

آشکارسازی و مستندنگاری رشته قنات برپایه ادغام تصاویر هوایی و فضایی

عباس مالیان^{۱*}، مرضیه تیموری دامسکی^۲، مهدی عربی^۱

^۱ استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
{a.malian, m.arabi}@srttu.edu

^۲ کارشناس ارشد سنجش از دور - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
m.teimuri@srttu.edu

(تاریخ دریافت آذر ۱۳۹۵، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۶)

چکیده

مستندنگاری^۱، حفظ^۲، نگهداری و بازسازی میراث فرهنگی^۳ و همچنین حریم^۴ آن‌ها، جزء وظایف مهم مردم و دولت شمرده می‌شود و رعایت موازین آن، برای مجریان و مدیران طرح‌های عمرانی و شهرسازی الزامی می‌باشد. برای این منظور، داشتن نقشه‌های دقیق مهندسی ضروری است. نقشه‌های دقیق، مبنای عملیات نگهداری، شناسایی، بازسازی و تهیه آرشیو ملی میراث فرهنگی^۵ قرار می‌گیرد. امروزه با رشد سریع شهرنشینی و گسترش فناوری‌های نوین که ساخت و ساز را تسریع و تسهیل نموده است توجه بیشتر به شناسایی و نگهداری آثار تاریخی اهمیت یافته است. راهکار اصولی برای پایش و تضمین حفظ میراث فرهنگی و حریم آن، انجام اصولی مستندنگاری می‌باشد. تمرکز اصلی در تحقیق حاضر بر تهیه و تدوین روشی بهینه برای آشکارسازی خودکار و مستندنگاری رشته قنات (کاریز) و حریم آن که جزو شاهکارهای مهندسی و از جمله میراث فرهنگی منحصربه‌فرد ایران هستند، با استخراج و ثبت اطلاعات مکانی است. در این تحقیق به منظور شناسایی خودکار قنات‌ها از روش‌های ادغام داده برای تلفیق تصاویر هوایی و ماهواره‌ای استفاده شد. برای دستیابی به داده‌های مناسب برای آشکارسازی و مستندنگاری کاریز دو نوع ادغام انجام گرفته است: ۱- ادغام تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، ۲- ادغام ویژگی‌های استخراج شده از تصویر ادغام شده در سطح تصمیم‌گیری. تصاویر ماهواره‌ای و هوایی، مربوط به منطقه‌ای در اسلامشهر به روش اهلر با یکدیگر تلفیق شده‌اند. پس از تحلیل هریک از روش‌های ادغام مختلف و هیستوگرام تصاویر پایش و پس از ادغام و بررسی معیارهای کمی، به روش‌های مختلف ویژگی‌های رادیومتری موردنظر میله چاه‌های قنات استخراج می‌شوند. این روش‌ها عبارتند از اعمال شاخص‌های TC3 (با ۶۲٪ موفقیت در تشخیص پیکسل‌های مطلوب) و NDWI (با ۶۲٪ موفقیت در تشخیص پیکسل‌های مطلوب) و SAVI (با ۵۲٪ موفقیت در تشخیص پیکسل‌های مطلوب) و اعمال الگوریتم بخش‌بندی بر روی باندهای مختلف تصاویر ادغام شده که در روش اهلر برای باند آبی ۷۶٪ موفقیت در شناسایی عوارض مطلوب به دست آمد. در مرحله بعد برای ادغام در سطح تصمیم‌گیری از دو لایه اطلاعاتی دیگر (لایه شیب منطقه و لایه حاصل از الگوریتم همتایابی الگویی با ۵۴٪ موفقیت در تشخیص پیکسل‌های مطلوب) نیز ویژگی‌های هندسی استخراج شده و همراه با ویژگی‌های به دست آمده در مرحله قبل، مرحله تصمیم‌گیری آغاز می‌شود. برای ادغام در سطح تصمیم‌گیری از روش فازی استفاده شده است. در نهایت، ویژگی‌های دنبال شده کاریز با دقتی بهتر از ۹۰ درصد آشکارسازی شدند.

واژگان کلیدی: ادغام تصاویر، دور کاوی، محتوای اطلاعات، شباهت ساختاری، همتایابی الگویی، مستندنگاری، کاریز

* نویسنده رابط

۱ Documentation
۲ Conservation
۳ Cultural Heritage
۴ Buffer Zone
۵ National Heritage Archive (NHA)

۱- مقدمه

فناوری دورکاوای به تازگی برای شناسایی الگوهای باستان‌شناسی معرفی شده است [۱]. در گذشته تصاویر هوایی در سنجش از دور برای کاربردهای باستان‌شناسی در شناسایی برخی ویژگی‌ها که بر روی زمین قابل دیدن نبودند استفاده می‌شد. نهرها، سواحل و نشانه‌های کشاورزی و گیاهی وقتی همزمان با ویژگی‌های معماری و بازمانده‌های مکانی تحلیل شوند می‌توانند درک چگونگی ارتباط مؤلفه‌های مختلف باستانی و سامانه‌های فرهنگی را فراهم کنند. تصاویر فتوگرامتری شناسایی این نوع ویژگی‌ها و موقعیت‌های آن‌ها را بر روی زمین امکانپذیر می‌کند.

به‌کارگیری فناوری‌های فتوگرامتری و سنجش از دور در شناسایی ویژگی‌های باستان‌شناسی مرتبط با زمین، کاملاً کارایی دارد. اما تفسیر و بررسی این دو به صورت جداگانه، درک جامع و درستی از ویژگی‌ها نخواهد داد و هم‌راستا کردن نتایج حاصل از این دو بررسی دشوار است زیرا تصاویر سنجش از دور یا قادر به بررسی اطلاعات مکانی دقیق هستند یا قادر به جمع‌آوری اطلاعات طیفی دقیق و افزایش دقت در یک از حوزه‌ها به کاهش دقت در حوزه دیگر می‌انجامد. در بررسی‌های باستان‌شناسی تحلیل‌های طیفی بسیار کارآمدند و قادرند با بررسی ناهنجاری‌های طیفی، برخی از ویژگی‌های عوارض باستانی را آشکارسازی کنند. اما بررسی اطلاعات مکانی مانند الگو، بافت و شکل ویژگی‌ها و نیز استخراج جزئیات با چنین تصاویری میسر نیست. بنابراین در پژوهش حاضر تصمیم گرفته شد از عکس هوایی برای جبران کمبود اطلاعات هندسی در این زمینه استفاده شود. لذا ادغام عکس هوایی و تصویر ماهواره‌ای با توانمندی‌هایی که هریک دارند، باعث خواهد شد تا تصویر ادغام شده، اطلاعات مفید هر دو تصویر ورودی را در کنار یکدیگر دارا باشد و بتواند برای تفسیر و شناسایی بهتر کاریزها استفاده شود.

میراث فرهنگی جزو سرمایه‌های گرانبهای هر کشور محسوب می‌شود. یکی از این آثار با ارزش، کاریز یا رشته قنات است که در تمدن گذشته این سرزمین اهمیت ویژه‌ای در تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی به ویژه در نواحی خشک داشته است. این فناوری ارزشمند که

