



سنگش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۹
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.12, No.2, Summer 2020

۴۵-۵۶

استخراج پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای لندست با استفاده از الگوریتم موجک‌ها رگویا

کاظم علی‌آبادی^{۱*} و امید باغانی^۲

۱. مربی مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری
۲. استادیار دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

چکیده

هدف این مطالعه، ارائه یک الگوریتم محاسباتی-تقریبی بر پایه موجک‌های هار گویا^۱، برای تخمین پوشش گیاهی از تصویر لندست، به کمک بازتاب این پدیده در باند مادون قرمز نزدیک است. این باند در ترکیب رنگی RGB، در بخش R قرار گرفته است. این الگوریتم، با استفاده از DN^۱ پوشش گیاهی در ۲۰۰ پیکسل انتخابی باند R (باند مادون قرمز) از سطح تصویر منطقه مورد مطالعه، سعی در استخراج عوارض و پوشش‌های گیاهی کل منطقه مورد مطالعه را دارد. این تعداد پیکسل انتخابی، به صورت یکنواخت و پراکنده از سطح تصویر و فقط از عوارض پوشش گیاهی انتخاب شده است. با توجه به پذیرش داده‌های ورودی در این الگوریتم در فرمت ماتریس، در ابتدا ماتریس‌های بازتاب پوشش گیاهی برای ۴ و ۸ موجک با استفاده از ۲۰۰ پیکسل مفروض ساخته می‌شوند. این ماتریس‌ها، با بلوک‌بندی تصویر لندست منطقه، به ترتیب به ۱۶ و ۶۴ قسمت به دست می‌آیند. هر عضو این ماتریس‌ها، نشان‌دهنده میانگین پوشش گیاهی منطقه در بلوک متناظر آن از تصویر منطقه است. سپس با معرفی یک معادله کارآمد ریاضی، به استخراج پوشش گیاهی کل منطقه مورد مطالعه و بازسازی باند هر پیکسل از سطح تصویر می‌پردازیم. از جمله مزیت‌های این روش، به دلیل انجام محاسبات ماتریسی، افزایش سرعت و دقت محاسبات در حد مقیاس پیکسل خواهد بود. در این مطالعه، استخراج پوشش گیاهی با ۴ و ۸ موجک‌ها رگویا شده، با میزان دقت به ترتیب ۷۵ و ۸۷.۵ درصد انجام شده است. با افزایش تعداد موجک‌ها، دقت الگوریتم موجک‌ها رگویا افزایش می‌یابد، اما از دلایل موجود جهت عدم افزایش تعداد موجک‌ها، افزایش خطای گرد کردن و افزایش هزینه محاسباتی بوده است، به طوری که با افزایش تعداد موجک‌ها، زمان و حافظه صرف‌شده به صورت نمایی افزایش می‌یابند. در سنجش از دور، برای استخراج پوشش گیاهی، تکنیک‌هایی نظیر طبقه‌بندی^۱ ارائه شده است که به وسیله آنها می‌توان کلاس پوشش گیاهی را با نرم‌افزارهای سنجش از دوری استخراج نمود. اما تفاوت اصلی و اساسی بین روش ارائه‌شده در این مقاله و تکنیک‌های موجود، میزان دقت استخراج پوشش گیاهی در ابعاد پیکسل است. در تکنیک‌های پردازشی و تحلیلی (در خصوص استخراج و کلاس‌بندی پوشش گیاهی) در سنجش از دور، بسیاری از پیکسل‌های حاوی پوشش گیاهی که به صورت منفرد یا خوشه‌ای (اما به تعداد کم) هستند، در سایر کلاس‌ها نظیر زمین بایر یا زمین شهری ادغام خواهند شد، که الگوریتم موجک‌های هار گویا شده، فاقد این نقیصه است.

کلید واژه‌ها: موجک‌ها رگویا، تخمین پوشش گیاهی، تصاویر ماهواره لندست، ترکیب رنگی RGB

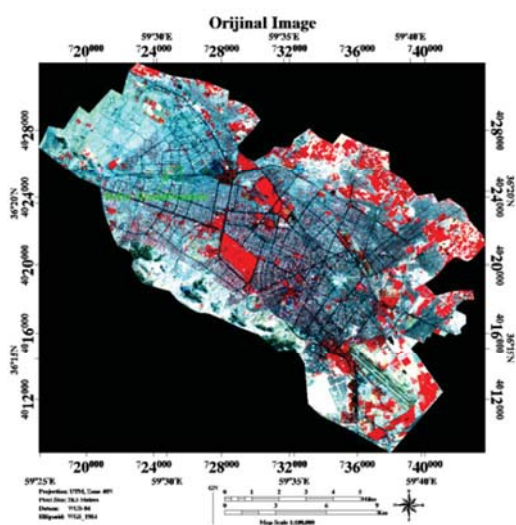
* نویسنده مکاتبه‌کننده: خراسان رضوی، سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، تلفن:

۰۵۱۴۴۰۱۳۱۲۹-۰۹۱۲۸۴۴۲۰۲۷

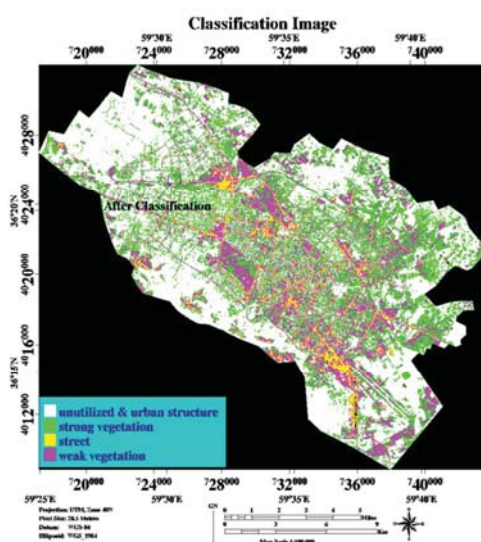
۱- مقدمه:

ساده بسیاری از این اطلاعات ارزشمند یا از بین بروند یا به اطلاعات کاذب دیگری تبدیل شوند. این امر باعث شد تا در این مطالعه، محققان به سمت انتخاب الگوریتمی با دقت بالا روند که برای هر پیکسل ارزش قائل بوده و با دقت بیشتری عمل کلاس بندی را پیاده سازی کنند.

