

استخراج مرز عوارض در تصاویر ماهواره ای با استفاده از نقشه برداری زیر پیکسلی

آسیه شمسی^{۱*}، پرویز ضیائیان فیروز آبادی^۲، حمیدرضا ریاحی بختیاری^۳، حمیدرضا صیادی زرح^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه خوارزمی تهران
- ۲- دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه خوارزمی تهران
- ۳- استادیار گروه علوم جنگل دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
- ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران

چکیده :

تصاویر سنجش از راه دور اغلب حاوی هر دو پیکسل خالص و مخلوط هستند. اختلاط طبقه ها در داخل پیکسل ها استخراج اطلاعات و تهیه نقشه های پوشش زمین را با چالش اساسی روبرو ساخته است. بنابراین استخراج اطلاعات الگوهای مکانی و مرزهای اجزاء نهایی تصویردر مقیاس زیر پیکسل، در سال های اخیر مورد توجه روز افزون محققین قرار گرفته است. در این مقاله از یک الگوریتم پیشنهادی برای نقشه برداری مرز زیر پیکسل و نقشه برداری آرایش فضایی اهداف پوشش های زمینی درون پیکسل ها ، استفاده شده است. این الگوریتم ابتدا در محیط برنامه نویسی متلب کدنویسی شد و سپس توسط برشی از یک تصویر طبقه بندی شده ی لندست ۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. طبقه بندی نرم با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان در نرم افزار ژئوماتیکا بر روی تصویر اعمال شد. نتایج نشان داد که این روش ساده ، قوی و ابزاری کارآمد برای شناسایی مرز های درون پیکسل می باشد

واژه های کلیدی : : سنجش از راه دور، الگوهای مکانی، اجزاء نهایی، طبقه بندی نرم ، ماشین بردار پشتیبان

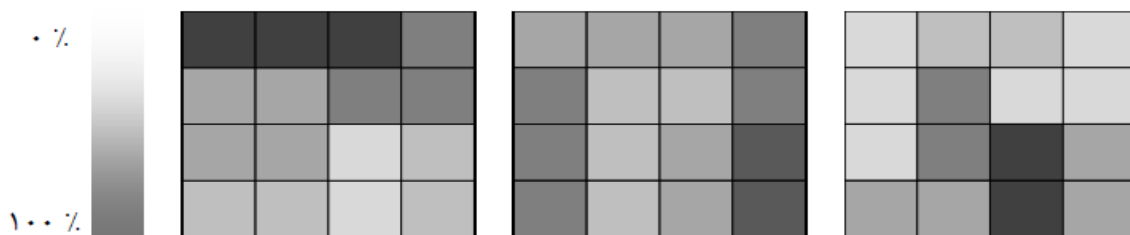


۱- مقدمه

اگر به توسعه علم سنجش از راه دور نگاهی اجمالی داشته باشیم به این نتیجه میرسیم که با توجه به سه هدف اصلی این علم یعنی تمایز، آشکارسازی و شناسایی عوارض موجود در تصاویر ماهواره ای امروزه نه تنها قادر به شناسایی عوارض شده ایم بلکه مرز عوارض با دقت و صحت خوبی قابل نقشه برداری شده است. با این حال وجود پیکسل های مخلوط در تصاویر همواره یک مانع عمده در طبقه بندی تصاویر به شمار می آید. پیکسل های مخلوط به پیکسل هایی اطلاق می گردد که ارزش طیفی آن ها بیانگر میانگین بازتاب طیفی چندپدیده مختلف است که در محدوده آن پیکسل واقع شده اند. ابعاد پیکسل ها در مقایسه با اندازه پدیده ها یک عامل مهم در ایجاد پیکسل های مخلوط به شمار می رود. مرز این پدیده ها در یک پیکسل و درصد مشارکت آن ها در عدد طیفی ثبت شده دقیقاً قابل تشخیص نیست. ویژگی های طیفی پدیده ها و عوارض ثبت شده در داده های سنجش از دوری نقش مهمی در کشف و شناسایی پوشش های زمینی ایفا می کنند. تصاویر سنجش از دوری معمولاً حاوی پیکسل های ترکیبی هستند؛ خصوصاً برای تصاویری با قدرت تفکیک مکانی کم که در آنها اکثر پیکسل ها حاوی اطلاعات دو یا چند طبقه پوشش هستند. چگونگی استخراج بهتر اطلاعات پوشش های زمینی از پیکسل های ترکیبی یک موضوع کلیدی در تهیه نقشه های پوشش های اراضی است.

