سطح تصویر دارای درجات خاکستری i و j بوده و در راستای θ از یکدیگر به اندازه‌ی d پیکسل فاصله دارند. به طور معمول این ماتریس برای چهار جهت اصلی تعریف می‌شود (شکل ۳). رابطه‌ی (۱)، تعریف ماتریس رخداد توام می‌باشد [۳].

$$GLCM_d^\theta = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \eta(0,0) \dots \dots \eta(0, N_{g-1}) \\ \eta(1,0) \dots \dots \dots \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \eta(N_{g-1},0) \dots \dots \dots \eta(N_{g-1}, N_{g-1}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

در رابطه‌ی (۱)، N_g تعداد درجات خاکستری، R مجموع کل تعداد جفت‌های ممکن و $\eta(i, j)$ بیانگر تعداد زوج پیکسل‌هایی با درجات خاکستری i و j در راستای θ و در فاصله‌ی d می‌باشد.



شکل ۳: چهار جهت اصلی برای ماتریس رخداد توام [۳]

پس از تولید ماتریس رخداد توام، ویژگی‌های مختلفی را می‌توان با استفاده از آن تولید کرد. این روش را Haralick در سال ۱۹۷۳ معرفی کرد و در مقاله‌ای به معرفی ۱۴ معیار قابل استخراج از این ماتریس‌ها پرداخت [۳]. در پژوهش حاضر با استفاده از ماتریس رخداد توام، ویژگی‌هایی از قبیل کنتراست، عدم شباهت^۳، انترپی^۴، هموزنیتی^۵، میانگین، واریانس و همبستگی^۶ از متن تصویر استخراج شد. در مجموع با استفاده از ماتریس رخداد توام، ۱۰۰ ویژگی بافتی برای هر پیکسل تولید شد. پیش از استفاده از این ویژگی‌ها در فرآیند طبقه‌بندی و شناسایی محدوده‌ی دیوهای خاکریزی، لازم است ویژگی‌های مناسب برای جدا نمودن کلاس‌های مورد نظر شناسایی شوند. در ادامه نحوه‌ی انتخاب ویژگی‌های بهینه بیان خواهد شد.

۲-۲-۱-۲- انتخاب ویژگی

انتخاب ویژگی^۷ در فرآیند طبقه‌بندی از سه جنبه حائز اهمیت است. از طرفی، افزایش ویژگی‌های مورد استفاده در فرآیند طبقه‌بندی موجب افزایش هزینه محاسباتی طبقه‌بندی

³ Dissimilarity

⁴ Entropy

⁵ Homogeneity

⁶ Correlation

⁷ Feature Selection

² Co-Occurrence Matrix

تفکیک‌پذیری مشابه آنها در ارتباط با کلاس‌های مورد طبقه‌بندی است، حتی اگر فاصله این دو ویژگی از قطر اصلی فضای پدیده زیاد باشد باز هم می‌توان یکی از آنها را حذف نمود. به عبارت دیگر، ویژگی‌های نزدیک به هم در فضای پدیده حتی اگر فاصله زیادی از قطر اصلی فضای پدیده داشته باشند، موجب رفتار تفکیک‌پذیری متمایزی نخواهند شد [۵].

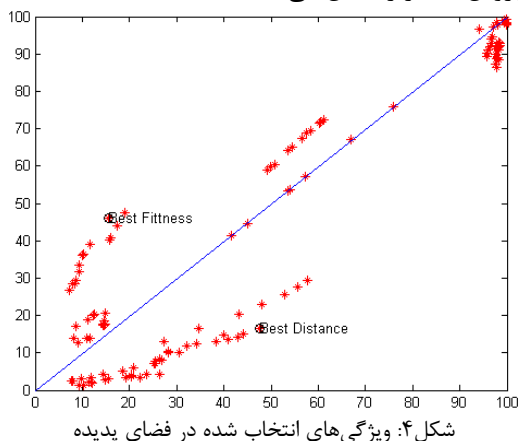
به این ترتیب، در گام نخست، اولین ویژگی بهینه براساس بیشینه رابطه (۲) قابل شناسایی خواهد بود:

$$\bar{F}_1 = \frac{\bar{d}}{STD_{mean}} \quad (2)$$

که در آن \bar{d} ، بردار فاصله‌ی ویژگی‌ها از قطر اصلی فضای پدیده و STD_{mean} ، بردار متوسط انحراف معیار ویژگی‌ها (هر ویژگی به ازای هر کلاس دارای یک انحراف معیار خواهد بود) و \bar{F}_1 ، بردار فاصله‌ی وزندار ویژگی‌ها از قطر اصلی فضای پدیده می‌باشد. طبیعتاً در انتخاب نخستین ویژگی بهینه فاصله از سایر ویژگی‌ها مفهومی ندارد، به همین جهت این پارامتر در رابطه (۲) مشاهده نمی‌شود. پس از مشخص شدن نخستین ویژگی بهینه، برای انتخاب سایر ویژگی‌ها یک معیار بهینگی به فرم رابطه (۳) به کار گرفته شد:

$$\bar{F}_i = \max \left(\bar{F}_1 \bullet \frac{\sum_{k=1}^{i-1} \bar{d}_k}{i-1} \right), i=2,3,\dots,n \quad (3)$$

که در این رابطه، \bar{d}_k بردار فاصله ویژگی‌ها از ویژگی انتخاب شده در مراحل قبل $(i-1, i-2, \dots, 1)$ و n تعداد ویژگی‌هایی است که قرار است انتخاب شوند. لازم به ذکر است که در رابطه‌ی فوق، عملگر "•" نشان‌دهنده‌ی ضرب درایه به درایه می‌باشد. شکل ۴، ویژگی‌های انتخاب شده در فضای پدیده برای پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.



می‌گردد و این امر به نوبه خود موجب کاهش کارایی طبقه‌بندی‌کننده می‌شود. از طرف دیگر، با افزایش ویژگی‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی، برای پرهیز از وقوع پدیده Hughes، نیاز به داده‌های آموزشی نیز افزایش می‌یابد [۴]. در نهایت، وجود ویژگی‌هایی که تفکیک‌پذیری^۸ مناسبی میان کلاس‌های مورد نظر ایجاد نمی‌کنند، می‌توانند موجب کاهش دقت طبقه‌بندی گردند.

با توجه به هدف پژوهش حاضر یعنی شناسایی محدوده‌ی دپوهای خاکریزی، دو کلاس دپوهای خاکریزی و مناطق عاری از دپوهای خاکریزی تعریف شد. برای انتخاب ویژگی مناسب جهت تفکیک‌پذیری بین کلاس‌ها، یک سری داده از مناطق دپوهای خاکریزی و یک سری داده‌ی دیگر از سایر مناطق به عنوان داده‌های آموزشی از تصویر استخراج شد. هر یک از مجموعه داده‌های آموزشی به ازای هر پیکسل حاوی ۱۰۰ ویژگی بافتی است. حال در ادامه نحوه‌ی استفاده از دو مجموعه داده‌ی آموزشی مذکور و طریقه‌ی انتخاب مناسب‌ترین ویژگی بافتی برای تفکیک دو کلاس دپو و مناطق عاری از دپو بیان خواهد شد. یکی از روش‌های انتخاب ویژگی، استفاده از فضای پدیده^۹ است [۵]. در این فضا، هر کلاس به منزله یکی از محورهای سیستم مختصات متعامد تعریف کننده فضا، و هر ویژگی مشخص کننده یک نقطه در این فضا خواهد بود. به این ترتیب، فاصله نمایندگان کلاس‌ها از قطر اصلی این فضا می‌تواند به عنوان معیاری از تفکیک‌پذیری ویژگی‌ها در ارتباط با کلاس‌های مورد نظر تعبیر شود. در این حالت، هر چه فاصله یک ویژگی از قطر اصلی فضای پدیده بیشتر باشد، این ویژگی تفکیک‌پذیری بیشتری میان کلاس‌های مورد نظر ایجاد خواهد نمود.

