

طراحی و ارزیابی الگوریتم طبقه بندی مکانی چند مقیاسی جهت استخراج اطلاعات از تصاویر

ماهواره ای

عباس علی محمدی و مهران شیرکوند

گروه GIS دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

Email:alimoh_abb@yahoo.com

کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی

Email:mehranshir@yahoo.com

چکیده:

با توجه به عدم استفاده موثر از اطلاعات مکانی برای تفکیک کلاس های مختلف در الگوریتم طبقه بندی مجدد مکانی مبتنی بر پنجره ($SPARK^1$)، در این تحقیق امکان ترکیب اطلاعات پنجره های با اندازه مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. تجربیات قبلی نشان داده اند که محدود سازی اطلاعات مکانی به اندازه پنجره ثابت، کارائی چندانی برای استخراج ویژگیهای مکانی کاربری ها و پوششهای متنوع موجود در غالب چشم اندازها بخصوص محیط شهرها را ندارد. به منظور رفع مشکل مذکور، در این تحقیق الگوریتم $SPARK$ چند مقیاسی، مبتنی بر ترکیب پنجره ها ($M-SPARK^2$) طراحی و مورد ارزیابی قرار گرفته است. ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، برای تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی با کلاسهای مشابه از نظر طیفی، با استفاده از تصاویر سنجنده چند طیفی ماهواره SPOT اخذ شده در سال ۲۰۰۲ مربوط به مناطق ۵ و ۱۸ شهری تهران انجام شده است.

نتایج حاصل از ارزیابی عملی نشان می دهند که الگوریتم پیشنهادی، از توانایی بالاتری برای استخراج کلاسهای مختلف کاربری بر خوردار بوده و دقت طبقه بندی تمامی کلاسهای کاربری اعم از مسکونی متراکم، مسکونی کم تراکم، صنعتی، مجتمع های درختی و پارک جنگلی، زراعی، اراضی بایر و آب، بصورت قابل ملاحظه افزایش یافته است. بطوریکه دقت کلی طبقه بندی از ۸۲,۳۹ درصد در طبقه بندی بوسیله $SPARK$ مبتنی بر مناسبترین اندازه پنجره ثابت (۹ در ۹ پیکسل) به ۹۲ درصد در طبقه بندی بوسیله $M-SPARK$ ، افزایش یافته است.

¹ Spatial Reclassification Kernel

² - Mutiscale- SPARK

کلمات کلیدی: پنجره (Kernel)، طبقه بندی مجدد مکانی (Spatial Reclassification Kernel)، SPARK، ماتریس همسایگی (Adjacency Event Matrix)، ماتریس الگو (Template Matrix)، شاخص شباهت (Similarity Index).

مقدمه:

در غالب موارد، طبقه بندی تصاویر ماهواره ای تنها بر اساس بازتاب طیفی پیکسل های تصویر و با استفاده از روشهای حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین یا سایر روشهای متداول انجام می گیرد. مشکل اساسی که در تولید نقشه های کاربری و پوشش اراضی در مناطق شهری و مسکونی از تصاویر سنجش از دور وجود دارد این است که این مناطق شامل ترکیبهایی پیچیده از انواع پوشش زمین (Land cover) با ویژگیهای طیفی مختلفی می باشند (Wharton, 1982; Barnsley et al., 1991; Eyton, 1993). متأسفانه الگوریتمهای طبقه بندی تصاویر ماهواره ای که بر مبنای پیکسل عمل می نمایند، در مورد مسئله استفاده از اطلاعات مکانی کلاسها موفقیت چندانی نداشته اند. زیرا این الگوریتمها هر پیکسل را بر اساس شباهت طیفی آن به یکی از کلاسهای مورد بررسی اختصاص می دهند (Woodcock and Strahler, 1987; Barnsley et al., 1991; Barnsley and Barr, 1992). در غالب این الگوریتمها موقعیت پیکسل ها و رابطه بین بازتاب طیفی آنها با پیکسلهای همجوار در نظر گرفته نمی شود. مشکل اساسی تر در مورد طبقه بندی نظارت شده آن است که تعریف نمونه های آموزشی (Training samples) مناسب، برای بسیاری از طبقات کاربری اراضی شهری به دلیل تغییرات زیاد بازتاب طیفی کلاسهای پوشش زمین مشکل می باشد (Forster, 1980; Gong and Howarth, 1992; Barnsley et al., 1991). زیرا نمونه های آموزشی در هر باند طیفی غالباً دارای توزیع آماری غیر نرمال بوده و تغییرپذیری زیادی نشان می دهند (Sadler et al., 1991).

تا کنون اقدامات متعددی جهت رفع مشکلات مذکور صورت گرفته که پردازشهای مکانی پس از طبقه بندی، استفاده از ویژگی های مکانی مانند: بافت، استفاده از سیستم های خبره و دانش مبنای، به کارگیری شبکه های عصبی (Civco, 1993; Hepner, Logan, Ritter, and Bryant, 1990) از جمله موارد قابل ذکر میباشند.

علیرغم پیشرفتهای حاصله در اجرای روش های نوین طبقه بندی، روش های پیشنهاد شده، دارای محدودیت های مهمی می باشند و مسئله استخراج کلاس های پیچیده کاربری در نواحی شهری از تصاویر با قدرت تفکیک بالا حل نشده است.

روش طبقه بندی مجدد مکانی بعنوان روشی ساده و عملی برای تعیین کلاسهای مکانی پوشش زمین در تصاویر سنجش از دور پیشنهاد شده است (Wharton, 1982 ; Barnsley & Barr, 1996). این روش، فرآیند طبقه بندی را به دو مرحله تقسیم می کند. اولین مرحله شامل اجرای طبقه بندی پیکسل مبنای می باشد.

دومین مرحله عملیات، شامل پردازش مکانی پس از طبقه بندی می باشد. طبقه بندی مجدد مکانی که اصطلاحاً تحت عنوان SPARK (Spatial Reclassification Kernel) شناخته می شود، فراوانی کلاسهای پوشش واقع در داخل پنجره را برآورد می نماید. علیرغم قابلیت های مناسب در طبقه بندی کلاسهای کاربری اراضی، این روش نیز با محدودیتهایی همراه میباشد. تعیین اندازه مناسب پنجره به منظور استخراج تمامی کلاسهای مختلف کاربری در یک مرحله از جمله این محدودیتهای می باشد.

در این مقاله، جهت حل این مسئله، الگوریتم M-SPARK طراحی شده و قابلیت های عملی این الگوریتم با استفاده از تصاویر ماهواره SPOT، جهت تهیه نقشه کاربری اراضی در قسمتی از شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفته است. تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای با استفاده از نقشه های با مقیاس ۱:۲۰۰۰ مربوط به مرکز GIS شهر تهران انجام شده است.

