

مدل جنگل تصادفی جهت شناسایی تحولات میکرو لندفرم‌ها با استفاده از تصاویر پهپاد (مطالعه موردی: منطقه افجه در حوضه جاجرود ۱۳۹۶-۱۳۹۷)

محمد حسن توکل - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
منیژه قهرودی تالی* - استاد گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
سید حسن صدوق - استاد گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
خدیدجه علی نوری - استادیار گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

چکیده

حوضه آبریز جاجرود در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز مرکزی تحت تأثیر تغییرات محیطی زیادی قرار گرفته است. در این مطالعه، از یک روش یکپارچه برای شناسایی تحولات میکرو لندفرم‌های این حوضه بر اساس رویکرد ژئومورفولوژیکی ریزمقیاس با استفاده از داده‌های تصاویر پهپاد به همراه بررسی میدانی استفاده شد. از اندازه‌گیری تصاویر پهپادی با رزولوشن مکانی ۱۰ سانتیمتر در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ و الگوریتم یادگیری ماشین با مدل جنگل تصادفی، نقشه‌های تحولات میکرو لندفرم‌های حوضه جاجرود تهیه شد. این تصاویر با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI 5.1 و ArcMap 10.3 تصحیح شد و سپس با استفاده کد نویسی در Python الگوریتم‌های مورد نظر اجرا شد. واحدهای ریز زمین در حوضه با استفاده از این تصاویر طبقه‌بندی شدند. سپس، یک نقشه پهنه‌بندی تحولات از آن تهیه شد. تجزیه تحلیل تصاویر موجب یافتن الگوریتم مناسب برای شناسایی تحولات میکرو لندفرم‌ها با دقت بسیار بالا در زمان کوتاه شد. نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات میکرو لندفرم‌ها در این مدل، مربوط به تغییر پوشش گیاهی به خاک (۶۶/۶۴٪) است. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که سیل منطقه افجه در سال ۱۳۹۷ سبب تغییرات عمده‌ای در منطقه شده است. میکرو لندفرم‌های وابسته به پوشش گیاهی دچار تغییرات عمده شده است. به طوری که نمودار تغییرات آن را در بالاترین حد آشفتنگی نسبت به میکرو لندفرم‌های پایدارتر بستر سنگی رودخانه جاجرود نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: پهپاد، حوضه جاجرود، میکرو لندفرم، مدل جنگل تصادفی.

مقدمه

زمین یک عنصر فعال در محیط زندگی انسان است و تأثیر مهمی بر سایر عناصر و ویژگی‌های کلی محیطی دارد. شناسایی و طبقه‌بندی ویژگی‌های زمین برای محیط‌زیست، تحقیقات هیدرولوژیکی، تجزیه و تحلیل ساختار زمین‌شناسی و سایر تحقیقات زمین‌شناسی اهمیت زیادی دارد (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). سطح زمین شامل لندفرم‌های مختلف است که توسط فرآیندهای داخلی و خارجی شکل گرفته است (سالز^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین طبقه‌بندی شکل زمین یکی از مهم‌ترین روش‌ها در نقشه‌برداری ژئومورفولوژی در درک بیشتر فرآیندهای سطح زمین است (بوکو^۳، ۲۰۰۱). تحولات دینامیکی در دوره‌های مختلف و شرایط موجود نظیر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی متفاوت عمل می‌کند و تفاوت این تحولات در دوره‌های مختلف، رفتارها و شکل لندفرم‌ها را دستخوش دگرگونی نموده است، بنابراین جهت برنامه‌ریزی و ایجاد مدل‌ها و الگوریتم‌های مختلف، شناسایی و رفتار سنجی تغییرات دینامیکی و به تبع آن شناسایی تحولات میکرو لندفرم‌ها ضروری است. تنوع سیستم‌های یو ای وی موجود به سرعت در حال افزایش است و در تشخیص تغییر توپوگرافی یک ابزار قدرتمند در ژئومورفولوژی برای ارتباط دادن فرآیندها و پراکندگی‌ها به نرخ و الگوهای فرسایش و رسوب است (جینز^۴ ۲۰۱۲). استفاده از پهبادها به ما این امکان را می‌دهد تا با استفاده از داده‌های با وضوح بالا حداقل ۱۰ سانتی‌متر، ۳ باند، پوشش گسترده و بازدیدهای کوتاه‌مدت به نتایج موردنظر دست پیدا کنیم (دولرنتس^۵، ۲۰۱۹). اخیراً، الگوریتم‌های جدید و شبکه‌های عصبی کانولوشن (سی ان ان) به یک راه‌حل جدید برای محاسبه چندین مسأله‌ای، مانند طبقه‌بندی تصویر، تشخیص شیء، تقسیم‌بندی معنایی و غیره تبدیل شده‌اند. سی ان ان می‌تواند نمایش تصویر سلسله مراتبی را از داده‌های ورودی با تفکیک موردقبول ویژگی‌های موردنظر انجام دهد. در سال‌های اخیر، این نوع شبکه‌های عصبی برای حل و فصل چندین وظیفه از حوزه‌های مختلف، از جمله سنجش‌ازدور مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در آن مزایای بسیار خوبی را از خود با توجه به مشکلات مختلف از جمله طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل برای کاربری اراضی، تشخیص هدف مانند لندفرم‌ها، جاده‌ها، عوارض انسانی و طبیعی و وضوح تصویر نشان داده‌اند (دولرنتس، ۲۰۱۹).