امروزه شناسایی سریع و دقیق پدیده ها و طبقه بندی آنها در علم سنجش از دور از کارهای مهم و چالش برانگیز محسوب می شود، که میزان دقت آنها به طور گسترده به الگوریتم انتخابی در طبقه بندی تصاویر مربوط است. تاکنون روش های مختلفی برای طبقه بندی تصاویر ارائه شده است، اما قابلیت تغییر و بروز رسانی در آنها مشکل خواهد بود. در بسیاری از این الگوریتم ها، میزان دقت در حد پیکسل نیست؛ به گونه ای که بسیاری از پیکسل های یک تصویر، بعد از طبقه بندی در کلاس هایی قرار می گیرند که متعلق به آن کلاس نیستند. انجام چنین فرآیندی با پاره ای از خطاها، نظیر از بین رفتن اطلاعات واقعی و ایجاد اطلاعات کاذب همراه خواهد بود. اگر به پلی گون های ایجاد شده بر روی شکل های a-1 و a-2 دقت کنید، خواهید دید که قسمتی از تصویر که به صورت تصادفی انتخاب شده است، قبل و بعد از پیاده سازی طبقه بندی با الگوریتم K-میانگین^۱ تغییراتی را به همراه داشته است. به کمک برداشت میدانی متوجه خواهیم شد، پیکسل های قرمز رنگ که در کادر آبی رنگ مشخص شده است، در تصویر a-1 پوشش گیاهی و سایر قسمت های داخل کادر، مناطق مسکونی با تراکم کم یا توپوگرافی با شیب کم هستند. با بررسی این بخش از تصویر، قبل و بعد از طبقه بندی شامل دو بخش شده است: بخش اول قبل از طبقه بندی شامل پوشش گیاهی بوده که بعد از طبقه بندی در کلاس زمین بایر قرار گرفته است و قسمت زیادی از بخش دوم قبل از طبقه بندی، توپوگرافی و منطقه مسکونی بودند که بعد از طبقه بندی در کلاس پوشش گیاهی قرار گرفت.



a-1: منطقه مورد مطالعه قبل از کلاس بندی



a-2: منطقه مورد مطالعه بعد از کلاس بندی

1. K-Means

۳- معرفی توابع موجک هار گویا:

برای تعریف موجک‌های هار گویا، در ابتدا به معرفی موجک مادر می‌پردازیم. موجک مادر، مولد تمام موجک‌های بعدی است. موجک مادر برای توابع هار گویا به صورت زیر تعریف می‌شود (Aziz and Islam, 2013)، (Babolian and Shamsavaran, 2009)، (Harr, 1910)، (Maleknejad and Aghazadeh, 2005).

$$H(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t \leq \frac{1}{2} \\ -1 & \frac{1}{2} < t < 1 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

متغیر t در موجک مادر، مقدار DN هر پیکسل در باندهای ۲ و ۳ تصویر لندست منطقه مورد مطالعه است که از بازه $[0, 255]$ به بازه $[0, 1]$ تبدیل شده است. هدف این بخش از تحقیق، در گام نخست، معرفی ۴ و ۸ موجک، سپس نمایش ماتریسی آنها جهت استخراج پوشش گیاهی است. برای تولید $n = 4$ موجک از روی موجک مادر، از رابطه ذیل استفاده می‌کنیم؛

$$h_i(t) = \begin{cases} 1, & i = 0 \\ H(2^j t - k), & i = 1, 2, 3 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که پارامترهای i, j و k با فرمول $i = 2^j + k$ به همدیگر مربوط هستند. در این فرمول بایستی پارامترهای j و k در روابط $j = 0, 1$ و $k = 0, 1, \dots, 2^j - 1$ صدق کنند. پارامترهای i, j, k به ترتیب معرف تعداد موجک شماره موجک، سطح موجک و انتقال موجک هستند (Maleknejad and Mirzaee, 2005)، (Ordokhani, 2006) و (Saeedi et al., 2011).

به کمک رابطه (۲) می‌توان به تعداد دلخواه تابع موجک تولید کرد. تعداد موجکها معمولاً توان مناسبی از ۲ انتخاب می‌شوند، مانند $2^2, 2^3, 2^4$ و ... در شکل‌های زیر نمودار موجک‌های $h_i(t)$ برای $i = 0, 1, 2, 3$ در بازه $[0, 1]$ رسم شده است.

موجک‌ها جزء ابزارهای تحلیلی قدرتمند پردازش سیگنال، پردازش تصویر و مدل‌بندی ریاضی محسوب می‌شوند. آنها به‌طور قابل ملاحظه‌ای در علم سنجش از دور استفاده می‌شوند، زیرا توانایی بالقوه و بالایی در حل مسائل واقعی دارند. اولین کارها در زمینه موجک، در حدود سال ۱۹۸۰ بوسیله مورلت و دیگران (Morlet et al., 1982)، گروس من و مورلت (Grossmann and Morlet, 1984)، مالات (Mallat, 1988 و Mallat, 1989) و میر (Meyer, 1993) انجام گرفت. اما این مقاله خانم اینگرید دابی چی (Daubechies, 1988) بود که مورد توجه بسیاری از بزرگان این علم قرار گرفت و موجب ارتباط پردازش تصویر، آمار و آنالیز عددی گردید (Daubechies, 1992). بیشترین کارها در این حوزه، در فرانسه و آمریکا انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه، با استفاده از DN در ۲۰۰ پیکسل انتخابی از سطح تصویر با پراکندگی یکنواخت، به استخراج و بازسازی پوشش گیاهی کل سطح تصویر، با دقت مطلوب می‌پردازیم. یک دلیل عمده جهت انجام این تحقیق، این بود که بسیاری از الگوریتم‌های سنجش از دور، دارای خطای ادغام پیکسل‌های حاوی پوشش گیاهی با سایر پیکسل‌ها، با کاربری‌های دیگر هستند. عمدتاً این خطا در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف و تنک، روی می‌دهد. این امر باعث دقت استخراج پوشش گیاهی می‌شود. هدف اصلی در الگوریتم پیشنهاد شده، به دست آوردن یک تابع تقریب، بر اساس ماتریس بازتاب پوشش گیاهی از تنها ۲۰۰ پیکسل انتخابی از سطح تصویر است. با استفاده از تابع تقریب به دست آمده به کمک باند مادون قرمز نزدیک با گرفتن مقادیر باندهای ۲ و ۳ تصویر منطقه مورد مطالعه از هر پیکسل انتخابی، باند مادون قرمز نزدیک برای تمام پیکسل‌های سطح تصویر به صورت مجزا و بدون وابستگی به پیکسل‌های همسایه، استخراج و بازسازی خواهد شد. میزان DN باند مادون قرمز نزدیک به دست آمده بر حسب میزان پوشش گیاهی هر پیکسل، از ۰ تا ۲۵۵ خواهد بود.