پیشینه تحقیقاتی

نخستین بار Wharton (1982) استفاده از روش طبقه بندی مجدد مکانی را به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی در مناطق شهری پیشنهاد نمود. فرضیه اساسی روش پیشنهادی Wharton این بود که طبقات مختلف کاربری با استفاده از ترکیب انواع پوشش زمین با ویژگیهای طیفی متفاوت، قابل تشخیص و جدا سازی هستند. به طور مثال مناطق مسکونی مجزا، آمیزه ای از خانه ها، جاده ها و باغ ها می باشند. روش مورد استفاده توسط Wharton، اولین نمونه و مثال استفاده از روش طبقه بندی مجدد مکانی بر روی تصاویر طبقه بندی شده با استفاده از الگوریتم طبقه بندی نظارت نشده (Unsupervised classification) می باشد. در این روش فراوانی انواع مختلف پوشش زمین در یک محدوده n در n پیکسل، واقع در یک پنجره راست گوشه ساده محاسبه می شود. نوع کاربری اراضی مربوط به هر پیکسل با استفاده از اعمال الگوریتم طبقه بندی حداقل فاصله از میانگین بر داده های مربوط به فراوانی پیکسلهای داخل پنجره، تعیین می گردد. هرچند در روش ارائه شده توسط Wharton فراوانی کلاسهای پوشش واقع در پنجره مورد استفاده قرار میگیرد، اما اطلاعات مربوط به نظم و ترتیب مکانی کلاسهای پوشش زمین در نظر گرفته نمیشود. در نتیجه دو پنجره دارای فراوانی پوشش یکسان اما با ترتیب مکانی و نوع همسایگی متفاوت قابل تمایز نبوده و به یک کلاس مشابه اختصاص داده میشوند. این مسئله باعث می گردد که دو کلاس دارای الگوی همسایگی مختلف اما فراوانی پوشش یکسان قابل تشخیص نباشند (شکل ۲ و جدول ۱).

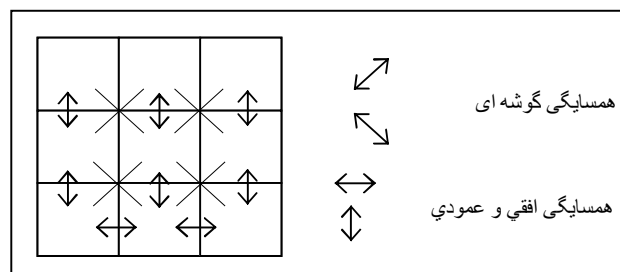
مطالعات دیگری توسط Whitehouse (1990), Guo and Moore (1991), Gong and Howarth (1992), Eyton (1993) انجام شده که در آنها طبقه بندی اولیه پوشش با استفاده از الگوریتمهای طبقه بندی نظارت شده انجام شده و نتایج آن برای محاسبه لایه مربوط به فراوانی پوشش ها مورد استفاده قرار گرفته است.

Barr و Bamsley (1996) با انجام مطالعه ای ضمن بررسی روشهای مختلف تهیه نقشه کاربری اراضی شهری از تصاویر ماهواره ای و مشکلات موجود برای حصول نتیجه مناسب، روش پیشنهاد شده توسط Wharton برای طبقه بندی مجدد مکانی را بهبود بخشیدند. در روش مذکور، علاوه بر در نظر گرفتن فراوانی کلاسه‌های واقع در پنجره، ترتیب مکانی و نوع همسایگی کلاسه‌ها نیز در نظر گرفته شده است. محققین مذکور در این مطالعه پنجره‌های با ابعاد مختلف شامل ۳ در ۳، ۵ در ۵، ۷ در ۷ و ۹ در ۹ پیکسل بر روی تصویر ماهواره ای SPOT در منطقه ای از جنوب لندن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج طبقه بندی ها با استفاده از ماتریس خطا و شاخص کاپا، دقت کل و دقت میانگین مورد ارزیابی قرار گرفت و استفاده از اندازه پنجره ۹ در ۹ در مرحله طبقه بندی مجدد، با نتایج بهتری همراه بود.

Kuo et al.,(2001) با استفاده از الگوریتم طبقه بندی مجدد مکانی SPARK اقدام به تهیه نقشه کاربری مناطق شهری نموده و به منظور ارزیابی صحت طبقه بندی از الگوریتم فازی استفاده کرده اند. در این مطالعه ضمن تاکید بر ضعف های طبقه بندی پیکسل مبنا در تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالا(مانند تصاویر ماهواره آیکونوس)، از الگوریتم طبقه بندی مجدد مکانی، ارائه شده توسط Wharton و اصلاح شده توسط Barr و Bamsley (1996) استفاده شد. محققین مذکور تصویر موردنظر را با استفاده از الگوریتم طبقه بندی حداکثر احتمال (MLC) به هفت کلاس علفزار، زراعی، ساختمانهای بزرگ، ساختمانهای کوچک، خاک، درخت و آب طبقه بندی کردند. در مرحله طبقه بندی مجدد مکانی با استفاده از پنجره با ابعاد ۷ در ۷ پیکسل، کلاسه‌های پوشش زمین به شش کلاس کشاورزی، صنعتی، مسکونی کم تراکم، مسکونی با تراکم متوسط، خاک و آب طبقه بندی شد. بنابر این در این تحقیق تنها پنجره ۷ در ۷ مورد استفاده قرار گرفت.

الگوریتم SPARK

الگوریتم SPARK با محاسبه زوج پیکسلهای همسایه در یک پنجره راست گوشه(همسایگی های افقی، عمودی و گوشه ای) عمل می نماید که ابعاد این پنجره توسط کاربر قابل تعریف میباشد(شکل ۱).



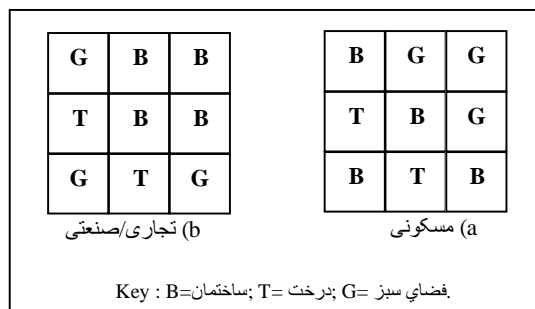
شکل ۱- تعریف همسایگی در یک پنجره ۳ در ۳ پیکسل

در این الگوریتم، حالت‌های مختلف همسایگی بر مبنای کلاس مربوط به پیکسل‌های همسایه تعیین می‌شود. بعنوان مثال پیکسل‌های همسایه دارای طبقه ساختمان و درخت، حالت همسایگی ساختمان-درخت بوجود می‌آورند. ضمناً هر زوج از پیکسل‌ها، تنها یک حالت همسایگی ایجاد می‌کنند و در نتیجه جهت قرار گرفتن طبقات در نوع همسایگی تأثیرگذار نمی‌باشد. به طور مثال دو نوع همسایگی ساختمان-درخت و درخت-ساختمان قابل تمایز از هم نمی‌باشند (شکل ۲).