برخاسته از دانش بومی این تمدن بوده در زیر زمین از نظرها پنهان مانده است. قنات‌های ایران با قدمتی بالا در جای جای این سرزمین پهناور و به ویژه در دل مناطق خشک، به تازگی با تلاش متخصصان، در حال بازیابی جایگاه جهانی خود است به طوری که در سال جاری (۱۳۹۵) تعداد یازده رشته قنات ایران به عنوان میراث بشری در فهرست آثار جهانی یونسکو ثبت شد. اهمیت قنات در توسعه پایدار و گردشگری موضوعی است که کم‌تر به آن توجه شده است. همچنین بازسازی و احیاء قنات‌ها در مناطق کویری، کمک شایانی به حفظ حیات منطقه خواهد کرد. لذا ضروری است تا به کمک دانش روز، در شناساندن و باززنده سازی این شاهکار باستانی تلاش نمود. دلایل بسیاری، این تحقیق را به سمت قنات سوق داد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. ارتباط قنات با توسعه پایدار که عبارت است از توسعه متوازن، مداوم و همه جانبه برای نیل به زندگی بهتر و همسو با امکانات محیط بدون تخریب ذخایر زیست محیطی و فرهنگی و با در نظر گرفتن سهم آیندگان. با این تعریف قنات را می‌توان یکی از عناصر مهم توسعه پایدار دانست.
 ۲. ارزش‌های فنی این پدیده که جزئی از فرهنگ ایران و اغلب موارد جزء آثار باستانی به حساب می‌آید لذا حفظ این آثار فرهنگی به عنوان دستاورد باستانی و خردمندانه مردم ایران زمین امری ضروری است.
 ۳. قنات با داشتن ویژگی‌های منحصربفرد خود می‌تواند جاذبه‌های گردشگری ایجاد کند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از [۲]:
 - جنبه فناوری: احداث قنات نیاز به دانش گسترده‌ای از زمین شناسی، مهندسی سازه، مهندسی نقشه برداری، آب شناسی و ژئوتکنیک دارد.
 - جنبه مدیریتی: نظام تقسیم آب قنات و نگهداری آن‌ها پیچیدگی بالایی برخوردار است.
 - جنبه فرهنگی و مذهبی: درباره قنات آیین‌ها و باورهای فراوان با جذابیت‌های خاص وجود دارد.
 - جنبه مناظر طبیعی: کاریز با سامان دهی آب باعث رشد پوشش‌های گیاهی مختلف و وجود جانداران منحصربه فرد و جذاب می‌شود.
- قنات‌هایی که در دوره‌های خشکسالی بهترین حافظ تعادل طبیعی منابع آب زیرزمینی بوده اند، با ورود

مورد توجه قرار گیرد و لازم است در فعالیت های عمرانی و توسعه ای از هرگونه تجاوز به حریم و چشم انداز آثار تاریخی پرهیز کرد. این موضوع به ویژه در مورد رشته قنات های کشور، اهمیت ویژه ای دارد زیرا برخی از این آثار نزدیک به مناطق شهری هستند و ساخت و سازهای بی رویه نزدیک به آنها، منجر به تخریب و خشک شدن قنات ها می گردد. در شهرسازی حفظ حریم این آثار بارز، بسیار مهم است. طبق اصول و موازین علمی بین المللی که توسط انجمن جهانی بناها و محوطه های باستانی^۳ (آیکوموس) تعریف شده است، برای میراث فرهنگی حریم های مختلف تعریف می شود که برای هر یک نوع ویژه ای از مراقبت و محدودیت های خاص از نظر ساخت و ساز و دخل و تصرف تعیین شده است که باید توسط طراحان و دست اندکاران عمران، معماری و شهرسازی رعایت شود [۴].

پژوهش های اندکی در زمینه مقاله حاضر انجام شده است. مک فرسون و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه بر روی قنات های سرزمین افغانستان برای تعیین خودکار موقعیت چاه ها، از بررسی بصری ویژگی های کاریز (میله چاه های عمودی) استفاده کردند. فعال بودن یا غیرفعال بودن قنات را نیز با در نظر گرفتن این که آیا چاه ها باز هستند یا نه و با استفاده از داده های پژواک نخست پرتو لایدار تعیین کرده اند [۵].

در مطالعه دیگری که توسط آنتونین اجیتو^۴ در دانشگاه کانزاس آمریکا در سال ۲۰۱۳ انجام شده است، از داده های لندست ۵ برای محاسبه و تحلیل شاخص NDVI استفاده شده و به وسیله آن تعیین می شود که آیا قنات فعال است یا نه. او از عکس های هوایی به صورت مستقل، برای بررسی بافت و الگوی قنات ها استفاده می کند [۱].

برایان جانسون (۲۰۱۴) با بررسی روابط ریاضی و استفاده از تصاویر لندست ۸، ثابت می کند که اعمال شاخص های گیاهی بسته به نوع داده های ورودی، باعث از دست رفتن محتوای اطلاعات مکانی می شود [۶]. جمع بندی پژوهش های پیشین این نکته را مشخص می کند که اگر کیفیت مکانی بالا برای تصویر مورد استفاده در

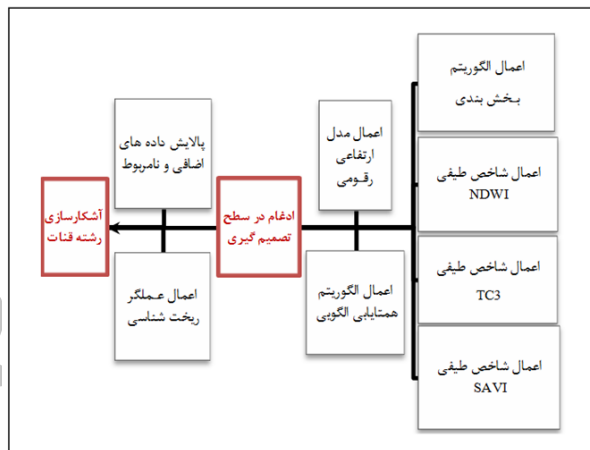
فناوری های نوین حفر چاه متأسفانه رو به فراموشی و نابودی نهاده اند. در شرایطی که بیش تر مساحت ایران را بیابان های خشک و کویرها تشکیل داده اند، تجدید حیات دوباره قنات و رونق دوباره آبادی های متروک مانده می تواند از توسعه سریع کویر جلوگیری کند و شاید بتوان گفت که در پهنه کویر با بارش اندک و فقر منابع آبی و سختی های اقلیمی طبیعی حاکم بر آن، بهترین و منطقی ترین شیوه فراوری آب، به کارگیری سازکار کاریز است و باید از هم اکنون و پیش از آن که یک رشته قنات دیگر به فهرست قنات های خشک و متروک افزوده شود با عزم ملی و همکاری عمومی برای احیاء قنات ها، حرکتی جدی را آغاز کرد [۲]. کاریز جزو شاهکارهای تاریخ مهندسی و از جمله میراث فرهنگی منحصر به فرد ایران به حساب می آید. نخستین قنات های تاریخ در ایران شکل گرفته و ابداع این ساختار پیچیده و فنی در منابع مختلف به ایران نسبت داده شده است. شناخت موقعیت و حفظ این آثار، امری ضروری است و تحقیق حاضر کوششی است در زمینه آشکارسازی^۱ و مستندنگاری^۲ رشته کاریز بر پایه ادغام و تحلیل عکس های فتوگرامتری و تصاویر ماهواره ای که برای شناخت، پایش و باز زنده سازی این آثار ارزشمند مورد نیاز است.

همچنین، توجه به حریم عناصر شهری، روستایی، عوارض انسانی، طبیعی، تاریخی و جغرافیایی، یکی از مهمترین موضوعات مهندسی و برنامه ریزی است که از قرون باستان تا کنون مطرح و نسبت به ضرورت های زمان و مکان، شیوه های متفاوتی به خود گرفته است. مطالعه سوابق تاریخی در بسیاری از شهرها و روستاها، نشان می دهد که حریم گذاری عناصر مهم و تاریخی با اهدافی چون دفاع، پایش، نگهداری، تنظیم و هدایت آن دسته از سکونتگاه ها و تأسیساتی که در پیرامون عناصر مهم تاریخی و باستانی به وجود آمده یا در آینده بوجود می آیند امری ضروری و اجتناب ناپذیر است [۳]. در راستای حفظ، نگهداری، احیاء و پایش ساخت و سازها و تصرفات پیرامون آثار فرهنگی، تاریخی و طبیعی کشور، توجه به حریم و شیوه های شناسایی و احیاء آثار مذکور، جایگاه و اهمیت ویژه ای پیدا کرده است و باید به دقت

^۳ International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)
^۴ Egitto, Antoinette

^۱ Detection
^۲ Documentation

تولید شاخص‌های طیفی مورد نیاز باشد، باید روشی به کار گرفته شود که اطلاعات مکانی تصویر را بهبود بخشد. در تحقیق انجام شده در مقاله حاضر سعی بر این بوده که با تلفیق فتوگرامتری و سنجش از دور و بهبود محتوای اطلاعات داده های مکانی با ادغام تصاویر چندطیفی فضایی با عکس های هوایی و پیاده سازی روال هم‌تایابی الگویی، در کنار استفاده مناسب از شاخص های طیفی بر روی محصول ادغام تصاویر، روشی نوین و کارآمد برای آشکارسازی خودکار قنات های کشور که برای پژوهش و باززنده سازی آنها در پهنه سرزمین ایران مورد نیاز است ارائه گردد. نمودار چرخه کار به کار گرفته شده در روش پیشنهادی در مقاله حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار چرخه کار پژوهش