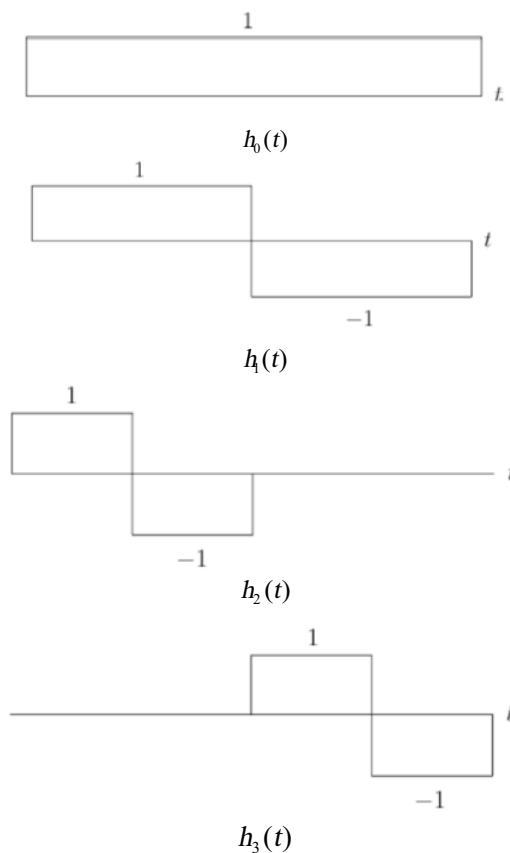
رابطه (۳)

$$\hat{\Phi}_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} h_0(t) \\ h_1(t) \\ h_2(t) \\ h_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

رابطه (۴)

$$\hat{\Phi}_{8 \times 8} = \begin{pmatrix} h_0(t) \\ h_1(t) \\ h_2(t) \\ h_3(t) \\ h_4(t) \\ h_5(t) \\ h_6(t) \\ h_7(t) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

از فرم ماتریسی $\hat{\Phi}_{4 \times 4}$ و $\hat{\Phi}_{8 \times 8}$ برای ساخت ماتریس ضرایب تابع تقریب پوشش گیاهی که در رابطه (۸) معرفی خواهد شد، استفاده می‌شود.



۲-۳- معرفی ماتریس $\hat{K}_{n \times n}$ و ارتباط آن با تصویر لندست

از خصوصیت‌های ویژه موجک‌های تعریف شده در این مطالعه، تعریف دامنه آنها در بازه صفر تا یک است. از این رو می‌بایست مقادیر DN تصویر لندست منطقه در باندهای G و B، که در بازه صفر تا ۲۵۵ هستند با نگاشت زیر به بازه $[0, 1]$ نگاشته شوند،

$$(t, s) = \left(\frac{G}{255}, \frac{B}{255} \right) \quad \text{رابطه (۵)}$$

استخراج پوشش گیاهی با استفاده از n موجک $\{h_j\}_{j=0}^{n-1}$ ، مستلزم نمونه‌گیری از سطح منطقه است که برای این منظور، تصویر لندست منطقه مورد مطالعه به $n \times n$ قسمت مساوی تقسیم می‌شود. به هر یک از این قسمت‌ها یک بلوک می‌گویند. فرض کنیم استخراج پوشش گیاهی با ۴ موجک مورد نظر است. در این حالت سطح تصویر به ۱۶ قسمت مساوی تقسیم خواهد شد. انتخاب ۲۰۰ پیکسل از سطح تصویر، به این گونه

۱-۳- نمایش ماتریسی موجک‌های هار گویا

فرض کنیم $\hat{\Phi}_{n \times n}$ نمایش ماتریسی موجک‌های هار گویا برای n موجک $h_0(t), h_1(t), \dots, h_{n-1}(t)$ باشد. ماتریس $\hat{\Phi}_{n \times n}$ دارای n سطر و n ستون است که مولفه واقع در سطر نام و ستون زام این ماتریس به صورت زیر حاصل می‌شود.

ابتدا بازه $[0, 1]$ را به n قسمت مساوی با طول $\frac{1}{n}$ تقسیم کرده، نقطه میانی هر یک از آنها را با t_j نشان می‌دهیم. مقدار $h_{i-1}(t_j)$ مولفه واقع در سطر نام و ستون زام از ماتریس $\hat{\Phi}_{n \times n}$ را نشان می‌دهد. به عنوان مثال برای تعداد موجک‌ها با ۴ و ۸ عدد، نمایش ماتریسی $\hat{\Phi}_{8 \times 8}$ و $\hat{\Phi}_{4 \times 4}$ به ترتیب به صورت زیر خواهند بود:

خاطر نشان می‌کنیم که هر عضو واقع در ماتریس $\hat{K}_{4 \times 4}$ عددی در بازه $[0, 1]$ است. از ماتریس تصویر $\hat{K}_{4 \times 4}$ برای ساخت ماتریس ضرایب تابع تقریب پوشش گیاهی حاصل از ۴ موجک که با رابطه (۸) معرفی خواهد شد، استفاده می‌شود.

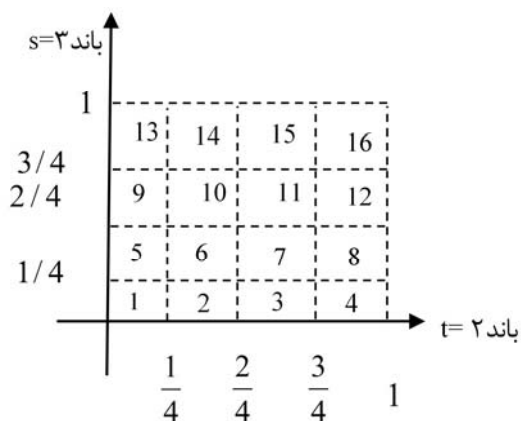
۱-۲-۳- بازسازی ماتریس تصویر $\hat{K}_{n \times n}$ با ۴ و ۸ موجک هار گویا:

نحوه ساخت ماتریس $\hat{K}_{4 \times 4}$ با ۴ موجک به شرح زیر است. به طریق مشابه می‌توان ماتریس $\hat{K}_{8 \times 8}$ را برای ۸ موجک به دست آورد. زیر بخش (i, j) که $i, j=1, 2, 3, 4$ از فضای t و s در تصویر $b-2$ را در نظر می‌گیریم. تمام پیکسل‌های موجود در باند ۲ و باند ۳ دارای مقادیری به صورت زیر هستند:

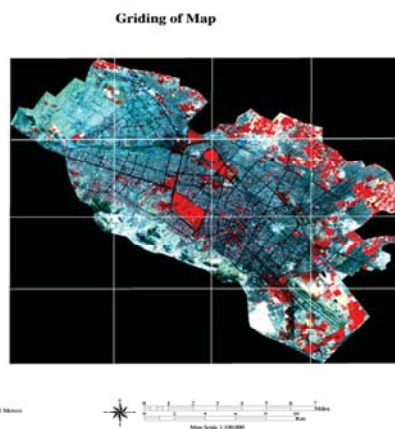
$$\left(\frac{i-1}{4}\right) \times 255 \leq \text{باند } 2 \leq \frac{i}{4} \times 255 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\left(\frac{j-1}{4}\right) \times 255 \leq \text{باند } 3 \leq \frac{j}{4} \times 255 \quad \text{رابطه (۷)}$$