در مقاله حاضر، برای انتخاب ویژگی‌های بهینه، افزون بر فاصله ویژگی‌ها از قطر اصلی فضای پدیده، دو شرط دیگر نیز مورد توجه قرار گرفت: ۱- انحراف معیار ویژگی‌ها برای هر کلاس؛ که به نحوی معیاری از تعمیم‌پذیری رفتار تفکیک‌پذیری ویژگی در خصوص داده‌های مورد طبقه‌بندی خواهد بود. ۲- فاصله ویژگی‌ها از یکدیگر در فضای پدیده؛ با توجه به این واقعیت که موقعیت مشابه دو ویژگی در فضای پدیده به معنای رفتار

⁸ Separability

⁹ Prototype Space

۲-۲-۳-۳- نتایج

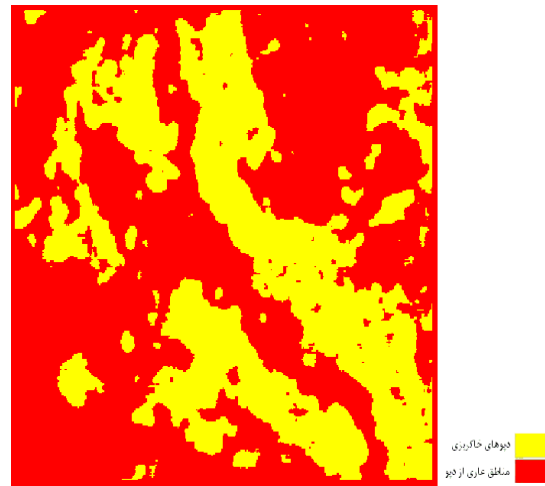
ایجاد می‌شود، از این رو نمی‌توان با استفاده از معیارهایی مانند لحاظ نمودن حد آستانه بر روی هیستوگرام تصویر، دپوهای خاکریزی متراکم و پیوسته را به واحدهای جدا، منفک و مستقل از هم تقسیم و شمارش کرد. لذا با توجه به شکل دپوها (شکل ۲) که از لحاظ ریخت‌شناسی با محیط اطراف (که غالباً مناطق بیابانی و مناطق عاری از مصنوعات دست‌ساز بشر می‌باشند) و پس‌زمینه‌ی تصویر دارای تمایز و تفاوت می‌باشند، از عملگرهای مورفولوژی ریاضی در روند شمارش دپوهای خاکریزی استفاده شد، در ادامه شرح الگوریتم پیشنهادی بیان خواهد شد.

۲-۲-۳-۱- شرح الگوریتم شمارش دپوها

الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر یک فرض اساسی است. با توجه به آن که به طور تقریبی و تجربی مساحت اشغال شده توسط دپوهای خاکریزی برابر ۷ مترمربع می‌باشد، لذا اندازه‌ی دپوهای قابل کشف در تصویر حداقل ۲۸ پیکسل 0.5 متری است. از این رو الگوریتم مذکور به دنبال شمارش دپوهایی که مساحت آن‌ها از ۲۸ پیکسل کمتر باشد، نیست.

با توجه به هدف اصلی پژوهش حاضر یعنی شمارش دپوهای خاکریزی و به منظور محدود نمودن حیطه‌ی کار، از عملگر Erosion [۶] روی تصویر اصلی (شکل ۲) به تعداد دو مرتبه‌ی متوالی، استفاده شد. در این حالت که عملگر Erosion روی تصویری غیر باینری اعمال می‌شود، عمل کوچک کردن (shrink) را انجام می‌دهد و با کوچک‌تر شدن محدوده‌ی دپوهای خاکریزی، از تولید نقاط زیاد به ازای دپوها اجتناب می‌شود. عملکرد عملگر Erosion بدین صورت است که در پنجره‌ی عملیاتی خود که در پژوهش حاضر یک مربع 3×3 در نظر گرفته شد، کوچک‌ترین مقدار را به پیکسل مرکزی هسته‌ی عملگر منتسب می‌کند. نتیجه‌ی اعمال این عملگر روی تصویر اصلی در شکل ۶، نشان داده شده است.