وجود پیکسل های مخلوط، متشکل از عارضه های مختلف کوچکتر از قدرت تفکیک مکانی سنجنده، یکی از اصلی ترین منابع موثر بر کاهش دقت طبقه بندی تصاویر است [۱]. روش طبقه بندی نرم برای حل مسئله ی پیکسل های مخلوط به وسیله ی ایجاد شماری از تصاویر کسری که در آنها فراوانی طبقه های مختلف پوشش زمین بدون از دست دادن اطلاعات می تواند به دست آید، استفاده می شود. روش طبقه بندی نرم به عنوان یک راه حل مناسب برای حل مسئله ی پیکسل های مخلوط مطرح شده است. در این روش تعدادی از تصاویر کسری ایجاد می شوند که در آن ها فراوانی طبقه های مختلف پوشش زمین بدون از دست دادن اطلاعات محاسبه می شود [۲]. فن های متنوع طبقه بندی نرم برای این منظور پیشنهاد شده اند؛ طبقه بندی های نرم می توانند درصد طبقات پوشش های زمینی را فراهم کنند اما این روش ها قادر نیستند موقعیت مکانی طبقات را تعیین کنند، هر چند که طبقه بندی نرم می تواند اطلاعات مفیدتری از طبقه بندی سخت فراهم کند، اما تنها قادر است نسبت مساحت هر طبقه را به دست آورد. توزیع فضایی واقعی هر طبقه در پیکسل های مخلوط توسط این روش ها قابل تشخیص نیست.

خروجی طبقه بندی نرم مجموعه ای از تصاویر (به ازای هر طبقه یک تصویر) است که برای هر پیکسل، سهم تعلق مربوط به هر طبقه را تعیین می نماید [۱۲]. این تصاویر به عنوان نقشه های فراوانی شناخته شده و بر اساس این نقشه ها پوشش ۱۰۰٪ بارنگ سفید و پوشش ۰٪ بارنگ سیاه و سایر مقادیر با درجات خاکستری متناسب نمایش داده می شوند (شکل ۱).



شکل ۱- خروجی کار توگرافیک طبقه بندی نرم تصاویر سنجش از دور به ازای هر طبقه کاربری