بوده است که از هر بلوک ۱۲ پیکسل و بلوک آخر ۲۰ پیکسل از پیکسل‌هایی که حاوی پوشش گیاهی بوده اند، انتخاب می‌شوند. پس از تصویر کردن مقدار DN باند ۲ از ۲۰۰ پیکسل انتخابی بر محور t در بازه $[0, 1]$ و مقدار DN باند ۳ همان پیکسل‌های منتخب، بر محور s در بازه $[0, 1]$ ، سپس بخش‌بندی بازه $[0, 1]$ برای محورهای t و s مطابق با شکل ۲-۲ به ۴ قسمت مساوی، می‌توان متناظر هر بلوک در تصویر یک زیر بخش در فضای دو بعدی t و s پیدا کرد. بیش از ۹۸ درصد این نقاط روی یا اطراف نیمساز ربع اول و سوم یا خط $t = s$ واقع شده اند. این نشان می‌دهد که داده‌های باند ۲ و باند ۳ از پیکسل‌های انتخابی که متعلق به پوشش گیاهی هستند ضریب همبستگی بالایی دارند. حال اگر باند مادون قرمز نزدیک یا باند ۴ سنجنده لندست را متناظر محور z که عمود بر دو محور t و s است در نظر بگیریم، از میانگین‌گیری مقادیر باند مادون قرمز، در پیکسل‌های انتخاب شده در هر بلوک از تصویر یا همان فضای (t, s) و انتصاب این میانگین به گوشه شمال شرقی هر بلوک از فضای باند ۲ و باند ۳، ماتریس تصویر $\hat{K}_{4 \times 4}$ حاصل خواهد شد.



شکل ۲-۲: جدول بندی محورهای باند ۲ و باند ۳ برای چهار موجک



شکل ۱-۲: بلوک بندی تصویر برای چهار موجک

۲-۲-۳- ساختن ماتریس ضرایب $K_{n \times n}$ با ۴ و ۸ موجک هار گویا:

قبل از به دست آوردن تابع تقریب $\tilde{R}_n(t, s)$ برای استخراج پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه با ۴ و ۸ موجک، لازم است ماتریس ضرایب آن یعنی $K_{n \times n}$ به ازای $n = 4, 8$ محاسبه شوند. ماتریس ضرایب تابع تقریب پوشش گیاهی $K_{n \times n}$ برای n موجک، از رابطه ماتریسی زیر حاصل می شود:

$$K_{n \times n} = (\Phi_{n \times n}^{\Lambda^{-1}})^T \cdot K_{n \times n}^{\Lambda} \cdot (\Phi_{n \times n}^{\Lambda^{-1}}) \quad (\text{رابطه } \lambda)$$

منظور از نماد T ترانپوز ماتریس است. از رابطه فوق مشخص می شود که بدست آوردن ماتریس ضرایب $K_{n \times n}$ برای تولید تابع تقریب $\tilde{R}_n(t, s)$ ، منوط به داشتن ماتریس $\Phi_{n \times n}^{\Lambda^{-1}}$ است. بنابراین با محاسبه معکوس ماتریس های (۳) و (۴) خواهیم داشت:

$$\Phi_{4 \times 4}^{\Lambda^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.25 & 0.5 & 0 \\ 0.25 & 0.25 & -0.5 & 0 \\ 0.25 & -0.25 & 0 & 0.5 \\ 0.25 & -0.25 & 0 & -0.5 \end{bmatrix}$$

$$\Phi_{8 \times 8}^{\Lambda^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.125 & 0.125 & 0.25 & 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.125 & 0.125 & 0.25 & 0.00 & -0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.125 & 0.125 & -0.25 & 0.00 & 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.00 \\ 0.125 & 0.125 & -0.25 & 0.00 & 0.00 & -0.50 & 0.00 & 0.00 \\ 0.125 & -0.125 & 0.00 & 0.25 & 0.00 & 0.00 & 0.50 & 0.00 \\ 0.125 & -0.125 & 0.00 & 0.25 & 0.00 & 0.00 & -0.50 & 0.00 \\ 0.125 & -0.125 & 0.00 & -0.25 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.50 \\ 0.125 & -0.125 & 0.00 & -0.25 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.50 \end{bmatrix}$$

پس از عملیات ضرب ماتریسی، با استفاده از رابطه (۸)، ماتریس ضرایب $K_{n \times n}$ برای $n = 4, 8$ موجک به صورت زیر حاصل خواهند شد (محاسبات تا ۴ رقم اعشار گرد شده اند)،

$$K_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.5405 & -0.0854 & -0.0273 & 0.2304 \\ 0.0605 & 0.1035 & 0.0273 & 0.2314 \\ 0.0180 & -0.0180 & 0.4980 & 0.0361 \\ 0.1870 & 0.2250 & -0.0546 & -0.1689 \end{bmatrix}$$

روابط (۹) و (۱۰)

پس از میانگین گیری از مقادیر باند مادون قرمز نزدیک در پیکسل های منتخب و موجود در هر بلوک از تصویر b-1، میانگین به دست آمده را، به عنوان نماینده مقادیر باند مادون قرمز نزدیک برای تمام پیکسل های موجود در آن بلوک، در درآیه واقع در سطر λ م و ستون λ م ماتریس $K_{4 \times 4}^{\Lambda}$ قرار می دهیم. به این ترتیب تمام ۱۶ درآیه ماتریس $K_{4 \times 4}^{\Lambda}$ به دست می آیند. ارتباط $K_{4 \times 4}^{\Lambda}$ با تابع تقریب موجک ۴ تایی، یعنی $\tilde{R}_4(t, s)$ در ادامه مشخص می شود. تابع $\tilde{R}_4(t, s)$ پوشش گیاهی هر پیکسل از تصویر لندست منطقه مورد مطالعه را با ۴ موجک تقریب زده و در صورت قرار داشتن در کلاس پوشش گیاهی، آنرا به طور دقیق و مجزا از پیکسل های همسایه استخراج خواهد کرد. پس از انجام محاسبه میانگین مقادیر باند مادون قرمز نزدیک، برای پیکسل های انتخابی واقع شده در هر بلوک (i, j) ،