میکرو ژئومورفولوژی ممکن است ریز سکونت‌گاه‌های مختلفی ایجاد کند و ناهمگنی در سیستم مناطق خشک را افزایش دهد (لی^۶ و همکاران ۲۰۰۸). میکرو لندفرم‌ها به نام‌های مختلفی از جمله: میکرو ژئوفرم، میکرو لندفرم، میکرو فرم و میکروتوپوگرافی نامیده می‌شود. طبق تعریف گرین و همکاران میکرو ژئوفرم‌ها محدوده اندازه از سانتی‌متر تا یک متر را شامل می‌شوند که متشکل از چاله‌ها، رابط‌ها و ترک و شکاف در برون‌زدهای سنگ‌بستر و ریپل‌ها (گرین^۷ و همکاران، ۲۰۰۷) هستند، همچنین ساختارهای انفرادی بیژن مانند مرجان (مادن^۸ و همکاران ۲۰۰۸) و از انواع اولیه لندفرم‌ها (دشت سیلابی، دشت سد شنی، دشت ماندر، دشت آبرفتی پایدار، دلتا و تراس...)، همراه با عناصر اولیه مورفولوژیکی (کانال‌های جریان، سدهای شنی، کانال پرآب، جزایر آبرفتی، خاک‌ریزهای طبیعی و حوضه سیلاب) تشکیل شده‌اند (لون^۹ و یومیتسو^{۱۰}، ۲۰۱۱).

1. Liu, B.; Coulthard, T

2. Salles, Tristan

3. Bocco

4. Evans, Ians

5. Leonardo De Laurentiis

6. Li

7. Green

8. Madden

9. Loan

10. Umitsu

اهمیت و تحولات دینامیکی لندفرمها توسط لی ویلسون^۱ (۱۹۶۷) در کتاب «ژئومورفولوژی دینامیک» بررسی شده است. پیش از او ریچارد چورلی در کتابهای خود تحت عنوان «ژئومورفولوژی» و «دیدگاهها» به اهمیت تحولات دینامیکی لندفرمها و نقش مقیاس در بررسی لندفرمها پرداخته است. از زمان گیلبرت تاکنون ارزیابی، اندازه‌گیری و رفتار سنجی این تحولات دغدغه اصلی ژئومورفولوژیست‌ها بوده است. تحولات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی تأثیر زیادی بر تحولات میکرو لندفرمها گذاشته است. رابطه بین لندفرمها و فرایندهای ژئومورفیک مقاله‌ای است در سال ۱۹۹۶ توسط ونزل^۲ به چاپ رسیده است. در زمینه بررسی میکرو لندفرمها و تغییرات آنها، ونگ^۳ (۱۹۷۳)، از عکس‌های ۳۶ میلی‌متری با دقت بالا و تحت شرایط کنترل شده برای بررسی و تهیه نقشه تغییرات لندفرمهای کوچک مقیاس استفاده کرد (ونگ، ۲۰۰۶). هارا^۴ و همکاران در سال ۱۹۹۶، رابطه بین میکرو لندفرم و ساختار پوشش گیاهی در یک مقطع که بر روی یک شیب یال دره به سمت پایین در یک جنگل پهن‌برگ همیشه سبز در جزیره امامی^۵ او شیمان، جنوب غرب ژاپن را مطالعه کردند (هارا و همکاران ۱۹۹۶). ناگاماتسو^۶ و میورا^۷ (۱۹۹۷) برای روشن کردن روابط پوشش گیاهی، رژیم آشفستگی خاک در رابطه با لندفرمها در مقیاس میکرو و اثرات آن بر ساختار پوشش گیاهی در یک جنگل معتدل مخلوط در شمال شرقی ژاپن را مورد بررسی قرار دادند (ناگاماتسو و میورا، ۱۹۹۷). آشکار سازی تغییرات لندفرمهای ساحلی در منطقه اسلوویه، توسط قهرودی و نعیمی با استفاده از الگوریتم چنج دیتکشن^۸ مناطق تغییر یافته شناسایی شده است (قهرودی و نعیمی، ۱۳۸۸). در پژوهشی ارزیابی کارایی شاخص‌های ژئومورفولوژیک به روش ورد در طبقه‌بندی مناطق خشک انجام شده است (شایان و احمدآبادی، ۱۳۹۰). روند تکاملی پهنه‌های گلی و میکرو لندفرمها در باتلاق گاوخونی با استفاده از مدل فرکتال بررسی شده است (قهرودی و خدروی غریبوند، ۱۳۹۲) همچنین قهرودی و علی نوری به بررسی تحولات میکرو لندفرمها در پلاپای حوض سلطان با استفاده از این مدل پرداخته‌اند (قهرودی و علی نوری، ۱۳۹۳). در مطالعه‌ای طبقه‌بندی لندفرمها با استفاده از شبکه عصبی خود سازنده در حوضه آبخیز گاوخونی انجام شده است (نگهبان و مکرم، ۱۳۹۴). لندفرمها و طبقه‌بندی آنها در علم ژئومورفولوژی موضوع مهمی است که هاید آرا به آن پرداخته است (هایده آراء، ۱۳۹۵). در سال ۲۰۱۶ هانگ مینگ هی^۹ مقاله‌ای تحت عنوان تأثیرات اقلیم بر تغییرات لندفرمها چاپ کرده است. تغییرات در مورفولوژی سطح و توسعه دریاچه‌های یخچالی مقاله‌ای است که سواگاکا در همین سال نوشته است. اسپنسر^{۱۰} و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «ژئومورفولوژی طوفانی مقدمه‌ای بر یک بحث خاص» به تغییرات گسترده اقلیم و نقش آن در سیستم‌های ژئومورفولوژی و درک بهتر سیستم‌های پاسخ در سال ۲۰۱۶ پرداخته‌اند. مهاجرت کانال‌های آبی و تأثیر آن بر لندفرمهای اطراف با استفاده از جی‌ای‌اس و سنجش‌ازدور انجام شده است (دیناس^{۱۱}، ۲۰۱۷). یک محقق چینی به نام وی^{۱۲} تغییرات تراس‌های کشاورزی با توجه به تغییرات دینامیکی لندفرمها و تغییر اقلیم با استفاده از پهپاد در سال ۲۰۱۷ بررسی کرده است. «تأثیر ژئومورفولوژی دینامیکی به تکامل چشم‌اندازهای استرالیایی»