برای رفع این مشکل نقشه برداری زیرپیکسلی به وسیله ی اتکینسون (۱۹۹۷) پیشنهاد شد که در آن پیکسل تصویر به زیرپیکسل ها تقسیم شده بود. سپس هر زیر پیکسل به یک طبقه اختصاص داده شد. سپس آرایش فضایی زیرپیکسل برای همه ی زیرپیکسل ها با در نظر گرفتن افزایش جاذبه ی فضایی دستکاری شد. نقشه برداری زیر پیکسلی همچنین در سال ۲۰۰۹ توسط اتکینسون به عنوان نقشه برداری قدرت تفکیک خیلی زیاد (سوپرزولوشن) در ادبیات سنجش از دور نامگذاری شد. هدف الگوریتم های سوپر رزولوشن به حداکثر رساندن وابستگی های فضایی است [۳]. نقشه برداری زیر پیکسلی فنی برای پیش بینی موقعیت مکانی طبقه های پوشش زمینی در داخل پیکسل های ترکیبی در تصاویر سنجش از راه دوری است. نقشه برداری عارضه های پوشش زمین در مقیاس زیر پیکسل در سال های اخیر توسعه یافته است. اتکینسون در سال ۱۹۹۷ این موضوع را بر اساس فرضیه وابستگی مکانی در داخل و بین پیکسل ها ، با تعیین جایی که سهم نسبی هر طبقه در هر پیکسل رخ می دهد؛ شروع کرد [۴]. پس از آن Aplin و همکارانش (۱۹۹۹ و ۲۰۰۱) مجموعه ای از روش هایی را در هر قسمت بر اساس ادغام تصاویر سنجنده ی ماهواره ی شبیه سازی شده با قدرت تفکیک مکانی کم با داده های وکتوری رقومی برای طبقه بندی پوشش زمین، پیشنهاد کردند [۵و۶]. Tatem و همکارانش (۲۰۰۰، ۲۰۰۳، ۲۰۰۲، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۱) الگوریتمی برای پیش بینی الگوی فضایی اشیاء کوچکتر از قدرت تفکیک زمینی سنجنده با ترکیب اطلاعات پیشین بر روی آرایش فضایی معمولی از انواع پوشش زمینی ویژه در تابع انرژی شبکه عصبی هاپفیلد با قید یک سمی واریانس، پیشنهاد کردند [۱].

Mertens و همکارانش (۲۰۰۳) یک روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک با فرض وابستگی مکانی برای اختصاص یک مکان به هر زیر پیکسل با ارزیابی تمام تنظیمات ممکن زیر پیکسل ها در داخل یک پیکسل با توجه به پارامتر مقدار همسایگی، پیشنهاد کردند. این فن ها قادر به ارائه ی توزیع فضایی طبقه ها در داخل پیکسل ها هستند [۷]. با این حال تصاویری با وضوح زیاد، اطلاعات پیشین و یا اطلاعات برداری باید از قبل برای انجام این روش ها جمع آوری شوند. در نتیجه بعضی از آن ها زمانبر هستند. به عنوان مثال زمان اجرای روش پیشنهاد شده توسط Tatem و همکاران (۲۰۰۳) که برای نقشه برداری از تصاویر واقعی لندست TM برای برآورد دقیق پوشش زمین استفاده شده بود، به ترتیب حدود ۲۱۰ و ۵۱۰ دقیقه بر روی یک رایانه PII-350 به طول انجامید [۸]. بنابراین، الگوریتم ارائه شده در این مقاله برای غلبه بر این مشکلات و ارائه یک راه حل موثر و جدید برای نقشه برداری توزیع فضایی طبقه ها در داخل

پیکسل ها تلاش می کند. این الگوریتم نسبت هر جزء نهایی^۱ را در داخل پیکسل مرکزی و ۸ پیکسل همسایه آن، که از یک طبقه بندی نرم با اختصاص درصدهای پیکسل به طبقه های پوشش زمینی مربوط به منطقه نشان داده شده در یک پیکسل به دست آمده اند؛ برای دستیابی به موقعیت هر جزء نهایی در داخل پیکسل مرکزی مورد استفاده قرار می دهد. این الگوریتم ابتدا در محیط نرم افزار متلب کدنویسی شد و سپس توسط برشی از یک تصویر طبقه بندی شده ی لندست ۸ ارزیابی شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- تشریح الگوریتم نقشه برداری مرز عوارض درون پیکسل های مخلوط

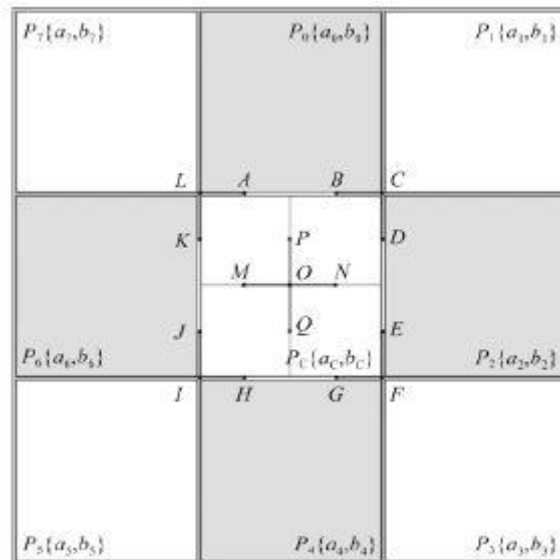
طرز کار الگوریتم مورد استفاده در این مقاله که در سال ۲۰۰۶ توسط Yong Ge و همکارانش ارائه گردید به شرح زیر است: [۱].