ماتریس $K_{4 \times 4}^{\Lambda}$ به صورت زیر حاصل می شود:

$$K_{4 \times 4}^{\Lambda} = \begin{bmatrix} 0.9960937500 & 0.0000000000 & 0.9960937500 & 0.0000000000 \\ 0.0000000000 & 0.9960937500 & 0.8515625000 & 0.0000000000 \\ 0.7148437500 & 0.9335937500 & 0.5820312500 & 0.9218750000 \\ 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.9960937500 & 0.6601562500 \end{bmatrix}$$

با روندی مشابه، ماتریس $K_{8 \times 8}^{\Lambda}$ به صورت زیر

به دست می آید،

$$K_{8 \times 8}^{\Lambda} = \begin{bmatrix} 0.5137254902 & 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 \\ 0.5764705882 & 0.8745098039 & 0.0000000000 & 0.0000000000 \\ 0.0000000000 & 0.9215686274 & 1.0000000000 & 0.5058823529 \\ 0.0000000000 & 0.8313725490 & 1.0000000000 & 0.5843137255 \\ 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.031372549 & 0.5058823529 \\ 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.8549019608 \\ 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.3176470588 \\ 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 \\ 0.0784313725 & 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 \\ 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 \\ 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.7176470588 & 0.0000000000 \\ 1.0000000000 & 0.8509803922 & 0.0000000000 & 0.0000000000 \\ 0.0000000000 & 0.9529411765 & 0.8470588235 & 0.0000000000 \\ 0.0000000000 & 0.3960784314 & 0.5843137255 & 0.9607843137 \\ 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.0000000000 & 0.6627450980 \end{bmatrix}$$

همچنین، فرض کنیم \tilde{R}_n تابع تقریب برای تابع R تولیدشده توسط ۴ و ۸ موجک، به ترتیب $\{h_j\}_{j=0}^3$ و $\{h_j\}_{j=0}^7$ باشد. در این صورت نامساوی‌های زیر برقرار است،

رابطه (۱۳) ارزیابی تحلیل خطا برای ۴ موجک

$$\max_{0 \leq t, s \leq 1} |R(t, s) - \tilde{R}_4(t, s)| \leq \frac{4L}{2^2}, \quad ([1, 4, 7])$$

رابطه (۱۴) ارزیابی تحلیل خطا برای ۸ موجک

$$\max_{0 \leq t, s \leq 1} |R(t, s) - \tilde{R}_8(t, s)| \leq \frac{4L}{2^3}, \quad ([1, 4, 7])$$

روابط فوق نشان می‌دهد با افزایش تعداد موجک‌ها

از ۴ به ۸ موجک، مقدار فاصله $|R - \tilde{R}_8|$ نسبت به

$|R - \tilde{R}_4|$ کاهش می‌یابد. در حالت کلی می‌توان نشان

داد که با افزایش تعداد موجک‌ها رابطه زیر برقرار است:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{R}_n(t, s) = R(t, s). \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

رابطه (۱۵) نشان‌دهنده این است که با افزایش مقدار n ، میزان تخمین پوشش گیاهی به کمک موجک‌ها گویا، به مقدار واقعی نزدیک‌تر خواهد شد.

روابط (۱۳) و (۱۴) تنها از نظر تئوری دارای

اهمیت هستند، زیرا در عمل محاسبه مقدار L امکان

پذیر نیست، چون برای محاسبه L بایستی تابع

$R(t, s)$ در دست باشد که این در عمل اتفاق نمی‌افتد.

تنها مورد دارای اهمیت این است که با افزایش تعداد

موجک‌ها، مخرج کسر در روابط (۱۳) و (۱۴) افزایش

یافته در حالی که صورت کسر ثابت باقی می‌ماند. این

نشان از افزایش دقت تقریب با افزایش تعداد موجک‌ها

است. از طرفی در عمل به کار بردن بیش از ۱۲۸

موجک توصیه نمی‌شود، زیرا از نظر محاسباتی دارای

زمان محاسباتی بسیار بالایی بوده و حافظه اشغال شده

برای نگهداری اطلاعات و انجام عملیات ریاضی الگوریتم

بسیار زیاد می‌شود. در این مطالعه، توابع تقریب \tilde{R}_4 و

$$K_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 0.2432 & 0.0229 & -0.0338 & -0.154 \\ -0.0056 & 0.1649 & 0.0730 & -0.0245 \\ -0.1099 & -0.0699 & 0.2063 & 0.0497 \\ 0.0662 & 0.0008 & -0.0671 & 0.2355 \\ -0.0634 & -0.0536 & -0.1171 & -0.0098 \\ -0.0441 & 0.0455 & 0.0210 & 0.0897 \\ -0.0166 & -0.0230 & 0.0397 & 0.2181 \\ 0.0997 & -0.0604 & -0.0396 & -0.0607 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.0960 & -0.0460 & -0.0701 & 0.0328 \\ -0.0960 & 0.1598 & 0.0799 & 0.0568 \\ 0.2460 & -0.1137 & 0.0098 & -0.0897 \\ 0.0000 & -0.1264 & -0.0509 & 0.2357 \\ 0.2029 & 0.0000 & -0.0196 & 0.0000 \\ -0.0225 & 0.0196 & 0.0000 & -0.1794 \\ 0.0000 & 0.0950 & 0.2754 & -0.2117 \\ 0.0000 & -0.0794 & -0.0990 & 0.0715 \end{bmatrix}$$

حال آماده‌ایم تا ارتباط بین ماتریس ضرایب $K_{n \times n}$

و تابع تقریب $\tilde{R}_n(t, s)$ برای $n = 4, 8$ را معرفی

کنیم. در حالت کلی برای n موجک‌ها گویا، تابع

تقریب برای استخراج پوشش گیاهی از تصویر لندست

منطقه مورد مطالعه با رابطه ذیل حاصل می‌شود،

$$\tilde{R}_n(t, s) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} K_{ij} h_i(t) h_j(s) \quad (۱۱)$$

که K_{ij} ، درآیه واقع در سطر i ام و ستون j ام

ماتریس $K_{n \times n}$ است.

۴- تحلیل خطای روش

هدف این بخش، بررسی خطای موجود بین $R(t, s)$

و $\tilde{R}_n(t, s)$ برای $n = 4, 8$ از نظر ریاضی، در هر

پیکسل از سطح تصویر لندست منطقه مورد مطالعه

است. $R(t, s)$ معرف پوشش گیاهی واقعی منطقه

مورد مطالعه و $\tilde{R}_n(t, s)$ معرف پوشش گیاهی تقریبی

با n ($n=4, 8$) موجک است.