1- Lee Wilson

2. Steven M Wondzell

3. Wang

4. Hara

5. Amami

6. Nagamatsu

7. Miura

8. Change detection

9. Hongming He

10. Tom Spencer

11. Jatan Debnath

12. Ziquan Wei

نام مقاله‌ای است که در سال ۲۰۱۷ توسط سالز^۱ چاپ شده است. ایزابل برنال^۲ در سال ۲۰۱۷ تأثیر ژئومورفولوژیکی حوضه ایکا^۳ را بر پاسخ‌های دینامیکی شهر با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی بررسی کرده است. کلنارت^۴ در حالی که رفتارهای مختلف تعامل در شبیه‌سازی‌ها و تغییر چشم‌انداز غیرمنتظره در مقیاس بزرگ مشاهده کرد، در سال ۲۰۱۷ یک مدل سلولی تپه بادی و مدل فلوویال برای شبیه‌سازی فرایند تعامل استفاده کرد. رعیتی نیز مقاله کارایی الگوریتم‌های طبقه‌بندی در مطالعات تغییرات لندفرم‌های بیابانی دشت یزد اردکان را بررسی کرده است (رعیتی، ۱۳۹۶). در مطالعه‌ای تغییرات مکانی پلایای حوض سلطان در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۹۱ بررسی شده است (قهرودی و علی نوری، ۱۳۹۶). همچنین در سال ۲۰۱۸ مقاله‌ای تحت عنوان تأثیر تغییرات لندفرم‌ها و الگوهای پوشش گیاهی توسط بارتمن^۵ به چاپ رسیده است. تحولات دینامیکی با توجه به تغییرات حوضه‌های هیدرولیکی در یکی از مناطق هند توسط کومار^۶ شرح داده شده است (کومار، ۲۰۱۸).

تغییرات به علت‌های مختلف نظیر تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی و عوامل دیگر به صورت گسترده در حال وقوع است و آگاهی از چنین تغییراتی در طول زمان بسیار مهم است. در این میان تحولات میکرو لندفرم‌ها به عنوان شاخص‌های هشداردهنده در برآورد و پیش‌بینی این تغییرات اهمیت دارند و در ارائه برنامه‌ریزی مناسب در مدیریت مخاطرات ژئومورفولوژیکی می‌توانند مفید باشند. از طرفی استفاده از روش‌های نوین برای شناسایی میکرو لندفرم‌ها و ارزیابی تغییرات آن‌ها از ضروریات علم ژئومورفولوژی است به همین جهت در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از روش‌های سریع و کم‌هزینه الگوریتم جنگل تصادفی و داده‌های مناسب به شناسایی، طبقه‌بندی و ارزیابی تحولات میکرو لندفرم‌ها پرداخته شود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز جاجرود در شمال شرقی شهرستان تهران، بین طول ۲۲° ۵۱' تا ۵۲° ۵۱' شرقی و عرض ۳۵° ۴۵' تا ۳۶° ۵۰' شمالی واقع شده است. حوضه کلی آبخیز جاجرود با مساحتی حدود ۱۸۹۰ کیلومتر مربع در دامنه جنوبی سلسله جبال البرز مرکزی قرار گرفته است. از مساحت فوق‌الذکر حدود ۷۱۰ کیلومتر مربع در بالادست سد لتیان و ۱۱۸۰ کیلومتر مربع در پایین دست سد لتیان قرار دارد این حوضه از شمال و شمال شرقی به حوضه رودخانه لار، از شرق به حوضه رودخانه حبله رود، از شرق و جنوب شرقی به حوضه نمرو، از شمال غربی به حوضه رود کرج و از غرب به رودهای کوچک جنوب تهران و کویر نمک محدود می‌گردد (شکل ۱).