در طبقه بندی مجدد کلاس‌های کاربری اراضی با الگوریتم SPARK از تصویر طبقه بندی شده حاوی کلاس‌های پوشش زمین بعنوان ورودی استفاده می‌شود و ماتریس مربوط به وضع همسایگی (M_p^d)، در اندازه پنجره d برای پیکسل p بشرح زیر تعریف می‌شود:

$$M_p^d = \begin{pmatrix} f_{11}^d & f_{12}^d & f_{13}^d & \dots & f_{1j}^d \\ & f_{22}^d & f_{23}^d & \dots & f_{2j}^d \\ & & f_{33}^d & \dots & f_{3j}^d \\ & & & \dots & \vdots \\ & & & & f_{ij}^d \end{pmatrix}$$

که در ماتریس فوق، f_{ij}^d بیان کننده فراوانی پیکسل‌های کلاس i در همسایگی کلاس j در اندازه پنجره d است. تعداد عناصر ماتریس M ، بستگی به تعداد کلاس‌های تصویر طبقه بندی شده (C) داشته و ابعاد آن مستقل از ابعاد پنجره مورد استفاده می‌باشد. در اغلب مطالعات که تعداد کلاس‌های پوشش زمین کم می‌باشد، ماتریس مذکور روش مناسبی برای ذخیره اطلاعات مربوط به توزیع مکانی پوشش های زمین حاصل از طبقه بندی تصویر اولیه می‌باشد. مثالی از نحوه تعریف ماتریس وضع همسایگی مربوط به پنجره ۳ در ۳ در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: دو پنجره ۳ در ۳ مربوط به دو نوع کاربری مختلف (مسکونی و تجاری/صنعتی) دارای آرایه های با فراوانی یکسان.

b)	<i>B</i>	<i>G</i>	<i>T</i>
<i>B</i>	6	5	4
<i>G</i>	-	0	4
<i>T</i>	-	-	1

a)	<i>B</i>	<i>G</i>	<i>T</i>
<i>B</i>	3	5	6
<i>G</i>	-	3	2
<i>T</i>	-	-	1

جدول ۱- ماتریس های وضع همسایگی مربوط به دو پنجره ۳ در ۳ در شکل ۲

ماتریس وضع همسایگی مورد استفاده در SPARK، که از جهاتی شبیه ماتریس وقوع توأم (Co-occurrence) پیشنهاد شده توسط Haralick(1979) می باشد، با این تفاوت که ماتریس مربوط به SPARK، برخلاف ماتریس وقوع توأم، نه بر اساس درجات روشنایی بلکه براساس فراوانی کلاس ها عمل می کند.

تعیین کلاس در SPARK

نوع کاربری (L) هر پیکسل، از مقایسه ماتریس الگوی همسایگی آن پیکسل (M_p^d)، با ماتریس الگوی همسایگی مربوط به نواحی آموزشی که بعنوان ماتریس الگو^۱ یا اصطلاحاً T_k^d خوانده می شود، تعیین می گردد. ضمناً لازم است تا مناطق نمونه مورد استفاده برای محاسبه ماتریس های الگو، بزرگتر و یا حداقل هم اندازه پنجره مورد استفاده برای طبقه بندی مجدد مکانی باشند. بدین منظور می توان در مورد هر کاربری از چندین ماتریس الگو استفاده نمود. این ماتریس ها می توانند به صورت مستقل و یا به صورت ترکیبی (مثلاً با استفاده از میانگین گیری) مورد استفاده قرار گیرند. مزیت استفاده از ماتریس های مستقل برای هر کاربری این است که تغییرات و اختلافهای پوشش زمین در قسمتهای مختلف تصویر مورد مطالعه، در ماتریسهای همسایگی مربوطه (M) لحاظ میشوند. اگرچه این کار باعث افزایش زمان محاسبات میشود ولی از سوی دیگر از همپوشی بین کلاسهای کاربری در اثر ترکیب ماتریس های مختلف اجتناب میشود.

چنانچه $Sd(p,k)$ شاخص شباهت بین پیکسل p و کلاس k در اندازه پنجره d بشرح زیر تعریف شود:

$$Sd(p,k) = 1 - \sqrt{\frac{1}{2N^2} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c (M_d(i,j) - T_{dk}(i,j))^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$0 \leq Sd(p,k) \leq 1$$

^۱- Template Matrix

که در آن $M_d(i, j)$ عنصری از ماتریس الگوی همسایگی پیکسل، $T_{dk}(i, j)$ عنصری از ماتریس الگوی کاربری K ، N تعداد کل الگوی همسایگی در اندازه پنجره d (تعداد همسایگی بستگی به اندازه پنجره مورد استفاده دارد) و C تعداد کلاسهای پوشش موجود در تصویر می باشد. بطوریکه عدد ۱ و صفر بترتیب نشان دهنده تطابق و عدم تطابق کامل بین الگوی همسایگی پیکسل با کاربری الگو می باشد. ضمناً آستانه ای قابل تعریف می باشد که بر اساس آن تعلق یا عدم تعلق یک کاربری به یک پیکسل میتواند کنترل شود (Barnsley&Barr, 1996). باتوجه به رابطه (۱) برای پیکسل معین (P) میتوان نوشت:

$$S_d(p, k) = f(d, k)$$

با ثابت فرض کردن پیکسل و کلاس مربوط به آن رابطه فوق به شکل زیر قابل اظهار میباشد:

$$S_d(p, k) = f(d)$$

که نشان دهنده تغییر پذیری ویژگیهای ماتریس همسایگی یک پیکسل در اندازه پنجره های متفاوت میباشد و تنها در مورد کلاسهای کاملاً همگن و بزرگ الگوی همسایگی پیکسل در اندازه پنجره های مختلف ثابت خواهد بود. در روش SPARK حد اکثر سازی تابع شباهت فوق باتغییر کلاس و ثابت نگهداشتن d بشرح زیر صورت میگیرد:

$$\text{Maximize } \{S_d(p, k) \mid d = \text{ثابت}\}$$

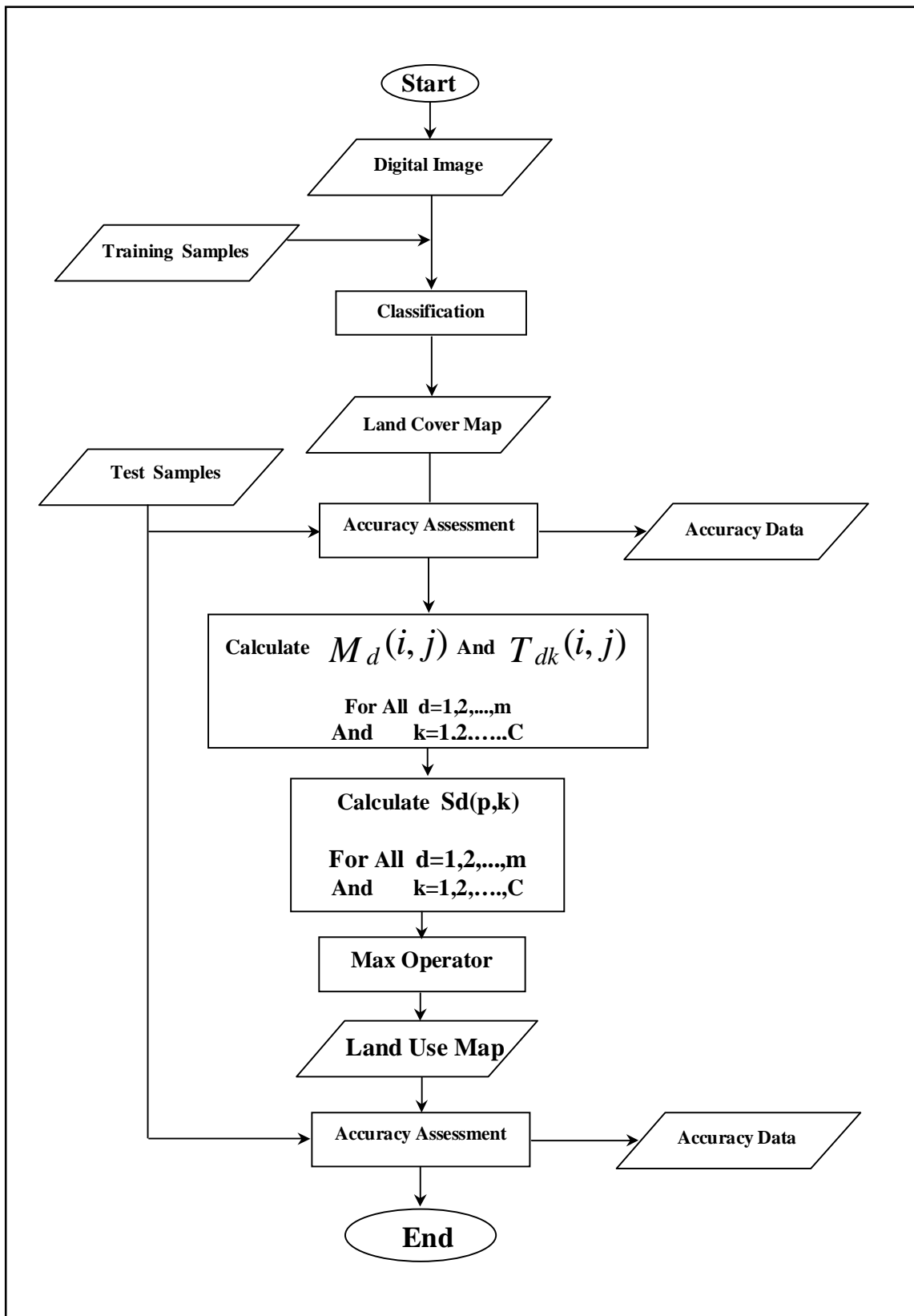
واضح است که بعلمت ثابت فرض کردن d و متفاوت بودن واریانس فضائی کلاسهای مختلف، راه حل فوق نمیتواند به نتایج بهینه منجر شود.

الگوریتم پیشنهادی (M-SPARK)

انتخاب اندازه بهینه پنجره از عوامل بسیار موثر در تعیین کاربری به روش SPARK می باشد. زیرا مناسب نبودن اندازه پنجره، اثرات قابل ملاحظه ای در نتایج طبقه بندی میتواند داشته باشد. به طوریکه استفاده از پنجره های با اندازه بزرگ باعث لحاظ نشدن ویژگیهای کلاسهای اطلاعاتی کوچک تر از اندازه پنجره مورد استفاده می گردد. از سوی دیگر استفاده از پنجره های کوچک باعث لحاظ نشدن ویژگی های مکانی کلاسهای بزرگ و ناهمگن (بعنوان مثال کلاسهای کاربری مسکونی) می شود. بهمین دلیل استفاده از پنجره با اندازه ثابت، غالباً استخراج تمام کلاسهای کاربری را با مشکل مواجه می کند. در این تحقیق به منظور رفع مشکل مذکور، الگوریتم SPARK چند مقیاسی مبتنی بر ترکیب پنجره ها تحت عنوان M-SPARK، پیشنهاد شده و کارائی آن در مقایسه با الگوریتم SPARK، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

با توجه به وابستگی $S_d(p, k)$ به d در کلاسهای ناهمگن و با فرض متمایز بودن کاسها از نظر ساختار فضائی میتوان d را بنحوی تعریف کرد که برای p متعلق به k شاخص شباهت بین p و کلاس مربوطه (k) حد اکثر شود.

$$\text{Maximize } \{S_d(p, k) \mid p \in k\} \quad \forall d = 1, 2, \dots, m$$



شکل ۳: جریان کلی عملیات در الگوریتم پیشنهادی (M-SPARK)

و این در صورتی میسر است که d بنحوی انتخاب شود که ماتریس همسایگی معرف ویژگیهای انحصاری و متمایز کننده کلاس k از دیگر کلاسها باشد.

برای نیل به هدف فوق و با توجه به معلوم نبودن کلاس پیکسل در روش پیشنهادی حداکثر سازی شاخص شباهت پیکسل برای کلاسها و اندازه پنجره های مختلف بشرح زیر مد نظر قرار می گیرد:

$$\text{Maximize } \{S_d(p,k)\} \quad \forall d = 1,2,\dots,m \text{ and } \forall k = 1,2,\dots,c$$

که m و c بترتیب تعداد پنجره و کلاسهای مورد استفاده در طبقه بندی میباشد. ملاحظه میشود که بعلت استفاده از دو متغیر، بهینه سازی تابع شباهت بین ماتریس و کلاسهای الگو بصورت دقیقتر انجام گرفته و پاسخ حاصل از اجرای الگوریتم فوق بعلت استفاده موثرتر از اطلاعات مکانی با خطای طبقه بندی کمتری همراه خواهد بود (شکل ۳).

ارزیابی عملی

به منظور ارزیابی الگوریتم M-SPARK مبتنی بر ترکیب پنجره ها، محدوده ای در جنوب غربی شهر تهران واقع در مناطق ۵ و ۱۸ شهری، شامل کاربری های مختلف با مساحتی بالغ بر ۳۲۰ کیلومتر مربع انتخاب گردید. تصویر ماهواره ای مورد استفاده در این تحقیق، با ابعاد ۱۰۰۰ در ۸۰۰ پیکسل (۲۰ در ۱۶ کیلومتر) از شهر تهران، مربوط به خرداد ماه سال ۲۰۰۲ از سنجنده چند طیفی ماهواره SPOT با قدرت تفکیک مکانی حدود ۲۰ در ۲۰ متر، میباشد. تصویر مورد نظر با استفاده از نقشه های رقومی مقیاس ۱:۲۰۰۰، تهیه شده توسط مرکز GIS شهر تهران (TGC¹) تصحیح هندسی شده و با استفاده از روش نزدیکترین همسایه درون یابی گردید.