براساس تبدیل IHS^۲ به همراه پالایش^۳ در حوزه تبدیل فوریه است [۸]. روش اهلر برای این منظور توسعه یافت تا بیش از سه باندطیفی را با تبدیلات IHS دربر گیرد. در مرحله اول، تصویر چندطیفی با توان تفکیک پایین، تحت تبدیل IHS قرار می گیرد. سپس تبدیل فوریه دوبعدی^۴ بر تصویر پانکروماتیک و مؤلفه شدت اعمال می گردد. پالایه پایین گذر مناسب برای مؤلفه شدت و پالایه بالاگذر برای تصویر پانکروماتیک استفاده می شود. براساس نسبت بین اندازه پیکسل های تصاویر توان تفکیک بالا و پایین، بسامد برش^۵ برای پالایه ها تعیین می شود. پالایش می تواند به طور مستقیم در حوزه بسامد انجام شود. تبدیل فوریه دوبعدی وارون، هر دو مؤلفه را به حوزه مکان باز می گرداند. مؤلفه شدت پالایش شده با پالایه پایین گذر و باند پانکروماتیک پالایش شده با پالایه بالاگذر جمع می شوند و با هیستوگرام شدت اصلی، انطباق داده می شوند. در پایان یک تبدیل IHS وارون، تصویر ادغام شده را به حوزه RGB باز می گرداند [۹]. ادغام به روش اهلر حتی در صورتی که اطلاعات پانکروماتیک با حساسیت طیفی باندهای ترکیب شده انطباق نداشته باشد (ادغام چندسنجنده ای و چندزمانی) کارایی دارد و نتیجه آن در بسیاری از موارد نسبت به روش های ادغام استاندارد مانند IHS و براوی^۶ بهتر است.

۲-۲- معرفی داده های به کار رفته

در این تحقیق دو نوع داده اصلی به کار گرفته شد (شکل ۲):

- الف- عکس فتوگرامتری پانکروماتیک اولتراکم XP با فاصله نمونه برداری زمینی^۷ ۱۰ سانتیمتر
 - ب- تصویر ماهواره ای سنجنده چندطیفی MS ماهواره آیکنوس با توان تفکیک مکانی^۸ ۴ متر
- داده های فوق مربوط به سال ۱۳۹۱ می باشند که در ادامه چگونگی ادغام و به کارگیری آنها تشریح می شود.

۲- روش شناسی پژوهش

۲-۱- روش اهلر در ادغام داده ها

ادغام تصویر^۱ اشاره به اخذ، پردازش و ترکیب اطلاعات تصویری دارد که به وسیله سنجنده های مختلف یا با یک سنجنده در حالت های اندازه گیری مختلف تهیه شده اند [۷]. به عبارتی دیگر با عملیات ادغام، تصویر پانکروماتیک با توان تفکیک مکانی بالا با تصویر چندطیفی با توان تفکیک مکانی پایین، ترکیب می شود و حاصل تصویری است با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا. یعنی تصویر حاصل، مزایای هر دو تصویر ورودی را دارد و در نتیجه استخراج اطلاعات تصویری با بالاترین محتوا و بهترین کیفیت ممکن می گردد. ادغام به روش اهلر

^۱ Image Fusion

^۲ Intensity-Hue-Saturation

^۳ Filtering

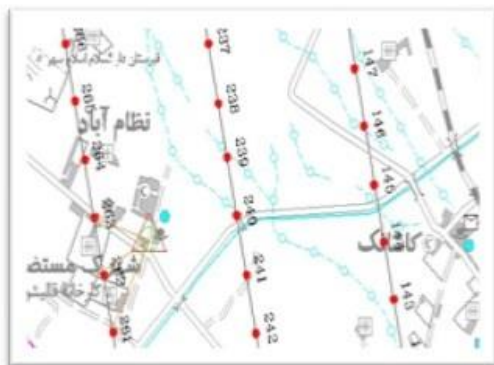
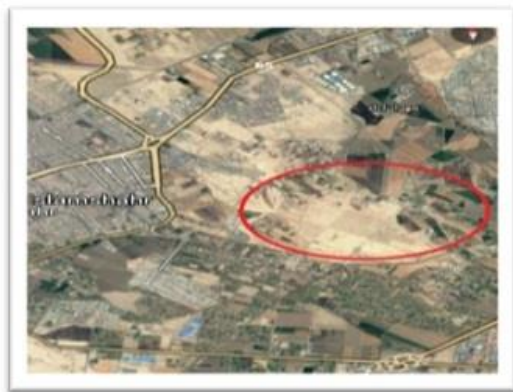
^۴ 2D Fourier Transform

^۵ Cut-Off Frequency

^۶ Brovey

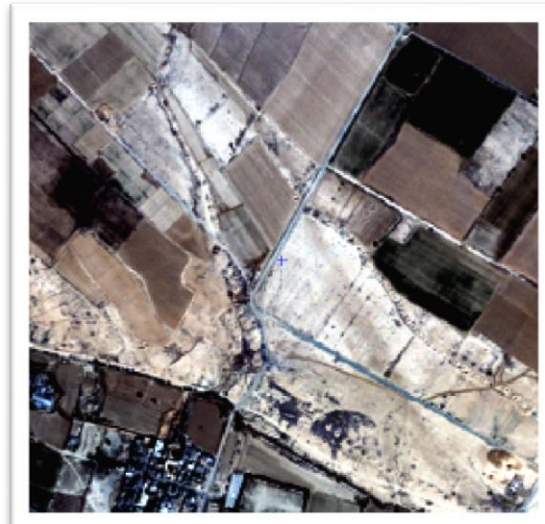
^۷ GSD

^۸ Resolution



شکل ۳- موقعیت منطقه مطالعه.

بالا: بر روی تصویر ماهواره ای، پایین: بر روی نقشه طرح پرواز



شکل ۲- منطقه اسلام شهر. بالا: تصویر چندطیفی ماهواره آیکونوس، پایین: عکس فتوگرامتری دوربین هوایی اولتراکم

۲-۴- پیش پردازش داده ها

تصویر چندطیفی آیکونوس از سازمان نقشه برداری کشور تهیه شد. طبق توضیحات فراداده^۱، تصویر فوق هم تحت تصحیح جوی قرار گرفته بوده و هم زمین مرجع^۲ شده بوده است. تصاویر فوق با استفاده از نقشه های ۱:۲۰۰۰، مختصات دار شدند. افزون بر این، تصویر فاقد ابر، سایه و عوامل مزاحم دیگر می باشد. عکس هوایی مربوط به دوربین فتوگرامتری اولتراکم، در حالت پانکروماتیک با تصحیحات لازم و دارای مختصات تهیه گردید. تصویر مزبور در سازمان نقشه برداری کشور توسط نرم افزار INPHO مختصات دار شد و تصحیحات لازم بر روی آن انجام گرفت. برای ورود به الگوریتم های مختلف ادغام، تصاویر ورودی باید مربوط به یک صحنه^۳ باشند و هم اندازه شوند. بدین منظور، ابتدا در محیط نرم افزار PCI منطقه مورنظر در دو تصویر به طوری که هر دو تصویر دقیقاً یک منطقه را پوشش دهند بریده شد. سپس در

۲-۳- معرفی منطقه مورد بررسی

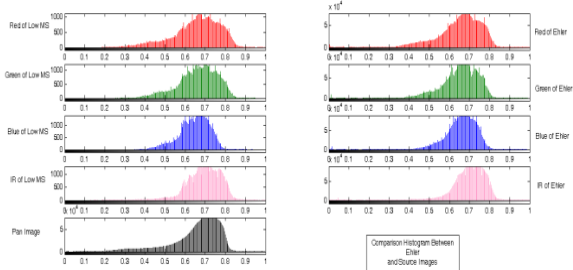
منطقه مورد بررسی در پژوهش حاضر، در جنوب شرقی اسلام شهر و در ناحیه روستای نظام آباد قرار دارد (شکل ۳). طبق اندکس، تصویر ۲۳۸ از طرح پروازی ۱۶۲-۱۳۹۱ در مراحل مختلف تحقیق استفاده شده است. با توجه به شیب منطقه که حدود ۲ درصد است، این منطقه جزو نواحی دشتی شمرده می شود. از اینرو، قنات های منطقه نیز از نوع قنات های دشتی با طول زیاد هستند.