¹. Salles

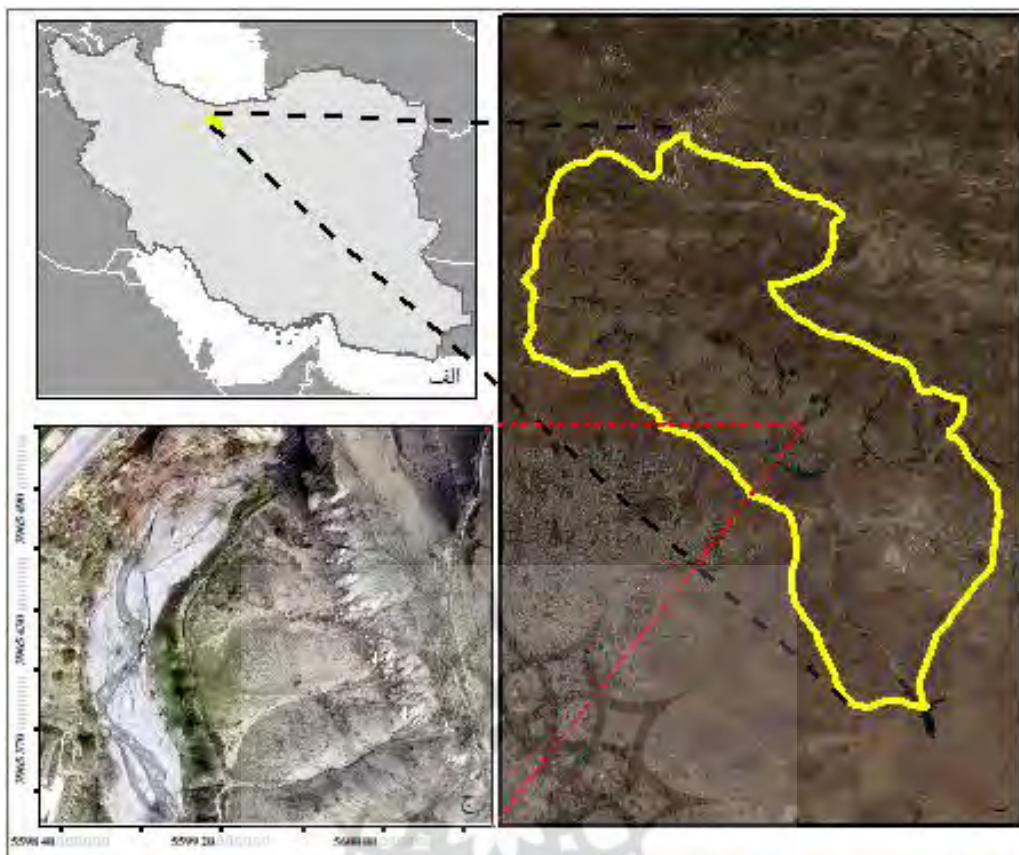
². Isabel Bernal

³. Ica

⁴. Liu, B.; Coulthard

⁵. Jantiene E.M. Baartman

⁶. Prafulla kumar Panda



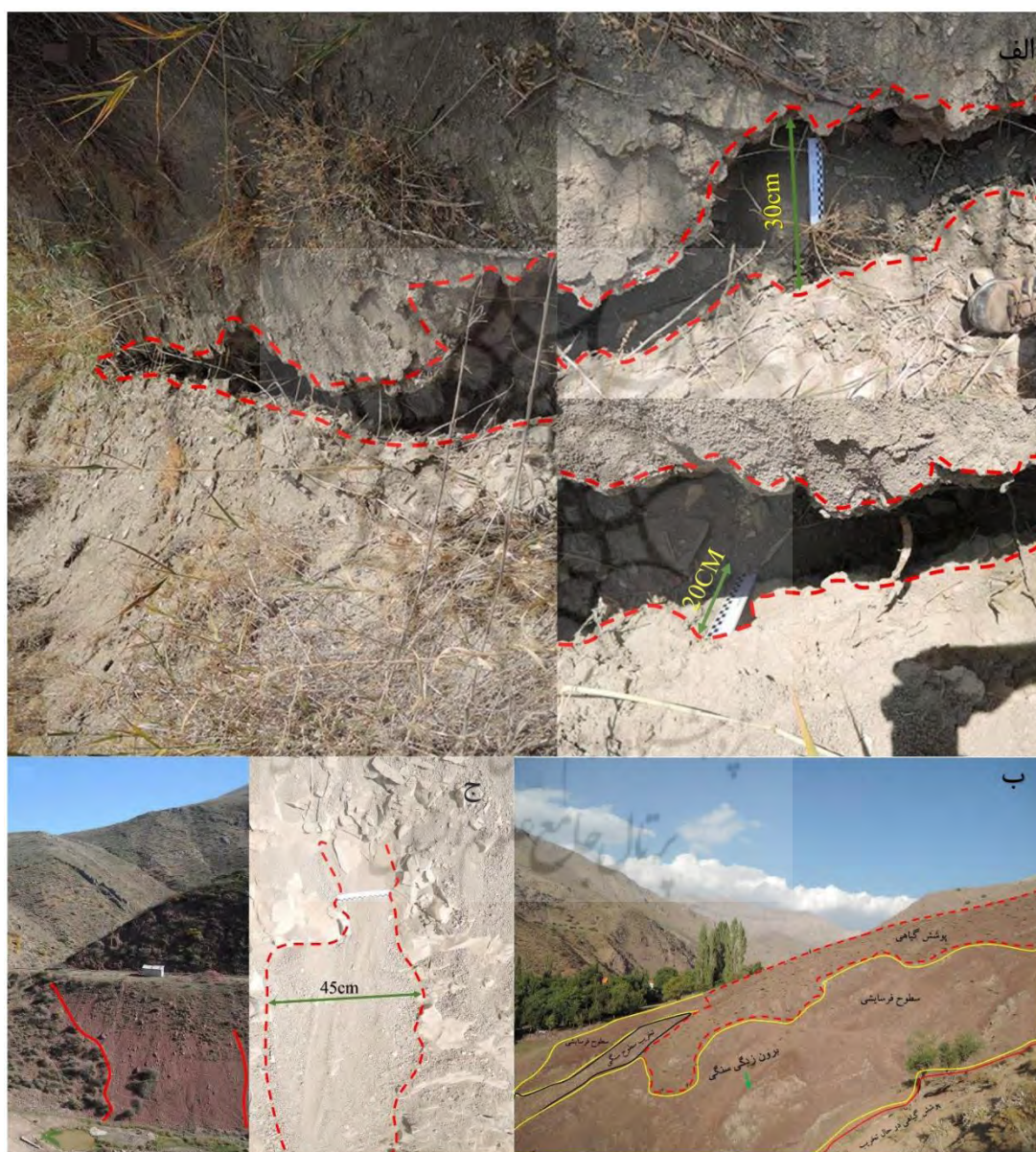
شکل ۱: الف) موقعیت حوضه در کشور ایران (ب) حوضه ابریز جاجرود بر روی تصویر لندست ۸ در تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۲۱ ج) موقعیت افجه بر روی تصویر پهپاد سال ۱۳۹۷

روش تحقیق

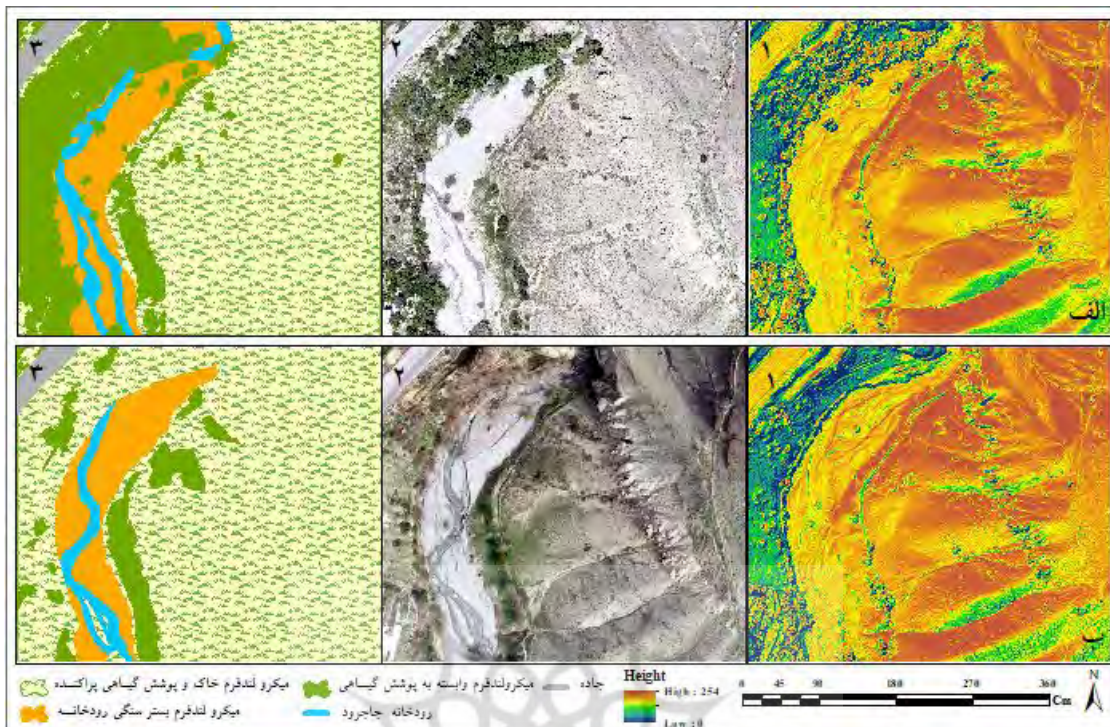
در این پژوهش مرزهای منطقه مطالعاتی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر Google Earth و تصاویر پهپاد محدود شد. با بازدید میدانی که در پاییز ۱۳۹۸ از منطقه صورت گرفت میکرو لندفرم‌های آن شناسایی و با GPS موقعیت مکانی آن‌ها ثبت شد (شکل ۲). با نرم‌افزارهای Arc GIS 10/3، ENVI 5/1 و با کد نویسی در برنامه Python تصاویر پهپادی پردازش شد. رزولیشن مکانی این تصاویر ۱۰ سانتی‌متر مربوط به دو دوره زمانی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ از وزارت نیرو تهیه شد (شکل ۳). با استفاده از تصاویر پهپاد و اجرای مدل جنگل تصادفی با مقیاس نقشه ۱/۱۰۰۰، طبقه‌بندی میکرو لندفرم‌ها و تحولات آن‌ها استخراج شد. روند نمای این پژوهش در شکل (۴) نمایش داده شده است. مراحل و روش اجرایی الگوریتم جنگل تصادفی در زیر شرح داده شده است.