فرض کنیم R ، تابع پوشش گیاهی واقعی، تابعی

پیوسته و مشتق پذیر بوده و داشته باشیم،

$$L = \max \left\{ \max_{0 \leq t, s \leq 1} \left| \frac{\partial R(t, s)}{\partial t} \right|, \max_{0 \leq t, s \leq 1} \left| \frac{\partial R(t, s)}{\partial s} \right| \right\}$$

رابطه (۱۲)

$n=4,8$ محاسبه شده اند. این ماتریس با اطلاعات جمع آوری شده از حدود ۲۰۰ پیکسل از سطح تصویر لندست، که به صورت تصادفی با پراکندگی یکنواخت، به دست آمده اند، محاسبه می شود. برای ساخت $\hat{K}_{4 \times 4}$ سطح منطقه مورد مطالعه به ۱۶ بلوک و برای ساخت $\hat{K}_{8 \times 8}$ به ۶۴ بلوک تقسیم بندی شده است.

• **گام ششم:** ماتریس $K_{n \times n}$ را بساز.

این ماتریس در بخش ۳-۲ معرفی شده و با رابطه (۹) مشخص می شود. $K_{n \times n}$ برای $n=4,8$ با روابط (۱۰) و (۱۱) مشخص شده است.

• **گام هفتم:** تابع تقریب $\tilde{R}_n(t, s)$ را بساز.

این تابع که برای استخراج پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، استفاده می شود با رابطه (۱۱) مشخص می شود. در این مقاله، این تابع برای $n=4,8$ دقیقاً به دست آمده اند که خروجی آنها در شکل های ۱-۲ و ۲-۲ به ترتیب نشان داده شده اند. متغیرهای t و s در این تابع، به ترتیب جایگزین G (باند ۲) و B (باند ۳) مساله هستند که با رابطه (۵) بر محورهای t و s نگاشته می شوند.

۶- **تحلیل خطا با استفاده از تصویر ایکونوس از منطقه مورد مطالعه:**

بالغ بر ۱۰۰ نقطه از تصویر ماهواره ای ایکونوس^۱، از سطح منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. این نقاط به گونه ای انتخاب شده اند که تمامی انواع پوشش گیاهی از فقیر تا غنی را شامل شوند. مکان دقیق این نقاط را دقیقاً بر روی تصاویر حاصل شده از موجک ۴ و ۸ نیز پیدا می کنیم. با محاسبه میزان $RMSE$ بین نقاط انتخاب شده از سطح تصویر ایکونوس و تصاویر حاصل شده از موجک های هار گویا شده میزان دقت این الگوریتم، قابل بررسی است. میزان $RMSE$ به دست آمده برای تصویر

\tilde{R}_g برای تخمین پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه به ترتیب با ۴ و ۸ موجک به دست آمده اند. نتایج محاسبات در شکل های ۱-۲ و ۲-۲ آورده شده است. علاوه بر این، زمان محاسبه و حافظه مصرف شده برای اجرای الگوریتم روی ۵۰۰۰۰ پیکسل از تصویر لندست منطقه مورد مطالعه، با ۴ و ۸ موجک که با نرم افزار Maple12 پیاده سازی شده، نیز در جدول ۱ آمده است.

جدول شماره (۱): زمان محاسبه و حافظه مصرف شده پس از پیاده سازی الگوریتم بر روی ۵۰۰۰۰ پیکسل از تصویر منطقه مورد مطالعه با ۴ و ۸ موجک

تعداد موجک	CPU time(S)	Memory(M)
۴	۵۹.۲۱۸ ثانیه	۲۱.۰۵ مگا بایت
۸	۱۱۶.۸۴۵ ثانیه	۲۱.۶۲ مگا بایت

۵- **خلاصه الگوریتم برای استخراج پوشش گیاهی**

با توابع موجک هار گویا:

• **گام اول:** n را بگیر.

n تعداد موجک های هار گویا است که در این مقاله ۴ یا ۸ فرض می شود.

• **گام دوم:** موجک های هار گویای

$$h_0(t), h_1(t), \dots, h_{n-1}(t)$$

این موجک ها به عنوان RH شناخته می شوند که در بخش ۱-۲ با رابطه (۲) معرفی می گردند.

• **گام سوم:** ماتریس $\hat{\Phi}_{n \times n}$ را بساز.

$\hat{\Phi}_{n \times n}$ نمایش ماتریسی n موجک $h_0(t), h_1(t), \dots, h_{n-1}(t)$ است که در ۱-۲ معرفی شده اند و برای $n=4,8$ با روابط (۳) و (۴) محاسبه می شوند.

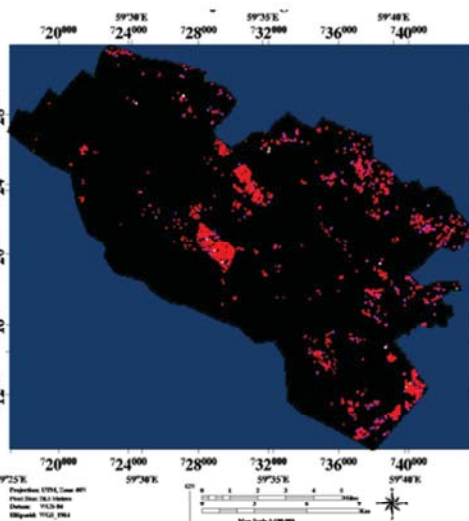
• **گام چهارم:** ماتریس $\hat{\Phi}_{n \times n}^{-1}$ (معکوس ماتریس $\hat{\Phi}_{n \times n}$) را بساز.

این ماتریس برای $n=4,8$ در بخش ۳-۲ محاسبه شده اند.

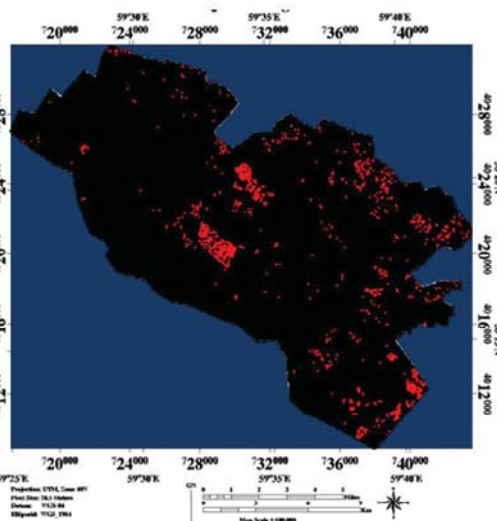
• **گام پنجم:** ماتریس $\hat{K}_{n \times n}$ را بساز.