فرض کنید یک پیکسل مخلوط P_c که در شکل ۲ نشان داده شده است حاوی دو جزء نهایی ، A و B است. مقدار برداری مساحت اجزاء نهایی (a_c, b_c) و پیکسل های همسایه P_i که با (a_i, b_i) نشان داده شده اند $(i = 0, 1, 2, \dots, 7)$ است که می توانند به وسیله روش های طبقه بندی نرم با به کار بردن تعدادی از نرم افزارهای تجاری برای پردازش

¹ Endmember



تصاویر سنجش از دوری از قبیل ENVI، RSI، ERDAS IMAGINE و تخمین زده شوند. در شکل ۲، P_c (پیکسل مرکزی) به ترتیب از چهار راس I, F, C, L تشکیل شده است. مرز کامل P_c به ۸ قسمت مساوی تقسیم می شود. خطوط تقسیم شده به ترتیب $AB, BCD, EFG, DE, GH, IJG, JK$ و KLA هستند که $AB = 2BC, LC = 2AB$ و... هر کدام از پیکسل های اطراف مطابق با یکی از ۸ قسمت هستند. برای مثال P_0 مطابق است با AB و P_1 مطابق است با BCD . به طور مشابه پیکسل های باقی مانده اطراف به طور متوالی با قطعات باقیمانده از خط مطابق اند. MON و POQ دو خط متقاطع عمود بر هم با مرکز O هستند که از نظر طول با هم برابرند و برابر با AB هستند. فاکتور مقیاس ۱۶ در نظر گرفته شده است یعنی در مرحله آخر پیکسل به 16×16 زیر پیکسل تقسیم بندی می شود. ایده اصلی این روش بر اساس فرض وابستگی فضایی در داخل و بین پیکسل هاست که برای تعیین اجزاء نهایی A و B در داخل P_c از مقادیر $(b_c), a_c, (b_i), a_i$ ، خط متقاطع MON و POQ استفاده می شود. الگوریتم مربوط به این پژوهش در محیط نرم افزاری متلب نوشته شد که در قسمت بعدی این روش مرحله به مرحله توضیح داده می شود. در اینجا موارد AB, MON و POQ بحث می شود.



شکل ۲- پیکسل مرکزی (P_c)، پیکسل های همسایه (P_i) و درون و مرز پیکسل مرکزی (P_c)

۲-۲- تعیین طول V_{AB} در AB

با تعریف پاره خط V_{AB} در AB و طول و موقعیت آن در AB ، برای محاسبه ی توزیع جزء نهایی A از پیکسل های همسایه P_0, P_1, P_7 برای استخراج مرز جزء نهایی A درون پیکسل مرکزی استفاده می شود.

طول V_{AB} کمتر یا مساوی طول AB است. در نتیجه AB نیز به ۸ قسمت مساوی تقسیم می شود و نقاط تقسیم شده به صورت $T_3, T_2, T_1, T, T_4, T_5, T_6$ نشان داده می شوند که در شکل ۳ نشان داده شده است. سه حالت زیر برای تعیین طول V_{AB} وجود دارد:

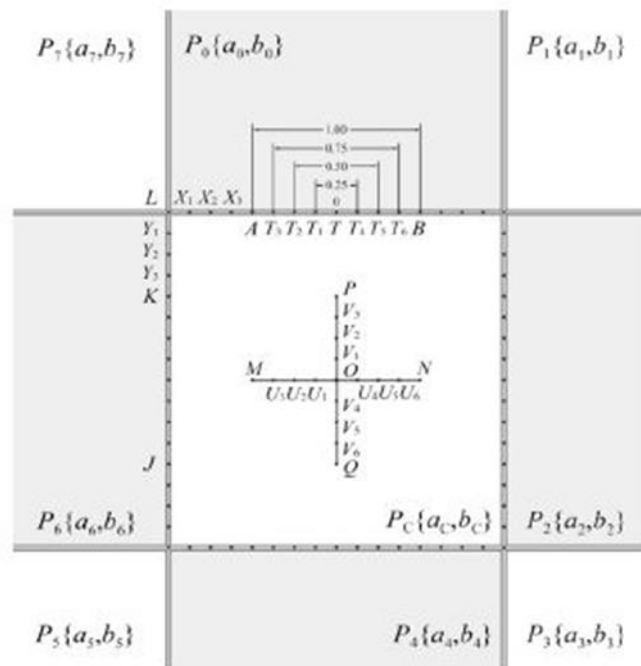
۱- اگر $a_0=1$ ، در نتیجه $V_{AB}=AB$ است.

۲- اگر $a_0=0$ ، در نتیجه $V_{AB}=0$ است.



$$V_{AB} = \frac{[a_0 / 0.125]}{8} \cdot |AB|$$

۳- اگر $0 < a_0 < 1$ ، در نتیجه



شکل ۳- پیکسل های همسایه و پیکسل مرکزی در پاره خط های مرزی PC با الگوی منطقه

۳-۲- تعیین موقعیت V_{AB} در AB

بعد از تعیین مقدار طول V_{AB} در AB، موقعیت در AB تعیین می شود. مراحل تعیین آن شامل دو گام است:

۳-۲-۱- گام اول: موقعیت اولیه V_{AB} :

شروع از نقطه میانی T از خط متقاطع AB است. می توان یک واحد نقاط تقسیم شده از AB در هر دو سمت T را گرفت تا طول قسمت های تقسیم شده برابر با V_{AB} شود. به صورتیکه در شکل ۳ توضیح داده شده است، T_1 تا T_4 با

مقدار 0.25 بر روی خط متقاطع AB مشخص شده اند. به عنوان مثال وقتی که $a_0 = 0.25$ باشد پس $V_{AB}^0 = |T_1 T_4|$

به طور مشابه اگر $a_0 = 0.50$ باشد پس $V_{AB}^0 = |T_2 T_5|$ و اگر $a_0 = 0.75$ باشد پس $V_{AB}^0 = |T_3 T_6|$ است.

۳-۲-۲- گام دوم: محاسبه جابجایی موقعیت Δ_{AB} ():

اگر تعداد نقاط تقسیم شده در دو سمت T با هم برابر نباشند یک انحراف مطرح می شود که ما نیاز به تنظیم موقعیت V_{AB} براساس مقایسه مقادیر a_1 و a_7 داریم. به عنوان مثال وقتی $a_0 = 0.375$ باشد در نتیجه:

$$V_{AB}^0 = |T_1 T_5|$$

۱- اگر a_1 بزرگتر از a_7 باشد در نتیجه

² Position offset



$$V_{AB}^0 = |T_2 T_4| \quad \text{در غیر اینصورت}$$

مقدار انحراف یا جابجایی می تواند به صورت زیر محاسبه شود :

معادله (۱)

$$\Delta_{AB} \equiv \begin{cases} \left[\frac{|a_1 \mp a_7| * (1 \mp a_0)}{0.25} \right] & 0 < a_0 < 1 \\ 0 & a_0 \equiv 0 \end{cases}$$

در معادله (۱) واحد Δ_{AB} برابر است با 8 که به یکی از 8 قسمت از خط متقاطع AB بر می گردد.