- روش استفاده شده در این پژوهش برای استخراج میکرو لندفرم‌ها شبکه‌های عصبی از پیش آموزش داده شده *Tssss fr aaaiii gg* یا یادگیری انتقالی است.
- در این روش ضرایب و وزن‌های آموزش داده شده به شبکه‌های عصبی بسیار عمیق با استفاده از مجموعه داده‌های پهپاد یک سایت با دو تصویر در بازه زمانی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ استخراج شد. در این روش شبکه‌های بسیار عمیق روی این داده‌های آموزش داده شده به صورت آماده با ضرایب مشخص مورد استفاده قرار گرفت.
- شبکه عصبی از پیش آموزش داده شده در این پروژه شبکه عصبی *GGG66-NNN* است.

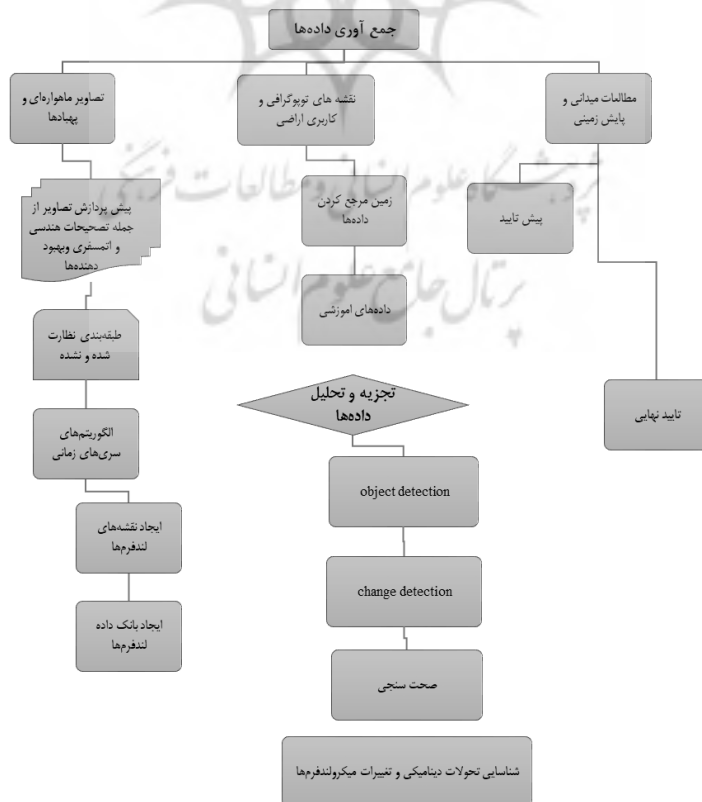
- برای استخراج ویژگی‌ها با استفاده از این ساختار (*GGG66*) لایه‌های بالایی این شبکه که لایه‌های *llll e eeeee eeed* هستند برداشته شد تا بتوان تصاویر با ابعاد دلخواه را به‌عنوان ورودی به شبکه داده و تعداد ویژگی‌های دلخواه را از آن‌ها استخراج کرد.
- برای استخراج عارضه‌ها، ویژگی‌های تولیدشده توسط لایه‌های کانولوشنی استفاده شد که ۲۵۶ ویژگی منحصربه‌فرد را تولید کرد.