^۱ Metadata

^۲ Geo-Referenced

^۳ Scene

تصویر ادغام شده نسبت به تصاویر ورودی، تاریک تر است یعنی روشنایی کلی تصویر کاهش پیدا کرده است. برای بررسی بیشتر نیاز است هیستوگرام پیش و پس از ادغام تحلیل شود.



شکل ۵- مقایسه هیستوگرام تصویر ادغام شده به روش اهلر و تصاویر ورودی اولیه

طبق شکل ۵ قله هیستوگرام در باندهای مختلف نسبت به باند تصویر پانکروماتیک به غیر از باند ۴ کمی به سمت راست متمایل شده است تغییری نکرده است. بنابراین روشنایی تصویر در سایر باندها نباید نسبت به تصویر پانکروماتیک تغییر چندانی داشته باشد. طبق نمودار مربوط به میانگین درجات خاکستری تصویر ادغام شده و تصویر پانکروماتیک در شکل ۶، تنها باند ۴ تغییر قابل توجهی داشته و افزایش یافته است. اما طبق نمودار انحراف معیار تصویر ادغامی، تباین^۳ تصویر نسبت به تصویر پانکروماتیک اولیه میزان کمی کاهش پیدا کرده است که البته در هیستوگرام قابل تشخیص نیست. به نظر می‌رسد الگوی تغییر میزان انحراف معیار باندهای مختلف از الگوی تغییر انحراف معیار باندهای تصویر چندطیفی اولیه تبعیت می‌کند. به عبارتی دیگر، نسبت انحراف معیار باندهای مختلف با نسبت بین باندهای تصویر اولیه، کم و بیش مشابه است.

طبق نمودار مقایسه میانگین درجات خاکستری باندهای چهارگانه پیش و پس از ادغام (شکل ۷) میانگین درجات روشنایی تصویر در باندهای مختلف نسبت به تصویر چندطیفی اولیه، تغییر چندانی نداشته است. بنابراین انتظار می‌رود که تابیدگی طیفی^۴ بسیار ناچیز باشد، زیرا تغییر میانگین درجات روشنایی تصویر نسبت به تصویر چندطیفی پیش از ادغام، نشان دهنده تابیدگی طیفی باندها خواهد بود.

محیط MATLAB و پیش از ورود به الگوریتم‌های ادغام، ابعاد تصویر چندطیفی با استفاده از روش دوخطی^۱، به ابعاد تصویر پانکروماتیک رسانده شد. همچنین تصویر پانکروماتیک برای هم‌جنس بودن با تصویر چندطیفی، از نظر درجه چندی سازی^۲ به ۱۶ بیتی تبدیل گردید.

۳- پیاده سازی

۳-۱- ادغام و ارزیابی

در روش اهلر دو ویژگی خاص وجود دارد: یکی استفاده از تبدیل IHS که می‌تواند حداکثر اطلاعات مکانی را حفظ کند و دیگر این‌که پالایه‌های موردنیاز در فضای بسامد اعمال می‌گردد و سپس تصویر نهایی به فضای RGB بازگردانده می‌شود (شکل ۴).



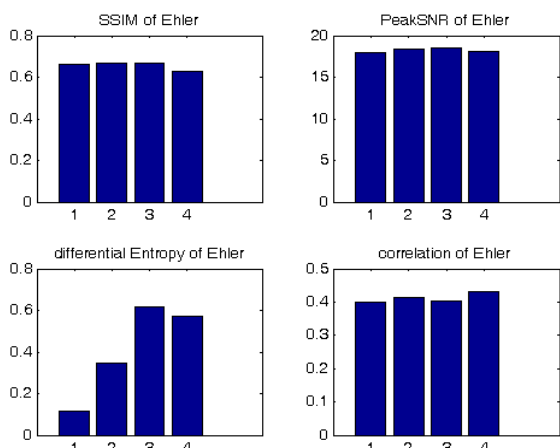
شکل ۴- ادغام عکس فتوگرامتری و تصویر ماهواره‌ای به روش اهلر (بالا) و بزرگنمایی شده آن (پایین)

^۳ Contrast
^۴ Spectral Distortion

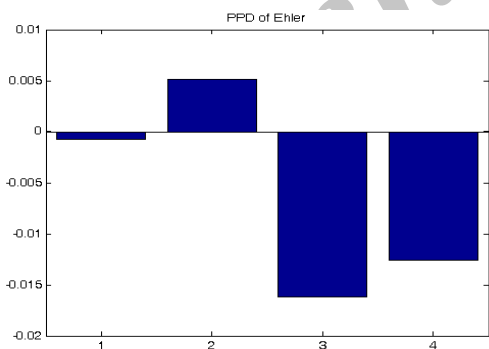
^۱ Bi-Linear
^۲ Quantization

با تصویر پانکروماتیک دارد. به نظر می‌رسد محتوای مکانی داده‌ها اندکی کاهش پیدا کرده است.

نمودار میله‌ای میانگین درجات خاکستری تصویر ادغام شده و تصویر چندطیفی اولیه و عدم جابجایی قله هیستوگرام باندهای تصویر ادغام شده نسبت به قله هیستوگرام باندهای اولیه در شکل ۸ نشان می‌دهد تغییر چندانی از لحاظ طیفی در باندهای مختلف ایجاد نشده است. نمودار شکل ۹ تأیید می‌کند که تابیدگی طیفی در این روش بسیار پایین است. کم‌ترین تابیدگی طیفی در باند اول و دوم بوده و باندهای ۳ و ۴ به ترتیب بیش‌ترین تابیدگی طیفی را داشته‌اند.



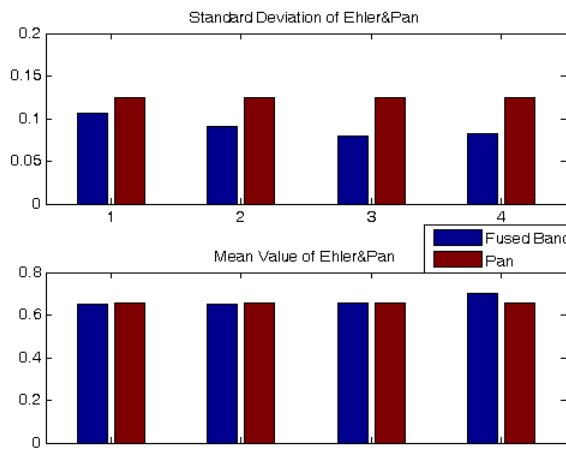
شکل ۸- مقایسه شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر ادغام شده به روش اهلر در باندهای ۱ تا ۴



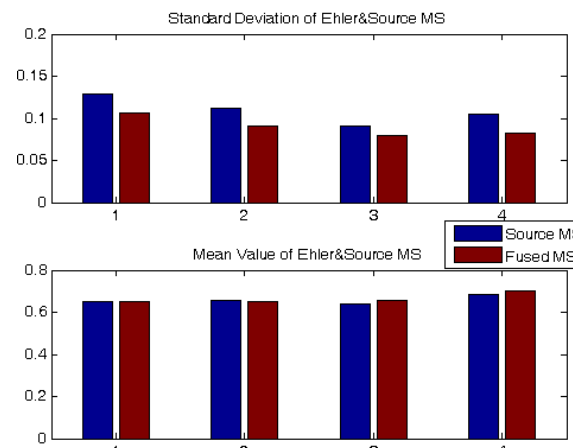
شکل ۹- مقایسه شاخص انحراف پیکسلی تصویر ادغام شده به روش اهلر در باندهای ۱ تا ۴