با اضافه کردن انحراف Δ_{AB} به V_{AB}^0 (موقعیت اولیه)، موقعیت نهایی (V_{AB}) محاسبه می گردد.

۲-۴- تعیین طول و موقعیت VMON در MON و VPOQ در POQ:

نقطه O مرکز پیکسل P_C است. خط متقاطع MON و POQ عمود بر هم هستند و طول آن ها برابر با نصف طول لبه ی پیکسل P_C است و $OP = OQ$ ، $OM = ON$ ، خط PQ و MN به ترتیب به 8 قسمت مساوی تقسیم بندی می شوند. هر کدام به طور مساوی به نقاط زیر تقسیم بندی می شوند: (شکل ۳).

$$U_3, U_2, U_1, O, U_4, U_5, U_6 \text{ و } V_3, V_2, V_1, O, V_4, V_5, V_6$$

در جهت افقی طول و موقعیت V_{MON} می تواند با استفاده از a_6 و a_2 ، a_c تعیین شود در حالیکه در جهت عمودی طول و موقعیت V_{POQ} می تواند با استفاده از a_4 و a_0 ، a_c تعیین شود.

۲-۵- تعیین جزء نهایی A در PC:

بعد از دستیابی به طول و موقعیت قطعات خط در 4 سمت P_C ، MON و POQ هر کدام از رئوس شناسایی شده به وسیله این قطعات خط برای تشکیل یک پلی گون به هم متصل می شوند. پلی گون مرز جزء نهایی A درون P_C است. مکرراً ما می توانیم توزیع فضایی جزء نهایی پس زمینه ی B را درون پیکسل P_C با استفاده از مقادیر b_i و b_c محاسبه کنیم.

۳- تجزیه و تحلیل تجربی از تصویر

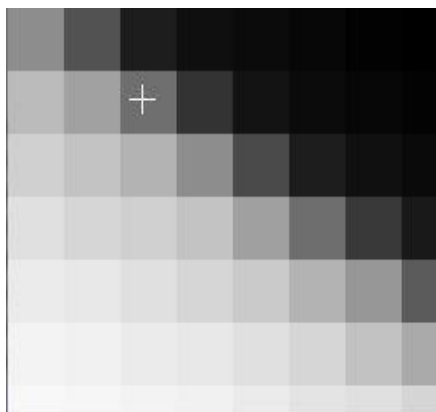
با توجه به اینکه در الگوریتم مورد استفاده ورودی میبایست میزان سهم هر کاربری در پیکسل مورد بررسی قرار داده شود، لذا برای استخراج این سهم انجام یک طبقه بندی نرم الزامی است. طبقه بندی نرم اولین گام در نقشه برداری زیرپیکسلی است [۹].

۳-۱- انجام طبقه بندی نرم

روش های متعددی برای انجام طبقه بندی نرم وجود دارد از قبیل: مدل اختلاط طیفی خطی، فازی c-means، شبکه های عصبی مصنوعی، درختان رگرسیونی، قوانین سیستم خبره و ماشین های بردار پشتیبان [۱۰ و ۱۱]. که



در این پژوهش برای انجام طبقه بندی نرم و دست یافتن به درصد پوشش های تصویر از روش ماشین های بردار پشتیبان استفاده گردید که خروجی کارتوگرافیک آن برای طبقه A در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. در این شکل پیکسلی که با علامت + نشان داده شده است به عنوان پیکسل مرکزی (PC) در نظر گرفته شده است و درصدهای طبقه A حاصل از طبقه بندی نرم به صورت یک ماتریس سه در سه در جدول ۱ ذکر شده است.