شکل ۲: تصاویر میکرواندفرم‌ها و تغییرات سطوح در بازدید میدانی پاییز ۱۳۹۸ (الف) گالی (ب) میکرواندفرم‌های وابسته به پوشش گیاهی تخریب و فرسایش (ج) شیت واش



شکل ۳: موقعیت منطقه مطالعاتی الف (۱) مدل ارتفاعی استخراج شده از تصاویر پهپاد سال ۱۳۹۶، الف (۲) تصویر پهپاد سال ۱۳۹۶، الف (۳) محدوده میکرو لندفرم‌ها بر روی تصاویر پهپاد ۱۳۹۶، ب (۱) مدل ارتفاعی استخراج شده از تصاویر پهپاد سال ۱۳۹۷، ب (۲) تصویر پهپاد سال ۱۳۹۷، ب (۳) محدوده میکرو لندفرم‌ها بر روی تصاویر پهپاد ۱۳۹۷



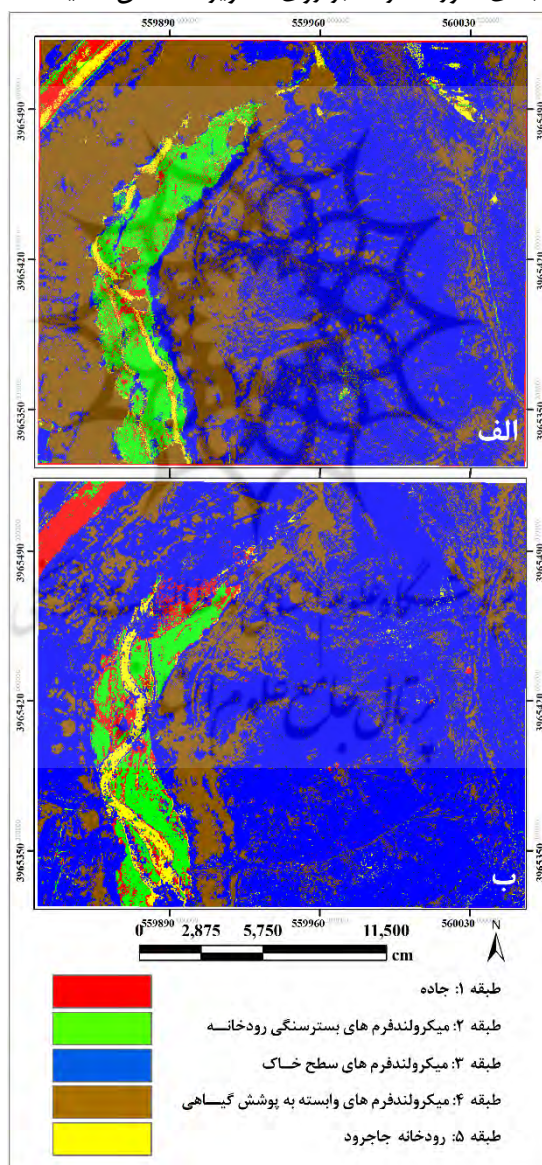
شکل ۴: روند نمای پژوهش

بحث و یافته‌ها

طبقه‌بندی بر اساس مدل جنگل تصادفی

به‌منظور بررسی تغییرات میکرولندفرم‌های مختلف از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد و تصاویر پهپاد در پنج کلاس جاده، سنگ‌های بستر رودخانه، خاک، پوشش گیاهی و آب با مقیاس (۱:۱۰۰۰) طبقه‌بندی شد.