۲-۳- اعمال شاخص طیفی

در این تحقیق از سه شاخص زیر برای اعمال بر تصاویر ادغام شده به منظور استخراج برخی از ویژگی‌های مرتبط با تصویر کارباز استفاده شده است:



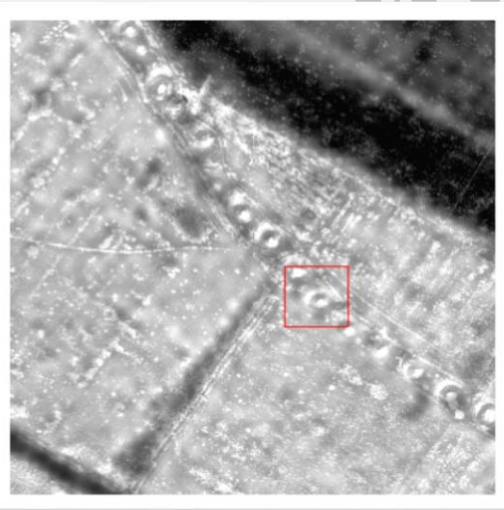
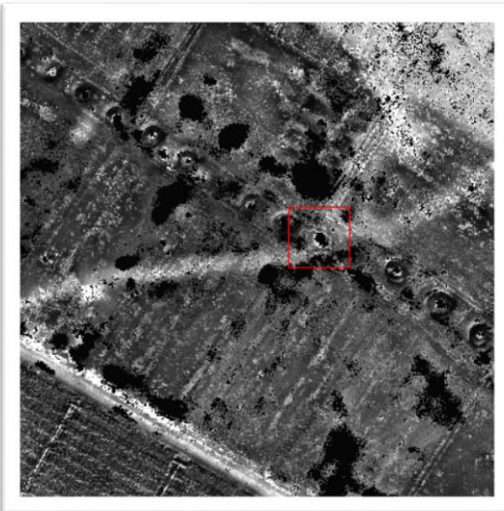
شکل ۶- مقایسه تصویر ادغام شده به روش اهلر با تصویر پانکروماتیک ورودی با توان تفکیک مکانی بالا



شکل ۷- مقایسه تصویر ادغام شده به روش اهلر با تصویر چندطیفی ورودی با توان تفکیک مکانی پایین

معیارهای مختلف برای برآورد کیفیت محتوای اطلاعات^۱ تصویر ادغام شده به کار گرفته شد (شکل ۸). شباهت ساختاری^۲ معیاری خوب و به معنی شباهت تصویر پانکروماتیک اولیه و تصویر ادغام شده است. حداکثر نسبت سیگنال به نویز^۳ نیز وجود خطای چندان زیادی را در تصویر ادغام شده، نشان نمی‌دهد. اما در مقایسه با روش براوی پایین است. همچنین، آنتروپی تفاضلی^۴ به نسبت بالاست. یعنی محتوای اطلاعاتی تصویر پس از ادغام به‌مراتب کاهش پیدا کرده است. این کاهش در باندهای ۳ و ۴ حداکثر میزان را داشته است. ضریب همبستگی^۵ پایین نیز حکایت از عدم شباهت بالای تصویر ادغام شده

۱ Information Content
 ۲ Structural Similarity
 ۳ Signal to Noise Ratio
 ۴ Differential Entropy
 ۵ Correlation Coefficient



- شاخص TC3: سومین مؤلفه تبدیل TC^۱ که نشان دهنده نمناکی^۲ است [۱۰]. مناطق با درجات روشنایی بالا و نزدیک به سفید، نمایاننده نمناکی خاک است که در کنار دیگر علائم، احتمال وجود دهانه کاریز را بیان می کند.

- شاخص SAVI^۳: این شاخص برای شناسایی پوشش گیاهی کم تراکم برای تصاویری که نسبت خاک در آن بیش تر از گیاه است استفاده می شود و اثر خاک پس زمینه^۴ را کاهش می دهد [۱۱]. منطقه مورد بررسی در پژوهش پیش رو نیز دارای پوشش گیاهی کم تراکم است. مناطق کاملاً سیاه در تصویر نشان دهنده عدم وجود پوشش گیاهی است. اطراف دهانه میله چاهها دارای پوشش گیاه کم تراکم است که باید به صورت دوایری در تصویر شناسایی شوند. مرکز این دوایر کوچک، سیاه است زیرا داخل میله چاهها بدون پوشش گیاهی است.

- شاخص NDWI^۵: این شاخص بر پایه ویژگی رفتار طیفی آب طراحی شده است [۱۲]. در این پژوهش شاخص مزبور برای ابهام زدایی از نتایج شاخص های بالا و به منظور بهبود جداسازی آب از خاک و گیاه مورد استفاده قرار می گیرد.

در تصویر ادغام شده به روش اهلر، معیار انحراف پیکسلی مقدار ناچیزی بود. لذا انتظار می رود نتایج قابل قبول به دست آید. تحلیل شکل ۱۰ نشان می دهد که هر سه شاخص کارکرد مناسبی داشته اند. برای ارزیابی کمی، تعداد پیکسل های مشترک تصویر پس از اعمال شاخص، با تصویر مرجعی که پیشتر در آن موقعیت هدف با دقت ترسیم شده محاسبه می شود. تعداد پیکسل های صحیح تشخیص داده شده نسبت به کل پیکسل های هدف در تصویر مرجع، درصد کارایی را نشان می دهد.

شکل ۱۰- تصویر حاصل از اعمال شاخص ها بر تصویر ادغام شده به روش اهلر. بالا: NDWI، وسط: SAVI، پایین: TC3

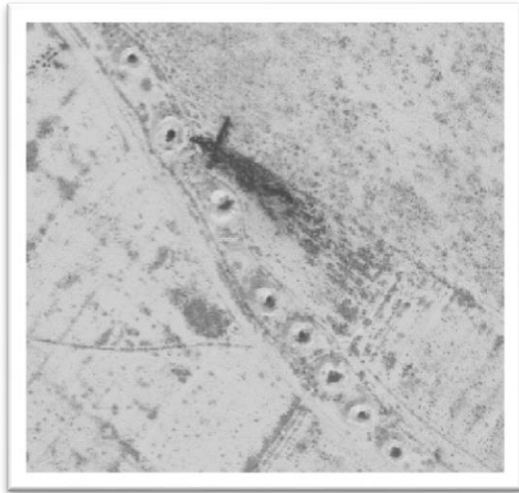
درصد تعداد پیکسل های تشخیص داده شده در موقعیت صحیح قنات در جدول ۱ ارائه شده است:

۱ Tasseled Cap
 ۲ Wetness
 ۳ Soil Adjusted Vegetation Index
 ۴ Background
 ۵ Normalized Difference Water Index

جدول ۱- نتایج کمی شاخص‌ها در روش اهلر

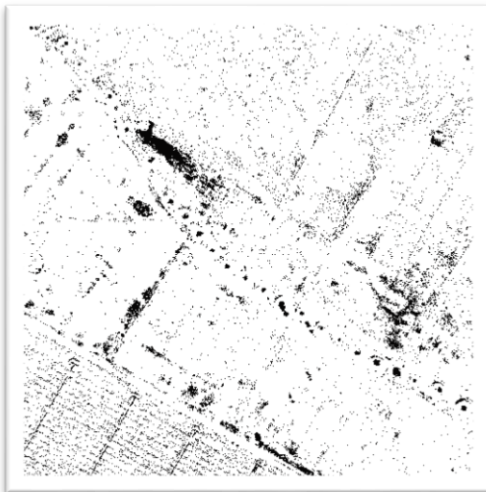
TC3	٪۶۲
SAVI	٪۵۲
NDWI	٪۶۲

میله چاه‌های قنات‌ها از نظر هندسی شکل های دایره ماندنی هستند که مرکز آن‌ها به دلیل باز بودن و عمق، در تصویر تیره‌تر دیده می‌شوند. در شکل ۱۲ نمای نزدیک این عوارض دیده می‌شود.



شکل ۱۲- بزرگنمایی رشته قنات در عکس فتوگرامتری

تصویر فوق باتوجه به وضعیت هیستوگرام آن، به روش آستانه گذاری^۵ طبق شکل ۱۳ بخش‌بندی گردید و در مرحله بعد برای تصمیم گیری مورد استفاده قرار گرفت.