از مجموع ۱۰۰ ویژگی بافتی تولید شده برای هر پیکسل، دو ویژگی تامین‌کننده بیشترین معیار بهینگی، انتخاب گردید و براساس این ویژگی‌ها، بردار ویژگی مورد استفاده در فرآیند خوشه‌بندی تولید شد. سپس، برای طبقه‌بندی تصویر به دو کلاس دپو و مناطق عاری از دپو، بر مبنای ویژگی‌های انتخابی، روش خوشه‌بندی k-means مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵).



شکل ۵: تصویر طبقه‌بندی شده به دو کلاس دپو و مناطق عاری از دپو

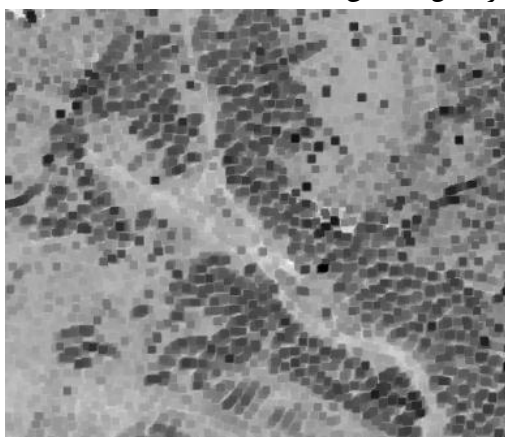
در نهایت عملکرد طبقه‌بندی‌کننده مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱) و نتایج ارزیابی حاکی از دقت کلی $92/8$ درصد و ضریب کاپای $0/85$ می‌باشد.

جدول ۱: ماتریس ابهام نتایج خوشه‌بندی

کلاس	دپوهای خاکریزی	مناطق عاری از دپو	مجموع
دپوهای خاکریزی	۱۹۸۷	۳۵۰	۲۳۳۷
مناطق عاری از دپو	۲۱	۲۸۴۶	۲۸۶۷
مجموع	۲۰۰۸	۳۱۹۶	۵۲۰۴

۲-۲-۳-۲- مرحله‌ی دوم: شمارش دپوهای خاکریزی

پس از بیان نحوه و چگونگی شناسایی محدوده‌ی سایت دپوهای خاکریزی، در ادامه روش پیشنهادی و به کار گرفته شده برای شمارش دپوهای خاکریزی موجود در تصویر بیان خواهد شد. همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره شد، رفتار چیدمان‌های دپوهای خاکریزی متفاوت می‌باشد، از این رو اندازه، تراکم و به هم‌پیوستگی دپوها متنوع و متفاوت است. بسته به زاویه‌ی تابش خورشید، زمان و چگونگی تصویربرداری، طیف رنگی وسیعی از سیاه تا سفید برای دپوهای خاکریزی در تصویر



شکل ۶: حاصل اعمال عملگر Erosion بر روی تصویر اصلی

- [7] W.U. Hualing and X.U. Xiaobo, "Research on Automatic Segmentation of Remote Sensing Image", *Congress on Intelligent Systems(GCIS)*, vol. 2, pp. 111-114, 2010.
- [8] J.M. Sharif, M.F. Miswan, M.A. Ngadi, M.S.H. Salam and M. Mahadi Bin Abdul Gamil, "Red Blood Cell Segmentation Using Masking and Watershed Algorithm: A preliminary study", *International Conference Biomedical Engineering(ICOBE)*, pp. 258-262, 2012.
- [9] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*. Prentice – Hall, pp. 617-624, 2002.