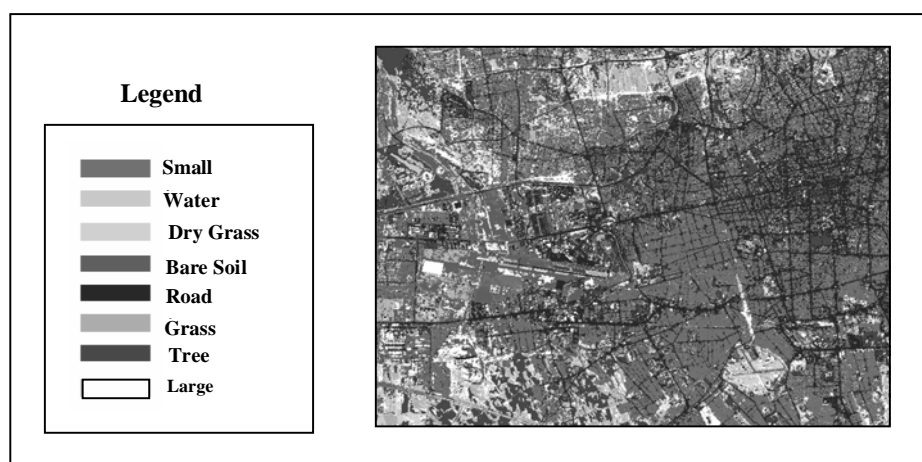
عملیات مربوط به اجرای الگوریتم M-SPARK، شامل طبقه بندی اولیه تصاویر ماهواره ای به کلاسهای پوشش زمینی، محاسبه شاخص شباهت بین پیکسل های تصویر با کلاسهای کاربری در پنجره های مختلف و طبقه بندی شاخص های شباهت محاسبه شده در پنجره های مختلف و طبقه بندی پیکسلها بر اساس حداکثر شباهت به یکی از کلاسهای کاربری میباشد. چگونگی انجام هر یک از عملیات فوق در زیر توضیح داده شده است.

طبقه بندی کلاسهای پوششی زمین

اولین گام در طبقه بندی مجدد مکانی، تولید تصویر اولیه پوشش زمین از تصاویر ماهواره ای می باشد. روشهای مختلفی از جمله روشهای نظارت شده و نظارت نشده جهت این امر مورد استفاده قرار گرفته اند. در این تحقیق به منظور افزایش شباهت کلاسهای پوشش اولیه با کلاسهای پوشش زمین، از الگوریتم حداکثر

¹ - Tehran GIS Center

احتمال (Maximum Likelihood Algorithm) استفاده شد. بدین منظور تصاویر ماهواره ای مورد نظر با استفاده از نمونه های آموزشی حاصل از نقشه های موجود و مطالعات میدانی به ۸ کلاس پوشش زمین شامل : ساختمانهای کوچک، ساختمانهای بزرگ، جاده، آب، علفزار و چمنزار، گیاه غیر سبز، درخت و خاک طبقه بندی گردید (شکل ۴). به منظور طبقه بندی تمامی پیکسلهای تصاویر ماهواره ای، آستانه طبقه بندی، عدد بزرگی تعیین گردید (انحراف معیار بزرگتر از ۵) . زیرا وجود پیکسلهای طبقه بندی نشده در تصویر پوشش زمین منجر به ایجاد محدودیت در اجرای الگوریتم SPARK میشود. به گونه ای که وجود بیش از یک پیکسل طبقه بندی نشده در هر پنجره، استخراج آمار فراوانی کاربریها و در نتیجه تعیین کاربری را با اشکال مواجه می سازد. شاخص کاپا و دقت کلی طبقه بندی به ترتیب ۰,۷۹ و ۸۲٪ محاسبه گردید.



شکل ۴- نقشه حاصل از طبقه بندی کلاسهای مختلف پوشش زمین با روش حداکثر احتمال

طبقه بندی مکانی بوسیله M-SPARK

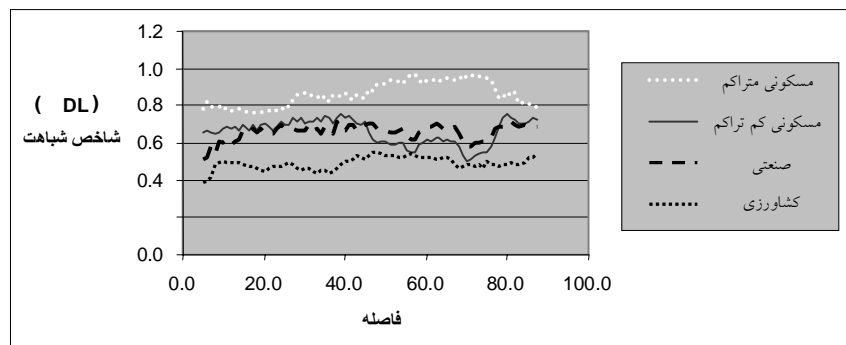
پس از طبقه بندی تصویر ماهواره ای به طبقات پوشش زمین، از الگوریتم M-SPARK به منظور طبقه بندی مکانی تصویر به طبقات کاربری استفاده گردید. طبقات کاربری مورد نظر در این تحقیق شامل کاربری های : مسکونی متراکم، مسکونی کم تراکم، صنعتی، مجتمع های درختی و پارک جنگلی، زراعی، بایر و آب می باشند. در این مرحله از تحقیق با استفاده از نمونه های آموزشی مربوط به کاربری اراضی، ماتریس های الگوی مورد نیاز در طبقه بندی مجدد مکانی مشخص شدند. ماتریس های الگو بر اساس اندازه پنجره های مورد استفاده تعریف شدند و موقعیت آنها براساس نقشه های رقومی ۱:۲۰۰۰ شهر تهران تعیین گردید. این نقشه ها که شامل کلاسهای اطلاعاتی دقیقتری هستند، در محیط GIS به کلاسهای بزرگ تر تبدیل شدند. سپس در مورد هر کلاس کاربری اراضی، تعداد ۵ عدد ماتریس الگو با توزیع مناسب استخراج شد. علت در نظر گرفتن ۵ ماتریس الگو، لحاظ نمودن تغییرات جزئی درون کلاس ها، در قسمت های مختلف تصویر می باشد. با توجه به ساختار الگوریتم پیشنهادی (M-SPARK)، طبقه بندی مجدد مکانی، بوسیله پنجره

های با ابعاد ۳ در ۳ تا ۱۳ در ۱۳ انجام گرفت و شاخص شباهت بین پیکسل‌های تصویر و ماتریس های نمونه کاربری، برای هر پنجره به صورت مجزا تولید گردید.

ارزیابی الگوریتم M-SPARK

الف- شباهت بین ماتریس های الگو

یکی از شاخص های ارزیابی طبقه بندی مکانی به روش SPARK، بررسی شباهت بین ماتریس های الگوی مربوط به کلاس های مختلف کاربری می باشد. برای این ارزیابی شاخص شباهت، بین ماتریس های الگوی مربوط به چهار کلاس مسکونی متراکم، مسکونی کم تراکم، صنعتی و کشاورزی محاسبه شد. به منظور نمایش شاخص شباهت محاسبه شده برای کاربری های مختلف، این شاخص در طبقه بندی مکانی به صورت تصویر رقومی نمایش داده شد. سپس با انتخاب مسیر خطی به طول تقریبی ۱۰۰ متر در محدوده کاربری مسکونی متراکم (بر اساس نقشه های موجود) نیمرخ مربوط به تغییرات شاخص شباهت کلاس های مسکونی متراکم، کم تراکم، صنعتی و کشاورزی ترسیم گردید. در نیمرخ مذکور محور Xها بیان کننده طول یا فاصله و محور Yها بیان کننده مقدار عددی شاخص شباهت است که بین صفر و یک تغییر می کند. در نمودار شماره ۰ یک نیمرخ مقادیر شاخص شباهت در قسمتی از محدوده کاربری مسکونی متراکم نشان داده شده است. ملاحظه میشود که شاخص شباهت مسکونی متراکم (خط روشن) در این ناحیه بیشترین مقادیر را دارا میباشد.