شکل ۵- خروجی کارتوگرافیک حاصل از طبقه بندی نرم مربوط به کاربری آب، تصویر لندست ۸ (نزدیک مرز دریاچه مهارلو)

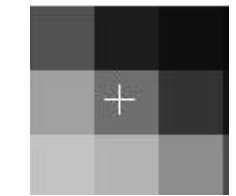


شکل ۴ خروجی کارتوگرافیک حاصل از طبقه بندی نرم مربوط به کاربری آب، تصویر لندست ۸ (دریاچه مهارلو)



جدول ۱- درصدهای مربوط به کاربری
نوع A (آب) حاصل از طبقه بندی نرم

۳۱ P7۰/۸۸	/۱۱۲۵ ۰ P0	/۰۶۱۱ ۰ P1
۶۲ ۰/۱۹ P6	۴۲۹ Pc۰/۲	۱۹۷ P2۰/۱
۷۵ ۰/۳۰ P5	۶۹۱۵ ۰/ P4	۵۴۶ ۰/۲ P3



شکل ۶- برش قسمتی
از تصویر به صورت یک
ماتریس ۳*۳

طبقه بندی نرم (ماشین بردار
پشتیبان)



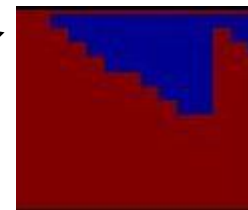
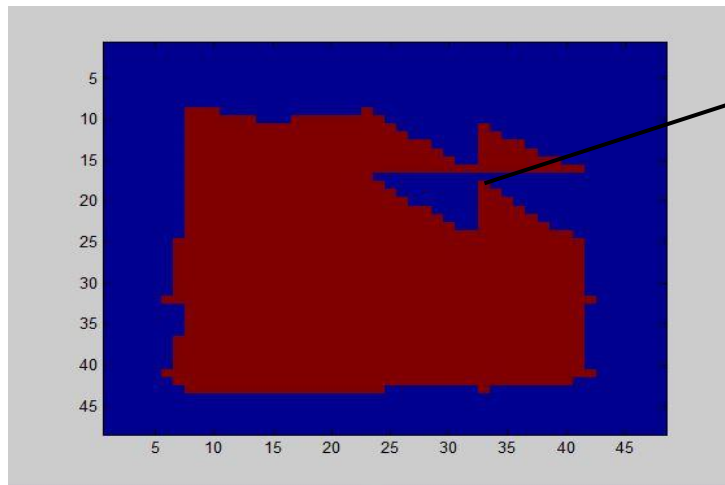
۳-۲- خروجی حاصل از روش نقشه برداری زیر پیکسلی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی :

بر اساس مباحث ریاضی توضیح داده شده در مراحل قبل و با استفاده از درصدهای طبقه A در پیکسل های P₀ الی P₇ و P_c که به ترتیب برابرند با :

$$a_0 = 0.1125, a_1 = 0.0611, a_2 = 0.1971, a_3 = 0.5462, a_4 = 0.6915, a_5 = 0.7530, a_6 = 0.6219, a_7 = 0.3188$$

$$a_c = 0.4292$$

الگوریتم نقشه برداری برداری زیر پیکسلی در محیط برنامه نویسی متلب نوشته شد که خروجی حاصل از کار در شکل ۷ نشان داده شده است در جدول (۱) فقط در صدهای طبقه A نشان داده شده اند و درصدهای طبقه B به این صورت در محیط برنامه نویسی محاسبه شد : $(b = 1 - a)$.



شکل ۸- استخراج مرز
زیرپیکسلی کاربری های مورد
نظر در پیکسل مرکزی (PC)

شکل ۷- نتایج حاصل از الگوریتم نقشه برداری زیرپیکسلی در یک ماتریس
۳*۳ از تصویر ماهواره لندست ۸

همانطور که در شکل ۷ دیده می شود این الگوریتم به خوبی مرز عوارض را درون پیکسل های مخلوط استخراج کرده است و شکل ۸ شکسته شدن پیکسل مرکزی (پیکسل نشان داده شده با علامت + در شکل ۵) و استخراج مرز زیرپیکسلی در این پیکسل را نشان می دهد که در صورت در دسترس بودن تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک خیلی زیاد می توان دقت این روش را بر آورد کرد.