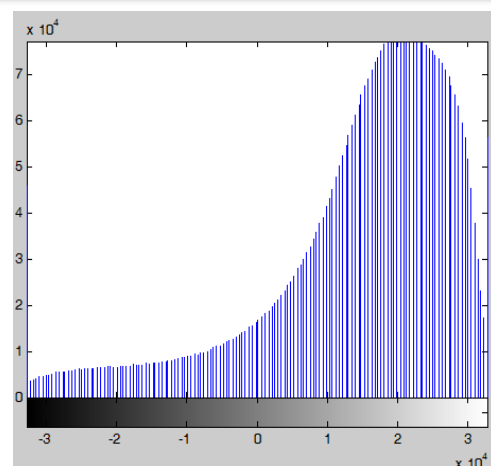
شکل ۱۳- تصویر حاصل از عملیات بخش‌بندی تصویر

مطابق شکل ۱۴، جهت گرادیان و همچنین بزرگی آن در پیرامون دهانه قنات‌ها نشان دهنده تغییر ناگهانی درجات خاکستری است. بنابراین طبیعی است که با الگوریتم بخش‌بندی انتظار تفکیک این عوارض از پیرامون آن‌ها، وجود داشته باشد.

^۵ Thresholding

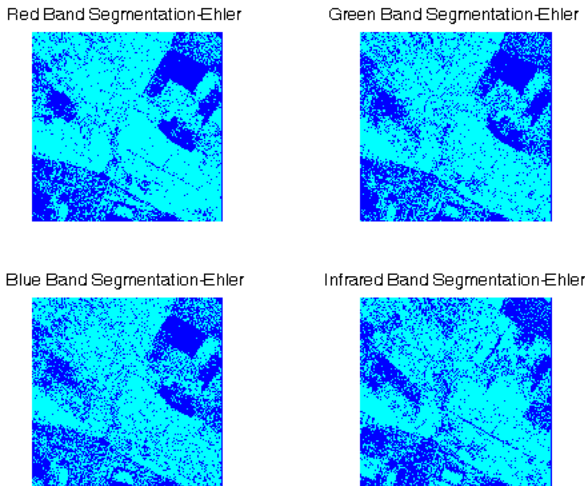
۳-۳- بخش بندی تصویر ادغام شده

در تحقیق حاضر به منظور بخش‌بندی^۱ تصویر، الگوریتم اوتسو^۲ بر روی تصویر پانکروماتیک با دقت مکانی بالا اعمال شد [۱۳]. این روش معیاری برای جداکردن اشیاء از پس زمینه است. حدآستانه بهینه به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که انحراف معیار میان رده ای^۳ بیشینه و انحراف درون رده ای^۴ کمینه شود تا بخش‌بندی بهتر عمل کند. تصویر و هیستوگرام آن در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- بالا: عکس فتوگرامتری، پایین: نمودار هیستوگرام عکس

^۱ Segmentation
^۲ Otsu
^۳ Between-Class
^۴ Inter-Class



شکل ۱۵- بخش‌بندی تصویر ادغام شده به روش اهلر در باندهای چهارگانه

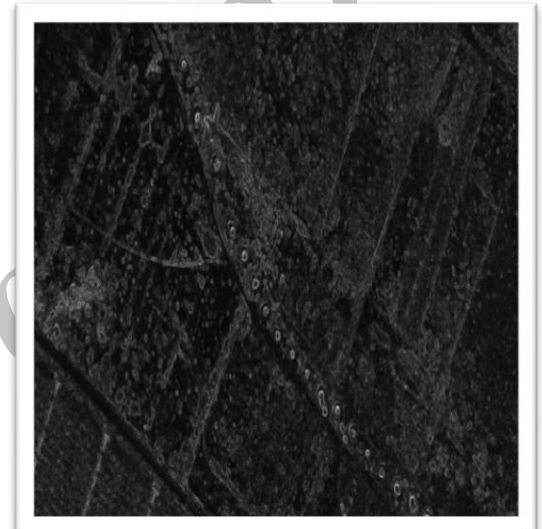
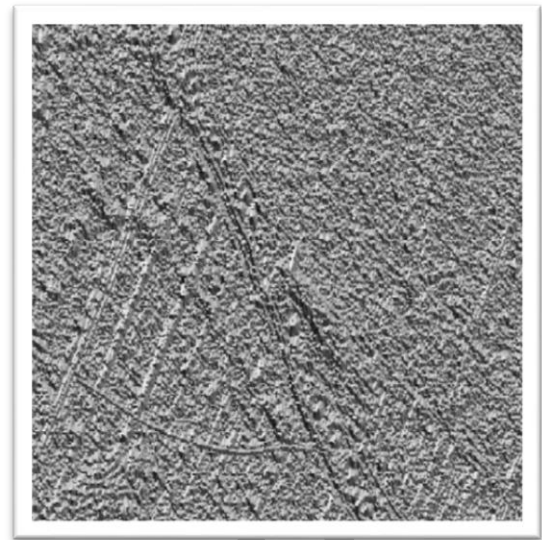
اما نتایج برهم نهی با تصویر مرجع نشان می‌دهد باند آبی اطلاعات بیش‌تری را جداسازی کرده است (جدول ۲) زیرا انحراف معیار در باند آبی نسبت به سایر باندها کمتر است لذا جداسازی عوارض از زمینه بهتر صورت می‌گیرد.

جدول ۲- نتیجه تحلیل کمی الگوریتم بخش‌بندی بر تصویر ادغام شده به روش اهلر در باندهای چهارگانه

فروسرخ	آبی	سبز	سرخ
٪۶۶	٪۷۶	٪۷۰	٪۵۲

۳-۴- هم‌تابی الگویی

دهانه قنات‌ها عارضه‌هایی همسان^۲ شمرده می‌شوند که از نظر درجه روشنی^۳ و نیز ریخت^۴ هندسی از یک الگوی کم و بیش یکسان پیروی می‌کنند. لذا چنانچه یک چاه به‌عنوان یک الگوی نمونه انتخاب و در سراسر تصویر با استفاده از الگوریتم هم‌تابی الگویی^۵ [۱۴] و با معیار ضریب همبستگی پیجویی شود، نتیجه موقعیت‌هایی از تصویر خواهد بود که دارای بیش‌ترین شباهت با الگوی انتخابی هستند (شکل ۱۶). با انتخاب الگوی مناسب، بهبود خوبی در نتایج آشکارسازی حاصل می‌شود. برای نتیجه بهتر و پالایش داده‌های اضافی،

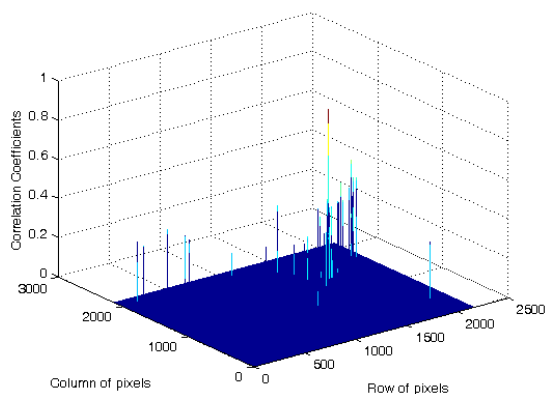


شکل ۱۴- بالا: تصویر بزرگی گرادیان ، پایین: تصویر جهت گرادیان

میزان کارایی روش در تشخیص صحیح پس از برهم‌نهی^۱ با لایه مرجعی که از موقعیت‌های قنات‌ها به دست آمده از عملیات میدانی تولید شد برابر ۷۱ درصد به دست آمده است (شکل ۱۵). الگوریتم فوق بر روی تصویر ادغام شده به روش اهلر نیز اعمال شد. با توجه به شکل ۵ این تصویر دارای یک قله هیستوگرام است لذا یک حد آستانه برای بخش‌بندی در این تصویر نیاز است.