نمودار ۱- منحنی مربوط به شاخص شباهت کلاس های مختلف در یک منطقه دارای کاربری مسکونی متراکم

ب- بررسی رابطه اندازه پنجره و صحت طبقه بندی مکانی

به منظور مقایسه نتایج حاصل از طبقه بندی مکانی در پنجره های مختلف، با استفاده از نمونه های مستقل زمینی ماتریس خطای مربوط به طبقه بندی تهیه و دقت کلی طبقه بندی مربوط به نتایج حاصل از هر یک از

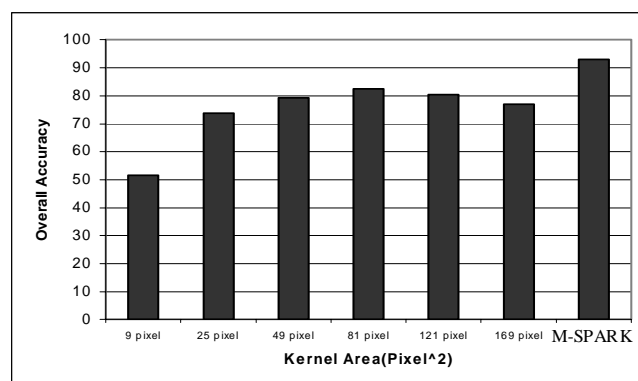
پنجره ها محاسبه گردید. همچنین ماتریس خطای مربوط به طبقه بندی به روش M-SPARK نیز تهیه و دقت کلی طبقه بندی این روش با نتایج حاصل از پنجره های مختلف مقایسه گردید.

نتایج حاصل از این بررسی نشان میدهد که در روش مبتنی بر پنجره ثابت، پایین ترین و بالاترین دقت کلی طبقه بندی بترتیب معادل ۵۱,۵۴ در صد در پنجره ۳ در ۳ و ۸۲,۳۹ در صد در پنجره ۹ در ۹ بدست آمده است. استفاده از روش پیشنهادی (M-SPARK)، منجر به حصول دقتی معادل ۹۲ در صد میشود که بالاترین دقت بوده و از تمامی پنجره های ثابت مورد استفاده بیشتر است. این نتایج بیان کننده این واقعیت است که کلاسهای همگن در پنجره های کوچک و کلاسهای ناهمگن در پنجره های بزرگتر دارای صحت طبقه بندی بالاتری می باشند و اطلاعات مکانی کلاسهای ناهمگن (مانند مسکونی متراکم و کم تراکم) در پنجره های کوچک بخوبی قابل ارائه نمی باشند. همچنین طبقه بندی کلاس های همگن (مانند کلاس آب) در پنجره های بزرگ دچار اشکال گردیده و اطلاعات کلاس های همجوار در طبقه بندی لحاظ شده و خطا را افزایش میدهد (نمودارهای ۳ و ۲). همچنین نواحی مرزی بین کلاس ها به درستی مجزا نشده و نواحی و کلاس های کاربری کوچک دچار عارضه هموارشدگی (Smoothing) میشوند.

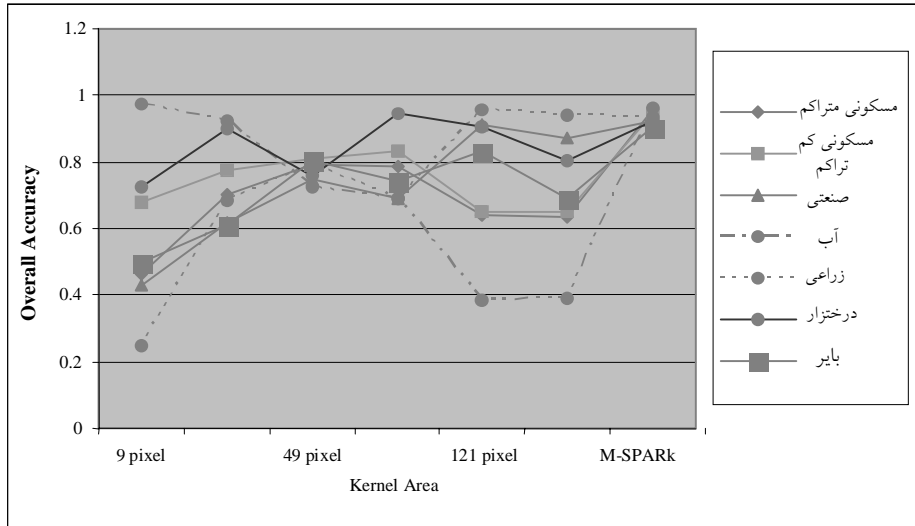
ج- ارزیابی بصری کلاس های طبقه بندی شده

به منظور بررسی بصری نتایج طبقه بندی مکانی در پنجره های ثابت و متغیر، محدوده ای از تصویر طبقه بندی شده بوسیله SPARK، در پنجره های ۳ در ۳ تا ۱۳ در ۱۳ و همچنین طبقه بندی شده توسط الگوریتم پیشنهادی انتخاب و مورد بازبینی دقیق تر قرار گرفت (شکل ۱-۵ و ۲-۵).

بر اساس نتایج حاصل از بررسی های انجام شده، استفاده از الگوریتم M-SPARK، قابلیت بهتری در استخراج کلاسهای کاربری اراضی از تصاویر ماهواره ای دارد. به طوریکه علاوه بر استخراج کلاسهای کاربری مختلف بر اساس شباهت ماتریس های فراوانی پوشش، امکان تشخیص دقیق نواحی مرزی بین دو کلاس و تفکیک