ماتریس $\hat{K}_{n \times n}$ در بخش ۲-۲ معرفی شده است و برای

1. Ikonos Satellite Imagery



شکل ۲- c: کلاسیبندی با ۸ موجک



شکل ۱- c: کلاسیبندی با ۴ موجک

مقاله قید شد که از مزایای موجک هار گویا، دقت در حد مقیاس پیکسل است و از ادغام و حذف پیکسل‌های درست جلوگیری می‌کند. اما شاید از مشکلات این الگوریتم، عدم تعیین یک بازه یا دامنه مانند NDVI یا سایر شاخص‌های پوشش گیاهی است. عدم این توانایی، تشخیص و تفکیک انواع پوشش گیاهی از لحاظ تراکم را با مشکل همراه می‌سازد. اما می‌توان از لحاظ طیفی، موجک هار گویا را با شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی قرار داد و یک رابطه معناداری بین آنها پیدا نمود. از این رابطه معنادار می‌توان، در راستای کمی‌سازی تصویر خروجی الگوریتم موجک‌ها گویا استفاده نمود. با توجه به اینکه پیکسل‌های تصویر لندست ۳۰ متر مربع می‌باشد و منطقه مورد مطالعه از لحاظ پوشش گیاهی در سطح فقیری قرار دارد، برای ارزیابی بهتر این الگوریتم و مقایسه با سایر شاخص‌های پوشش گیاهی، می‌بایست یا تصویر با قدرت تفکیک بالاتری انتخاب شود یا منطقه‌ای با تراکم یکنواخت و مناسب پوشش گیاهی انتخاب شود. با این وجود، توانایی این روش، حتی برای تصاویر با قدرت تفکیک متوسط نیز مناسب است.

حاصل شده از ۴ موجک هار گویا شده، در حدود ۷۰.۵ درصد و برای تصویر حاصل شده با ۸ موجک هار گویا شده در حدود ۵.۵ درصد است. معمولاً با افزایش تعداد موجک میزان خطا کاهش خواهد یافت. البته برای کاهش خطا تا اندازه‌ای می‌توان تعداد موجک را افزایش داد. با افزایش تعداد موجک، معمولاً مدت زمان محاسبه و میزان هزینه محاسبات افزایش خواهد یافت. شاید بتوان گفت یکی از مشکلات انواع الگوریتم‌های طبقه‌بندی، وجود پیکسل‌های مخلوط است که این مشکل تا اندازه‌ای نیز در الگوریتم موجک نیز وجود دارد که می‌توان مشکل مذکور در الگوریتم موجک را، در هنگام انتخاب نمونه آموزشی، با انتخاب تعدادی پیکسل مخلوط برطرف کرد. انجام این کار نیاز به کار زمینی دارد که در این مطالعه، این کار انجام نگرفته و سعی بر این بوده است تا مراحل انجام این مطالعه، به شکل سیستمی و سنجش از دوری انجام گیرد. هدف از این مطالعه بررسی دقیق عملکرد الگوریتم موجک‌های هار گویا است که میزان دقت آن با استفاده از تصاویر ایکونوس در بالا ذکر شد و همچنین می‌توان با تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بهتر از تصویر ایکونوس، میزان دقت را بررسی کرد. در متن این

۷- نتایج و پیشنهادات:

این مقاله، به تخمین میزان بازتاب پوشش گیاهی به کمک ۲۰۰ پیکسل انتخابی در سطح کل تصویر می‌پردازد. به کمک این بازتاب قصد داریم به استخراج پیکسل‌هایی از سطح کل تصویر بپردازیم که دارای پوشش گیاهی هستند. این کار تماماً به کمک الگوریتم موجک‌ها انجام شده است. تعداد موجک‌های مورد استفاده در این مطالعه، ۴ و ۸ موجک بوده که زمان محاسبه و حافظه مصرف‌شده برای انجام محاسبات عددی به دقت ارزیابی شده و در جدول ۱ آورده شده است. با افزایش تعداد موجک‌ها، دقت محاسبات و حجم محاسبات افزایش یافته و طبیعتاً زمان اجرای محاسبات نیز افزایش می‌یابد. یکی از مزیت‌های این مقاله، نسبت به سایر مقالات ارائه‌شده در این حوزه، تحلیل خطای روش است که حداکثر خطای محاسبه‌شده در هر پیکسل را معرفی می‌کند. با فرض $L < \frac{1}{4}$ (پارامتر

L در رابطه (۱۲) معرفی شده است) حداکثر خطای انجام‌شده برای محاسبه میزان بازتاب پوشش گیاهی، در هر پیکسل با ۴ موجک، ۲۵ درصد و حداکثر خطای محاسبه‌شده با ۸ موجک ۱۲.۵ درصد خواهد بود. با افزایش تعداد موجک‌ها تا ۱۲۸ عدد حداکثر خطای محاسبه به ۰.۷۸۱۲۵ درصد کاهش خواهد یافت. در عمل، محاسبات عددی با تعداد موجک‌های بالاتر از ۸ توصیه نمی‌شود، زیرا به دلیل وجود خطای گرد کردن، محاسبات از روال طبیعی خود خارج شده است، به گونه‌ای که خطای محاسبه‌شده بیشتر از خطای پیش‌بینی شده خواهد شد.

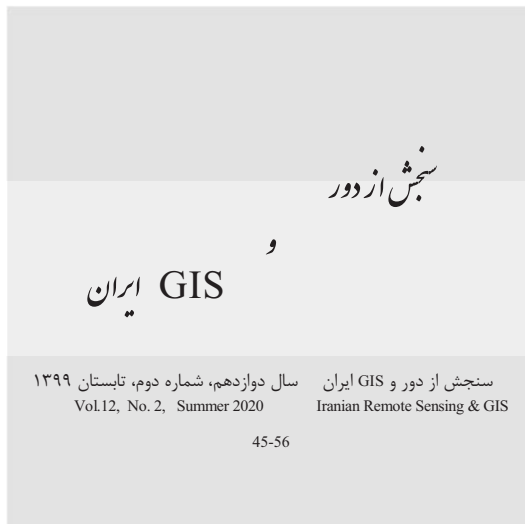
همانطور که قبلاً نیز گفته شد، خروجی هر یک از الگوریتم‌های ۴ و ۸ موجک با تصویر ایکونوس از منطقه مورد مطالعه از لحاظ تحلیل خطا، مورد ارزیابی دقت قرار گرفته است. به‌طور شهودی، در هر بخش از تصویر که پوشش گیاهی از تراکم بالایی برخوردار است، میزان دقت الگوریتم ۸ موجکی، نسبت به ۴ موجکی محسوس نیست. اما در مناطقی که پوشش گیاهی از تاج پوشش کمتری برخوردار است، میزان دقت الگوریتم ۸ موجکی