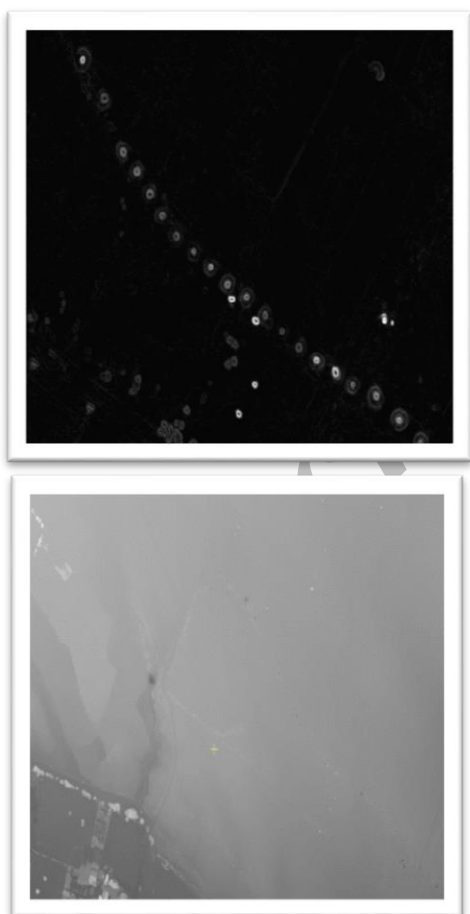
^۲ Conform
^۳ Intensity Value
^۴ Morphology
^۵ Template Matching

^۱ Overlay



شکل ۱۷- نواحی استخراج شده به روش هم‌تایی الگویی

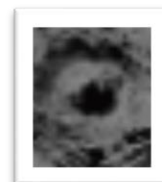
برای تقویت مدل تصمیم‌گیری و به عنوان داده‌های جانبی، مدل ارتفاعی رقومی نیم‌متری منطقه با استفاده از نرم‌افزار INPHO و تصاویر رقومی منطقه تهیه شد. شکل ۱۸ تصویر مدل ارتفاعی رقومی منطقه را نشان می‌دهد.



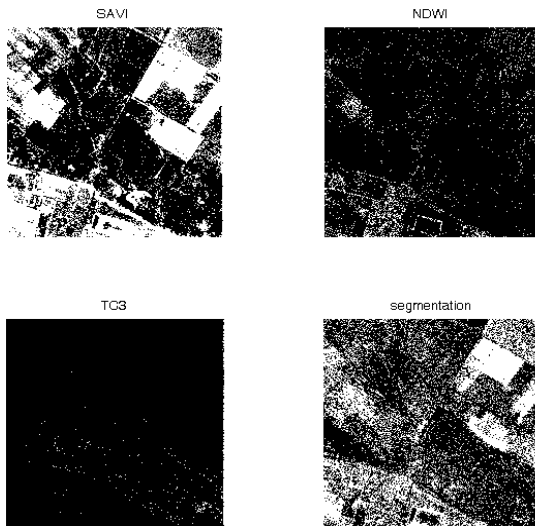
شکل ۱۸- بالا: تصویر شیب، پایین: مدل ارتفاعی رقومی منطقه

تصویر شیب منطقه براساس مدل ارتفاعی رقومی و در محیط ArcMap تهیه شد. نقشه شیب نشان می‌دهد که در برخی نقاط ناهنجاری‌های چشمگیر به میزان

در این مرحله نقاطی از تصویر که با ضریب همبستگی کم‌تر از حد آستانه ۰/۷ استخراج شده‌اند، حذف می‌شوند. شکل ۱۷ نمودار جایگاه نقاط شناسایی شده با روش هم‌تایی الگویی را نشان می‌دهد. میزان کارایی این روش در تشخیص با اشتراک‌گیری نسبت به فایل مرجع، برابر ۵۴ درصد به دست آمد.



شکل ۱۶- بالا: الگوی تهیه شده از دهانه میله چاه‌ها، وسط: عکس فتوگرامتری منطقه، پایین: نتیجه هم‌تایی الگویی



شکل ۱۹- بخش‌بندی تصویر ادغام شده به روش اهلر

برای ادغام در سطح تصمیم‌گیری از روش منطق فازی استفاده شد که در آن تصاویر با وزن‌های مختلف با یکدیگر ادغام می‌شوند و تصویر نتیجه، تصویری با درجات خاکستری خواهد بود که در آن درجات خاکستری روشن‌تر به معنی احتمال بیشتر وقوع است. در پژوهش حاضر برای تصمیم‌گیری نهایی، نقاطی که بیش از ۸۰٪ احتمال وقوع دارند به‌عنوان نامزد انتخاب و از تصویر جدا شدند. در شکل ۲۰ نتیجه نهایی آشکارسازی رشته کاریز پس از برهم‌نهی با عکس هوایی ارائه شده است.



شکل ۲۰- رشته کاریز آشکارسازی شده از نتیجه ادغام پس از برهم‌نهی بر روی عکس فتوگرامتری

حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد به‌صورت دواپر کوچکی وجود دارد. این ناهنجاری‌های ارتفاعی کوچک تپه‌های کوچکی اند که با انباشت خاک پیرامون دهانه قنات تناظر دارند. بنابراین شیب به‌عنوان یک لایه اطلاعاتی دیگر، برای غنی‌سازی داده‌ها و بهبود تصمیم‌گیری به کار گرفته شد. در پژوهش حاضر، اطلاعات استخراج شده توسط داده‌های مدل ارتفاعی، به‌طور کامل با واقعیت زمینی تطبیق داشته و می‌تواند به تشخیص بدون خطا کمک کند.

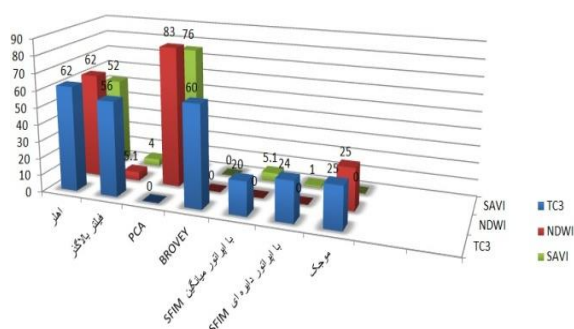
۴- ادغام در سطح تصمیم‌گیری

ادغام در سطح تصمیم‌گیری، فراتر از ادغام در سطح تصویر عمل می‌کند. داده‌های ورودی می‌توانند از انواع مختلف باشند. در این سطح، ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر مختلف با یکدیگر ادغام می‌گردد و نتیجه‌ای کامل‌تر و جامع‌تر از آنچه که هر یک به تنهایی قادر به ارائه آن بودند، حاصل می‌شود. فرآیند تصمیم‌گیری در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شاخص‌ها و الگوریتم بخش‌بندی ادغام می‌شوند. مرحله اول در محیط MATLAB (شکل ۱۹) و مرحله دوم در محیط ArcMap انجام می‌شود سپس نتیجه با لایه‌های اطلاعاتی تصویر شیب و تصویر حاصل از هم‌تابایی تلفیق می‌گردد. در پایان، با اعمال قید مساحت و فاصله، نواحی نامرتبب حذف می‌شوند. طبق میانگین کارایی شاخص‌های مختلف در روش‌های گوناگون و تجربیات مربوط به ویژگی‌های عارضه قنات و نیز پرسش از کارشناسان خبره در این زمینه، برای لایه‌های مختلف اطلاعات استخراج شده می‌توان وزن‌هایی به‌صورت زیر در نظر گرفت:

- ۱- ویژگی‌های اطلاعاتی لایه SAVI : ۲/۱۳
- ۲- ویژگی‌های اطلاعاتی لایه NDWI : ۱/۱۳
- ۳- ویژگی‌های اطلاعاتی لایه TC3 : ۲/۱۳
- ۴- ویژگی‌های اطلاعاتی لایه بخش‌بندی : ۳/۱۳
- ۵- ویژگی‌های اطلاعاتی شیب منطقه : ۳/۱۳
- ۶- ویژگی‌های اطلاعاتی هم‌تابایی الگویی : ۲/۱۳

۵- ارزیابی نتایج

است و می‌توان توسط آن‌ها به تحلیل طیفی منطقه پرداخت. الگوریتم بخش‌بندی در تصاویر ادغام شده برخی از روش‌ها، نتایج بهتری نسبت به بخش‌بندی تصویر هوایی پانکروماتیک می‌دهد. به‌عنوان مثال در روش پالایه بالاگذر، در تمامی باندها پس از ادغام، نتیجه بخش‌بندی نسبت به تصویر هوایی بهتر است.