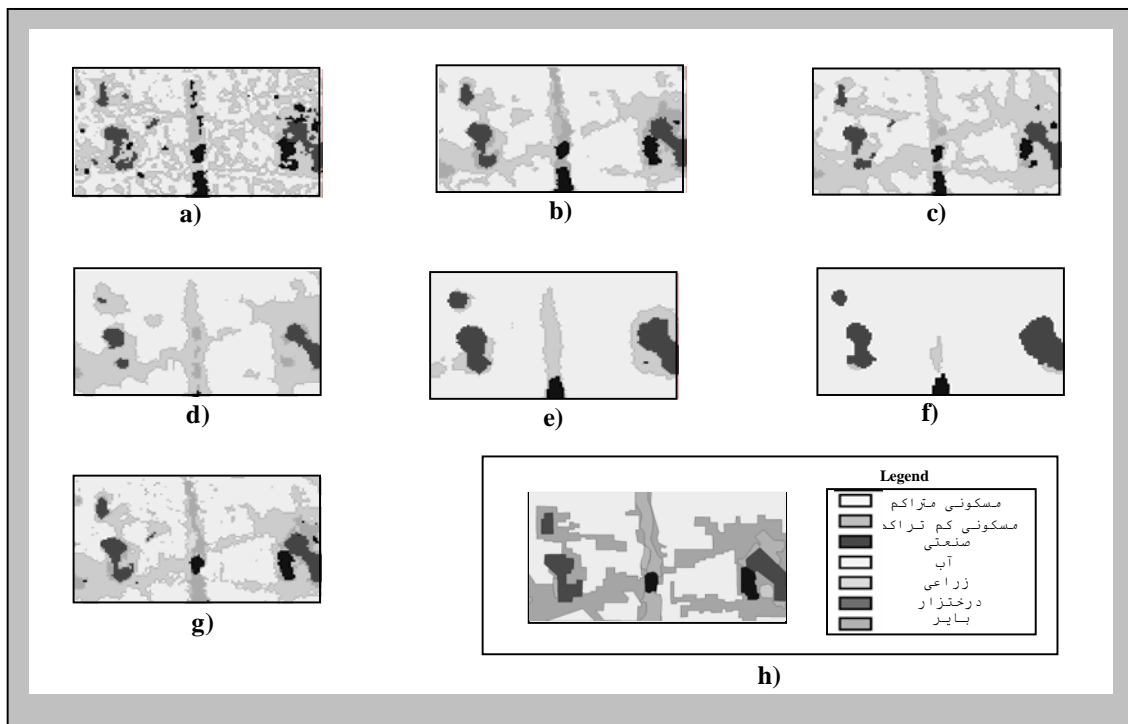


نمودار ۲- صحت کلی طبقه بندی در اندازه پنجره های مختلف و ثابت و حصول بیشترین دقت در روش پیشنهادی مبتنی بر ترکیب پنجره ها (M-SPARK) .

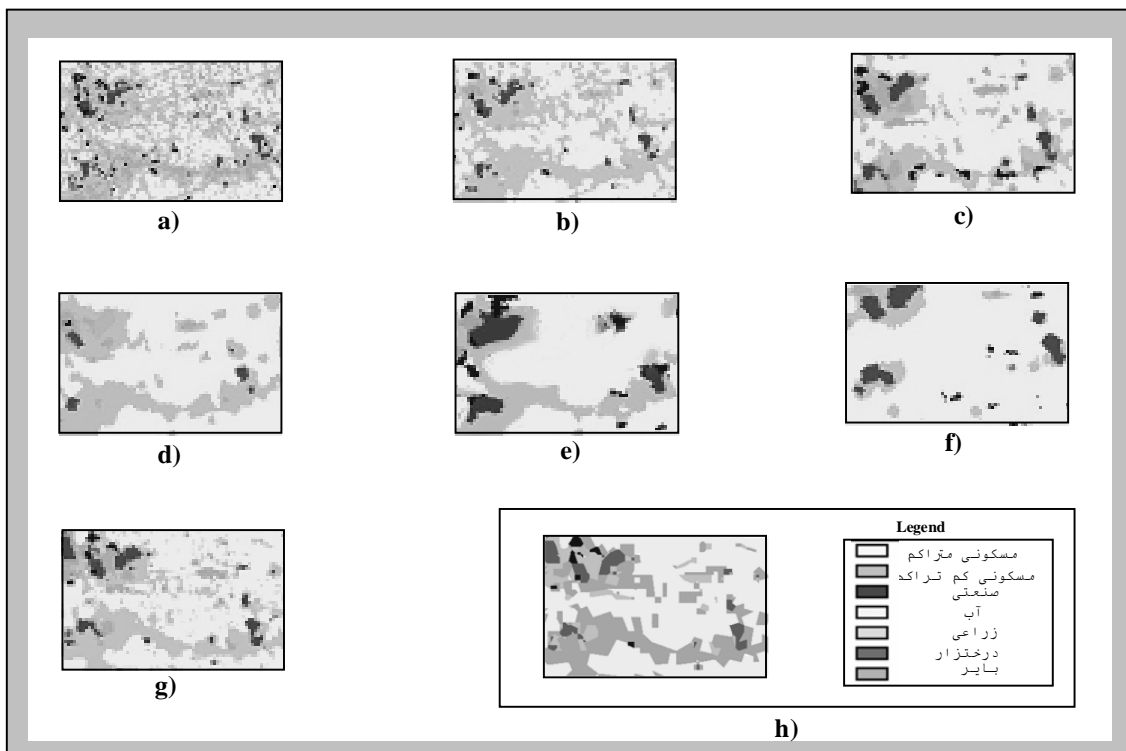


نمودار ۳- تغییر پذیری دقت کلی طبقه بندی کلاسها در اندازه پنجره های مختلف و حصول حداکثر دقت در روش پیشنهادی مبتنی بر ترکیب پنجره ها (M-SPARK).

کلاسهای متشکل از نواحی با اندازه های متفاوت فراهم می باشد. بنابر این کلاس های دارای ابعاد کوچک ، بزرگ و همچنین همگن و ناهمگن به صورت دقیقتری طبقه بندی می شوند و جدا سازی کلاسهای ناهمگن بدون حذف جزئیات کلاس های کوچک فراهم میشود .



شکل ۱-۵- مقایسه نتایج طبقه بندی مجدد مکانی (SPARK) در ناحیه نمونه (۱) به ابعاد ۶۶ در ۱۱۲ پیکسل. نقشه کاربری حاصل از طبقه بندی مجدد مکانی بوسیله پنجره های (a) : ۳ در ۳ (b) ۵ در ۵ (c) ۷ در ۷ (d) ۹ در ۹ (e) ۱۱ در ۱۱ (f) ۱۳ در ۱۳ و (g) طبقه بندی مکانی بوسیله الگوریتم M-SPARK (h) نقشه کاربری فعلی (مرجع).



شکل ۲-۵- مقایسه نتایج طبقه بندی مجدد مکانی (SPARK) در ناحیه نمونه (۲) به ابعاد ۶۶ در ۱۱۲ پیکسل. نقشه کاربری حاصل از طبقه بندی مجدد مکانی بوسیله پنجره های (a) ۳ در ۳ (b) ۵ در ۵ (c) ۷ در ۷ (d) ۹ در ۹ (e) ۱۱ در ۱۱ (f) ۱۳ در ۱۳ و (g) طبقه بندی مکانی بوسیله الگوریتم M-SPARK (h) نقشه کاربری فعلی (مرجع).