از ۴ موجکی به مراتب بیشتر است که دلیل عمده آن افزایش فضای ناحیه است. از نتایج مهم این مطالعه، ورود یک الگوریتم ریاضی کارآمد بر اساس پایه‌های موجک‌ها گویاشده، در زمینه سنجش از دور است. با توجه به میزان خطا و بررسی بازتاب در حد پیکسل با دقت زیاد که در این مطالعه انجام گرفته است، می‌توان در سایر زمینه‌های سنجش از دور نیز از این الگوریتم، چه درباره پیش‌پردازش و چه در زمینه پردازش و تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای استفاده نمود. در بسیاری از تکنیک‌های پیاده‌شده در نرم‌افزارهای سنجش از دوری، نظیر ENVI، ERDAS، و غیره، توانایی تغییر در پارامترها وجود نداشته و یا به‌طور ملموس‌تر، کاربر اجازه تغییر الگوریتم را در داخل نرم‌افزار ندارد (قاسمیان، ۱۳۸۱) و (رضائی و فاطمی، ۱۳۸۵). اما از ویژگی‌های الگوریتم ارائه‌شده در این تحقیق، توانایی تغییر پارامترها در حد دلخواه بوده که کاهش خطا تا میزان دلخواه را به‌همراه خواهد داشت.

منابع:

- باغانی، ا.، ۱۳۹۲، کاربرد قضیه نقطه ثابت در معادلات انتگرالی و تحلیل خطای آن، پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.
- قاسمیان یزدی، م.ح.، ۱۳۸۱، پردازش و تفسیر تصاویر دیجیتال در سنجش از دور، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- رضائی، ی. و فاطمی، س.ب.، ۱۳۸۵، مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، تهران.
- Atkinson K.E., 1997, **The Numerical Solution of Integral Equations of the Second Kind**, Cambridge University Press, Cambridge.
- Aziz, I. & Islam, S., 2013, **New Algorithms for the Numerical Solution of Nonlinear Fredholm and Volterra Integral Equations Using Haar Wavelets**, Journal of Computational and Applied Mathematics, 239: 333-345.

- Babolian, E. & Shahsavaran, A., 2009, **Numerical Solution of Nonlinear Fredholm Integral Equations of the Second Kind Using Haar Wavelets**, Journal of Computational and Applied Mathematics, 225: 87–95.
- Berenguer, M.I., Gamez, D., Garralda Guillem, A.I. & Serrano Perez, M.C., 2010, **Nonlinear Volterra Integral Equation of the Second Kind and Biorthogonal Systems**, Abstract and Applied Analysis, Article ID 135216.
- Daubechies, I., **Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets**, 1988, Communications on Pure and Applied Mathematics, 41: 909–996.
- Daubechies, I., 1992, **Ten Lectures on Wavelets**, SIAM Publications, Philadelphia.
- Grossmann, A. & Morlet, J., 1984, **Decomposition of Hardy Functions into Square Integrable Wavelets of Constant Shape**, SIAM Journal on Mathematical Analysis, 15: 723–736.
- Haar, A., 1910, **Zur Theorie der orthogonalen funktionen systeme**, Mathematische Annalen, 69: 331–371.
- Maleknejad, K. & Aghazadeh, N., 2005, **Numerical Solution of Volterra Integral Equations of the Second Kind with Convolution Kernel by Using Taylor-Series Expansion Method**, Applied Mathematics and Computation, 161: 915–922.
- Maleknejad, K. & Mirzaee, F., 2005, **Using Rationalized Haar Wavelet for Solving Linear Integral Equations**, Applied Mathematics and Computation, 160: 579–587.
- Mallat, S., 1988, **Multiresolution Representation and Wavelets**, Ph.D. Thesis, University of Pennsylvania.
- Mallat, S., 1989, **A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11: 678–693.
- Meyer, Y., 1993, **Wavelets, Algorithms and Applications**, SIAM Publications, Philadelphia.
- Meyer, Y., 1993, **Wavelets and Operators**, Cambridge University Press, Cambridge.
- J. Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, E. & Giard, D., 1982, **Wave Propagation and Sampling Theory, Part I: Complex Signal Land Scattering in Multilayer Media**, Journal of Geophysical Research, 47: 203–221.
- Ordokhani, Y., 2006, **Solution of Nonlinear Volterra-Fredholm-Hammerstein Integral Equations via Rationalized Haar Functions**, Applied Mathematics and Computation, 180: 436–443.
- Saeedi, H., Mollahasani, N., Moghadam, M.M. & Chuev, G.N., 2011, **An Operational Harr Wavelet Method for Solving Fractional Volterra Integral Equations**, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 21: 535–547.



Extraction of vegetation from Landsat satellite images using rationalized Haar wavelet algorithm

Aliabadi, K.^{1*} and Baghani, O.²

1. Instructor of Geographical Sciences and Social Studies Research Center, Hakim Sabzevari University
2. Assistant Professor, Faculty of Mathematics and Computer Sciences, Hakim Sabzevari University

Abstract

This study aims to provide a computational-approximate algorithm based on Rationalized Haar (RH) to estimate the vegetation of the Landsat image using reflecting this phenomenon in the near-infrared band. This band is in the RGB color combination and located in the R section.

This algorithm, using Digital Number (DN) vegetation in 200 selected pixels of R band (infrared band) from the study area, tries to extract the features and vegetation of the whole study area. The number of selected pixels is distributed uniformly and only covers the vegetation.

Due to using the matrix format in the input data, first vegetation reflection matrices for 4 and 8 wavelets are constructed using the assumed 200 pixels. Then, these matrices are extended to 16 and 64 parts respectively, through blocking the Landsat image of the region.

Each matrix element represents the average vegetation of the area in its corresponding block. Then, by introducing an efficient mathematical equation, the vegetation of the entire study area is extracted. In addition, each pixel is reconstructed. Due to matrix calculations, speed and accuracy of calculations at the pixel scale will be listed as advantage of this approach.

In this study, vegetation extraction with 4 and 8 RH Wavelets was performed with 75 and 87.5% accuracy, respectively. As the number of wavelets increases, the accuracy of the RH wavelet algorithm increases. However, rounding error and the increase in computational cost in high number of wavelet can be listed as disadvantage of this method. Such that, time and space memory will be increased exponentially. In remote sensing, extraction techniques such as classification have been proposed by remote sensing software. The accuracy of vegetation pixel extracted using this approach will be as advantage in comparison with those common methods. In processing and analytical techniques (for vegetation extraction and classification) in remote sensing, many pixels contain vegetation depicted as single or clustered (but in small numbers) while, in other classes such as barren or Urban land will be merged, which RH wavelet overcomes this shortcoming.

Keywords: Rationalized Haar (RH) wavelet, Vegetation estimation, Landsat satellite images, RGB color combination

* Correspondence Address: Khorasan Razavi, Sabzevar, Hakim Sabzevari University, Tel.: 05144013129- 09128442027

Email: Kazemaliabadi_msc@yahoo.com