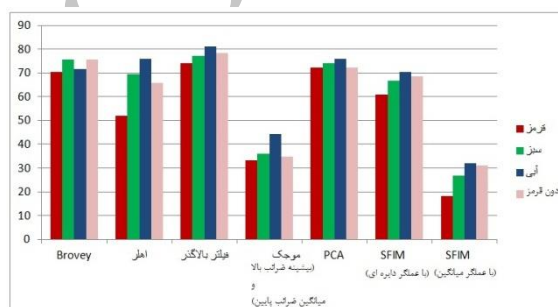
شکل ۲۲- مقایسه درصد موفقیت سه شاخص طیفی بر روش‌های مختلف ادغام مطرح شده

پس از اعمال الگوریتم ادغام، استخراج عوارض و ویژگی‌ها به‌وسیله شاخص‌های طیفی امکان‌پذیر است. در این تحقیق شاخص‌های NDWI و TC3 با برجسته کردن ویژگی‌های نمناکی و شاخص SAVI با جداسازی پوشش گیاهی از غیر آن، کمک شایانی به استخراج عوارض مطلوب کردند (شکل ۲۲). بنابراین استفاده از شاخص طیفی مناسب با منطقه، لایه اطلاعاتی مهمی در تشخیص ویژگی‌ها فراهم می‌کند. بدین ترتیب، با احتساب و اعمال نتایج این پژوهش، با استفاده از روش‌های تحلیل داده‌ها و استخراج خصوصیات هندسی و توصیفی عارضه موردنظر از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، نشان داده شد که ادغام به شیوه اهلر و اعمال منطق فازی برای ترکیب نتیجه ادغام با لایه‌های اطلاعاتی هندسی و رادیومتری مطرح شده در روش پیشنهادی، کارآمدی مناسب را برای شناسایی خودکار کاریز دارد.

۶- پیشنهادها

در این تحقیق در گام نخست از روش اهلر به منظور ادغام داده‌ها و آماده‌سازی تصویر مناسب برای استخراج عوارض موردنظر استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده، این روش در همه شرایط پاسخ‌دهنده ندارد لذا

روش اهلر بعنوان یک روش مناسب برای ادغام تصاویر هوایی و فضایی می‌تواند استفاده شود. در این روش تابیدگی طیفی تصویر ادغام شده در باندهای چهارگانه بسیار پایین و نزدیک به صفر است. معیار شباهت ساختاری و حداکثر نسبت سیگنال به نویز مقدار متوسطی را نشان می‌دهد. اما ضریب همبستگی به نسبت پایین است. اختلاف آنتروپی نیز برای باندهای ۳ و ۴ مقدار بالایی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که استفاده از الگوریتم ادغام برای درج عکس هوایی به عنوان باند پانکروماتیک مجازی در تصویر چندطیفی ماهواره‌ای می‌تواند تصویری تولید کند که به طور همزمان توان تفکیک مکانی و طیفی مطلوب (با افتی پذیرفتنی در کیفیت) را ارائه دهد.



شکل ۲۱- مقایسه درصد موفقیت الگوریتم بخش‌بندی بر روی روش‌های مختلف در چهار باند قرمز، آبی، سبز و مادون قرمز

پیاده‌سازی ادغام به روش اهلر در این تحقیق کارایی بیش از ۹۰ درصد در تشخیص عوارض مطلوب را نشان داده است. اعمال شاخص‌های طیفی TC3 (با ۶۲٪ موفقیت در تشخیص عوارض مطلوب) و NDWI (با ۶۲٪ موفقیت در تشخیص عوارض مطلوب) و SAVI (با ۵۲٪ موفقیت در تشخیص عوارض مطلوب) و اعمال الگوریتم بخش‌بندی بر روی باندهای مختلف تصاویر ادغام شده که در روش اهلر برای باند آبی ۷۶٪ بازدهی داشته است و در نهایت با ادغام در سطح تصمیم‌گیری لایه شیب منطقه و لایه حاصل از الگوریتم همتایابی الگویی (با ۵۴٪ موفقیت در تشخیص عوارض مطلوب) نتیجه نهایی با ۹۰ درصد موفقیت در شناسایی رشته‌قنات حاصل شد (شکل ۲۱). استفاده از شاخص‌های طیفی بسته به نوع شاخص، در تصاویر حاصل از برخی روش‌های ادغام، امکان‌پذیر

الگوریتم شبکه عصبی چندلایه و منطق فازی استفاده کرد که در مراحل بعدی پژوهش آزمایش و ارزیابی خواهد شد.

سپاسگزاری

نویسندگان بدینوسیله از سازمان نقشه برداری کشور برای در اختیار قراردادن عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای و مرکز بین المللی قنات واقع در یزد برای ارائه مشاوره سپاسگزاری می کنند.

پیشنهاد می شود از روش ادغام در سطوح ترکیبی استفاده کرد و به جای استفاده از یک روال واحد، در هر لایه اطلاعاتی از روشی بهینه برای ورود به گام بعدی که استخراج ویژگی است استفاده شود و در نهایت ویژگی های استخراج شده در لایه های مختلف را با یکدیگر ادغام نمود. در تحقیق حاضر، ادغام در سطح تصمیم گیری برپایه منطق فازی انجام شد. برای دست یافتن به عملکرد بهینه در نتیجه ادغام، لایه های مختلف که هر یک وزن خاص خود را دارند، با ضرایب مختلفی وارد می شوند. برای تصمیم گیری می توان از ترکیب

مراجع

- [1] Egitto, Antoinette. (2013). "Remote Sensing Assessment of Karez Irrigation Systems and Archaeological Resources In Maywand District, Kandahar Province". Ph.D. Thesis, University of Kansas, USA.
- [2] Labbaf, M. and Semsar, A. (2015). "Qanat Tourism". Shahande Publishing, Yazd, (in Persian).
- [3] Kavian, V. (2015). Analysis of Buffer Vulnerability for Spatial Documentation of Cultural Heritage". M.Sc. Thesis, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, (in Persian).
- [4] Malian, A., Davarpanah, M. and Sheikhmohammadzadeh, A. (2016). "Assessment of Vulnerability of Flood Prone Historical Monuments and Sites Using ANP-OWA Spatial Multi Criteria Analysis". Geospatial Engineering Journal, 7(3): 25-37, (in Persian).
- [5] Macpherson, G. L., Johnson, W. C., and Liu, H. (2015). Viability of karez (ancient water supply systems in Afghanistan) in a changing world. Applied Water Science, Springer Verlag, Germany.
- [6] Johnson, B. (2014). "Effects of Pansharpening on Vegetation Indices". ISPRS International Journal of Geo-Information, 3(2), pp. 507-522.
- [7] Simone, G., Farina, F. C., Morabito, S. B. Serpico and Bruzzone, L., (2002). "Image Fusion Techniques for Remote Sensing". Information Fusion, Vol. 3, pp. 3-15.
- [8] Sascha, K. and Ehlers, M., (2010). "Performance of Evaluation Methods in Image Fusion". International Journal of Image and Data Fusion, Vol. 1, pp. 24-45.
- [9] Amolins, K, Zhang, Y. and Dare, P., (2007). "Wavelet Based Image Fusion Techniques". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 62, pp. 249-263.
- [10] Cheng, W., Chian, C., Chien, P. and Ming, T., (2008). "A Fixed-Threshold Approach to Generate High-Resolution Vegetation Maps for IKONOS Imagery". Sensors, 8(7), pp. 4308-4317.
- [11] Huete A. R. (1988). "A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)". Remote Sensing of Environment, Vol. 25, pp. 295-309.
- [12] Bo-cai Gao. (1996). "NDWI: A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space". Journal of the International Society for Optical Engineering (SPIE), 58(3), pp. 257-266.
- [13] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins, (2009). "Digital Image Processing Using MATLAB". Gatesmark Publishing, New York.
- [14] Richards, J.A., (2013). "Remote Sensing Digital Image Analysis". Springer Verlag, Germany.