بحث و نتیجه گیری

مقایسه نتایج حاصل از طبقه بندی با استفاده از دو روش SPARK مبتنی بر پنجره های ثابت و الگوریتم پیشنهادی (M-SPARK) مبتنی بر ترکیب پنجره ها، تایید کننده این واقعیت می باشد که اندازه پنجره مورد استفاده در طبقه بندی مکانی، تأثیر مهمی در نتایج حاصله میتواند داشته باشد. در پنجره ۳ در ۳ کمترین صحت طبقه بندی حاصل گردیده است، که میتواند ناشی از لحاظ نشدن اطلاعات مکانی مربوط به کلاس های مختلف کاربری اراضی در این اندازه پنجره باشد. با افزایش اندازه پنجره صحت طبقه بندی مجدد مکانی روندی افزایشی نشان میدهد که این افزایش در پنجره ۹ در ۹ به بیشترین مقدار رسیده و با افزایش اندازه پنجره به ۱۱ در ۱۱ و ۱۳ در ۱۳ کاهش می یابد. از سوی دیگر هر یک از کلاس های کاربری در اندازه پنجره معینی، بالاترین دقت طبقه بندی را دارند. کلاس های همگن مانند آب، در پنجره های کوچک و کلاس های ناهمگن مانند مسکونی، در پنجره های بزرگتر بیشترین دقت طبقه بندی را دارا میباشند. به همین دلیل بعلت

استفاده M-SPARK از اطلاعات مکانی مربوط به پنجره های مختلف، نتایج حاصل از این الگوریتم از صحت کلی بالاتری برخوردار می باشد و تمام کلاس های کاربری در طبقه بندی با استفاده از الگوریتم فوق با بالاترین دقت طبقه بندی شده اند. بنا براین در روش پیشنهادی، محدودیت های مربوط به استفاده از اندازه ثابت پنجره جهت استخراج کلاس های مختلف کاربری تا حد زیادی کاهش مییابد.

در این تحقیق بهینه سازی روش طبقه بندی مکانی مبتنی بر پنجره (SPARK) برای استخراج اطلاعات کاربری مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به منظور بهینه سازی الگوریتم فوق روش M-SPARK مبتنی بر ترکیب پنجره ها، پیشنهاد و مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این الگوریتم امیدوارکننده می باشند. به طوریکه تفکیک کلاسهای مختلف کاربری مشابه از نظر طیفی مانند کلاسهای مسکونی متراکم و کم تراکم را ممکن می سازد. همچنین کلاسهای با اندازه و درجات همگنی مختلف مانند آب و اراضی مسکونی و زراعی نیز با دقت بهتری تفکیک و طبقه بندی می شوند. براساس نتایج حاصل از این تحقیق در استخراج کلاسهای کاربری اراضی از تصاویر ماهواره ای با استفاده از الگوریتم SPARK، موارد زیر قابل ملاحظه می باشند:

- الگوریتمهای طبقه بندی مکانی مانند SPARK، در مقایسه با روشهای پیکسل مینا، امکانات بیشتری برای استخراج اطلاعات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره ای فراهم می کنند.

- استفاده از اندازه ثابت پنجره در الگوریتم SPARK منجر به استفاده ناقص از اطلاعات مکانی موجود در تصویر میشود و با توجه به تنوع اندازه و پیچیدگی اهداف موجود در محیط ها و چشم اندازهای پیچیده مانند شهر، این روش نمیتواند با نتایج بهینه همراه باشد.

- با توجه به نتایج مربوط به ماتریس خطای طبقه بندی مکانی، بالاترین دقت طبقه بندی با استفاده از پنجره ثابت، مربوط به طبقه بندی مکانی با استفاده از پنجره ۹ در ۹ و با دقت کلی برابر با ۸۲,۳۹ در صد می باشد. این نتایج با نتایج سایر تحقیقات انجام شده (Barnsley & Barr., 1996) شباهت زیادی دارد و با توجه به حصول کمترین میزان دقت در پنجره ۳ در ۳ (۵۱/۵۳۵ در صد) ارجحیت استفاده از پنجره های بزرگتر در طبقه بندی مکانی تصاویر در نواحی شهری ثابت میشود.

- مشاهده بالاترین دقت در روش پیشنهادی مبتنی بر ترکیب پنجره ها، نشان دهنده استفاده بهتر از اطلاعات موجود و افزایش انعطاف پذیری و تطابق اندازه پنجره مورد استفاده با ویژگیهای طیفی و فضائی کلاسها و واحدهای موجود در تصویر میباشد.

منابع مورد استفاده:

- Barnsley, M.J., S.L. Barr, and G.J. Sadler, 1991. Spatial re-classification of remotely-sensed images for urban land use monitoring, Proceedings of Spatial Data 2000, Oxford, 17-20 September, Remote Sensing Society, Nottingham, PP. 106-117.
- Barnsley, M.J. & S.L. Barr, 1996, Inferring Urban Land Use from Satellite Sensor Images Using Kernel-Based Spatial Reclassification. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62 (8), pp. 949-958.
- Barnsley, M.J., and S.L. Barr, 1992. Developing Kernel-based spatial re-classification techniques for improved land-use monitoring using high spatial resolution images, proc. XXIX Conference of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS'92), International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing : Commission 7, Washington D.C., 2-14 August 1992, PP. 646-654.
- Civco, D.C., 1993, Artificial neural networks for land-cover classification and mapping, International Journal of Geographical Information Systems, 7:173-186.
- Eyton, J.R. 1993, Urban land use classification and modeling using cover-type frequencies, Applied Geography, 13:111-121.
- Forster, B. C., 1980, Urban residential ground cover using Landsat digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46, 547-558.
- Gong, P., and Howarth, P. J., 1992, Frequency-based contextual classification and gray-level vector reduction for land-use identification. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58, 423-437.
- Guo, Liu Jian, and J. McM. Moore, 1991, Post-classification processing for thematic mapping based on remotely-sensed image data: Proceedings of the International Conference of IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, Espoo, Finland, 3-7 June, IEEE, New York, pp. 2203-2206.
- Haralick, R. M., 1979, Statistical and structural approaches to texture. Proceedings of the IEEE, 67, 786-804.
- Hepner, G.F., T. Logan, N. Ritter, and N. Bryant, 1990, Artificial neural network classification using a minimal training set: Comparison to conventional supervised classification, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 56:469-473.
- Kuo et al., 2001, Identification of urban characteristic using IKONOS high resolution satellite image, paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore.
- Sadler, G.J., M.J. Bwrnsley, and S.L. Barr, 1991, Information extraction from remotely-sensed images for urban land analysis, proceedings of the Second European Conference on Geographical Information Systems (EGIS'91), Brussels, Belgium, April, EGIS Foundation, Utrecht, pp. 955-964.
- Wharton, S.W. 1982, A context -based land use classification algorithm for high resolution remotely sensed data, Journal of Applied Photographic Engineering, 8:46-50.
- Whitehouse, S., 1990, A spatial land-use classification of an urban environment using high-resolution multispectral satellite data, Proceeding of the 16th Annual Conference of the Remote Sensing Society, Remote Sensing Society, Nottingham, pp 433-437.
- Woodcock, C.E., and A.H. Strahler, 1987, The factor of scale in Remote Sensing, Remote Sensing of Environment, 21:311-332.