۴- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله به منظور استخراج مرز زیر پیکسلی عوارض ابتدا از طبقه بندی نرم به روش ماشین بردار پشتیبان برای دست یافتن به درصد هر پوشش به طور جداگانه درون هر پیکسل استفاده شد. و یک الگوریتم جدیدی برای نقشه برداری مرز زیر پیکسل پیشنهاد شد. این الگوریتم ابتدا در محیط برنامه نویسی متلب کدنویسی شد و سپس توسط برشی از یک تصویر طبقه بندی شده ی لندست ۸ ارزیابی شد. نتایج این الگوریتم نشان داد که این روش ساده، قوی و ابزاری کارآمد برای شناسایی مرزهای زیرپیکسل و یک هدف موجود با قدرت تفکیک زیاد است. تحقیقات بیشتر می تواند شامل مباحثی از قبیل الگوهای باند و نقطه و همچنین بررسی توزیع فضایی اجزاء نهایی در محدوده ی پیچیده ی متصل شده از الگوی منطقه باشد.

- منابع

- New Algorithm For Sub-Pixel Boundary Mapping”, ISPRS [1] G. Yong, L. Sanping and L. Deyu, “
.Technical Commission II Symposium, Vienna, pp.157-160, 2006
- [2] G. Xiong, Zh. Yanfei, Zh. Liangpei “ A sub-pixel mapping method based on an attraction model for
.multiple shifted remotely sensed images”, Neurocomputing,134,pp.79-91,2014
- [3] K.R. Arun and J. Kamal, “Enhancing object boundaries by subpixel mapping of satellite
image”, Journal of Geomatics, vol 8 NO.2, pp.216-221, 2014.
- , In: Proceedings ”[4] P.M. Atkinson, “Mapping sub-pixel vector boundaries from remotely sensed images
of GISRUK '96. University of Kent, Canterbury, UK, 29-41. In: Kemp Z. Edi: Innovations in GIS 4 [C],
London: Taylor and Francis, pp.166-180, 1997a.



- [5] P. Aplin, and P.M. Atkinson, "Sub-pixel land cover mapping for per-field classification", International Journal of Remote Sensing. Vol. 22, No. 14, pp. 2853-2858, 2001.
- [6] P. Aplin, P.M. Atkinson, and P.J. Curran, "Fine spatial resolution simulated satellite sensor imagery for land cover mapping in the United Kingdom", Remote Sensing of Environment, Vol. 68, pp. 206-216, 1999.
- [7] K.C. Mertens, L.P.C. Verbeke, E.I. Ducheyne, and De Wulf, R.R., "Using genetic algorithms in sub-pixel mapping", International Journal of Remote Sensing, Vol. 24, No. 21, pp. 4241-4247, 2003
- [8] A.J. Tatem, H.G. Lewis, P.M. Atkinson, and M.S. Nixon, "Increasing the spatial resolution of Geographical agricultural land cover maps using a Hopfield neural network", International Journal of Information Science, Vol. 17, No. 7, pp. 647-672, 2003.
- [9] P. Dragutin, K. Milan, N. Ivan – Belgrade, "Super Resolution Mapping of Agricultural Parcel Boundaries based on Localized Partial Unmixing", Izvorni znanstveni èlanak, vol.4, pp. 259–271, 2012.
- [10] P.M. Atkinson, "Super-resolution Target Mapping from Soft-Classified Remotely Sensed Imagery", 2001.
- [11] L. Feng *, D. Yun, X. Fei, X. Huaiping and W. Shengjun, "Super-resolution land-cover mapping using multiple sub-pixel shifted remotely sensed images", International Journal of Remote Sensing, Vol. 31, No. 19, pp. 5023–5040, 2010
- [۱۲] م. نیرومند جدیدی، "تهیه نقشه کاربری در سطح زیرپیکسل مبتنی بر روش های بهینه سازی مکانی با استفاده از تصاویر چندطیفی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، (۱۳۹۱).