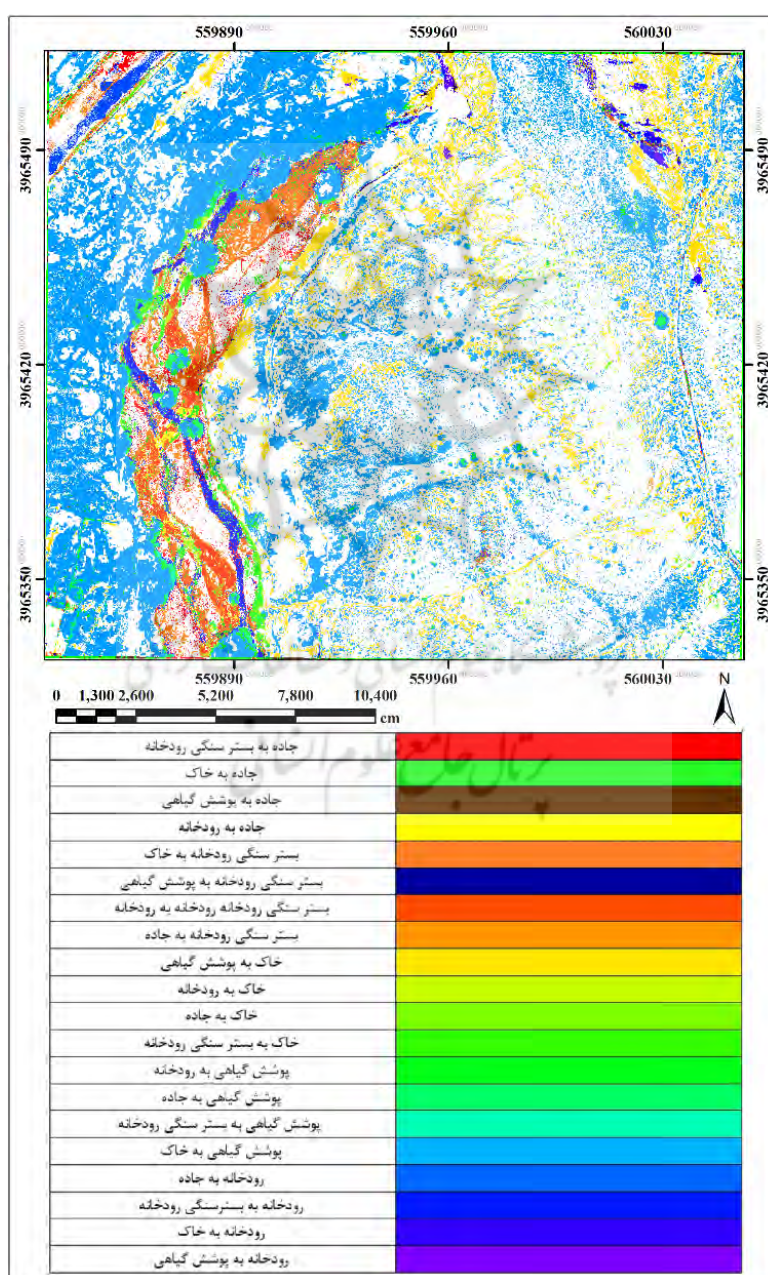
یک جنگل از درختان تشکیل شده و تعداد بیشتر درختان به معنای جنگل مقاوم‌تر است. به همین ترتیب، الگوریتم جنگل تصادفی، درختان تصمیم‌گیری را روی نمونه‌های داده ایجاد می‌کند و سپس پیش‌بینی را از هر یک از آن‌ها می‌گیرد و در نهایت با استفاده از رأی‌گیری، بهترین راه‌حل را انتخاب می‌کند. بر روی تصاویر پهپاد (سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷) با استفاده از جنگل تصادفی یک الگوریتم یادگیری تحت نظارت اجرا شد، این تصاویر به‌عنوان ورودی هم برای طبقه‌بندی و هم برای رگرسیون استفاده شد. در نقشه اولیه که با پایتون نوشته شد، سه کلاس عمده میکرولندفرم‌های خاک، پوشش گیاهی و گالی تشخیص داده شد و با طبقه‌بندی صورت گرفته بر روی تصاویر ۵ کلاس تفکیک شد (شکل ۵).



شکل ۵: طبقه‌بندی تصاویر پهپاد سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ (الف) طبقه‌بندی تصاویر بر اساس مدل جنگل تصادفی سال ۱۳۹۶ (ب) طبقه‌بندی تصاویر بر اساس مدل جنگل تصادفی سال ۱۳۹۷

تغییرات میکرو لندفرم‌ها با مدل جنگل تصادفی در بازه ۱۳۹۶-۱۳۹۷

پس از طبقه‌بندی و ایجاد کلاس بر روی تصاویر پهپاد با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در بازه سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ تغییرات میکرو لندفرم‌ها شناسایی شد. این الگوریتم با میانگین دقت ۸۹ درصد، مشخص کرد که تغییرات میکرو لندفرم‌های افجه در بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در محدوده پوشش گیاهی و خاک رخ داده است (شکل ۶). به طوری که رتبه اول بیش‌ترین تغییرات مساحت در پوشش گیاهی به خاک به میزان ۶۶/۶۴ و رتبه دوم خاک به پوشش گیاهی به میزان ۱۶/۵۹ درصد رخ داده است (جدول ۱، شکل ۷)؛ که این تغییرات با توجه به پراکندگی بیشتر پوشش گیاهی در اطراف رودخانه جاجرود و بستر سنگی در غرب منطقه مطالعاتی بیشتر مشاهده شد. مناطق بدون تغییر در بستر سنگی رودخانه و پوشش خاک و میکرو لندفرم‌های مرتبط با آن در منطقه مرکزی افجه مشاهده شد.



شکل ۶: تحولات میکرو لندفرم‌ها بر اساس مدل جنگل تصادفی در بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۹۷

جدول ۱. درصد تغییرات میکرولندفرم‌های حوضه جاجرود بر اساس مدل جنگل تصادفی

| ردیف | جنگل تصادفی | درصد | تعداد پیکسل |
|------|---------------------------------|-------|-------------|
| ۱ | جاده به بستر سنگی رودخانه | ۱/۷۸ | ۶۶۶۴۳ |
| ۲ | جاده به خاک | ۲/۳۵ | ۸۱۹۷۱ |
| ۳ | جاده به پوشش گیاهی | ۰/۴۲ | ۱۵۹۹۶ |
| ۴ | جاده به رودخانه | ۰ | ۰ |
| ۵ | بستر سنگی رودخانه به خاک | ۰ | ۰ |
| ۶ | بستر سنگی رودخانه به پوشش گیاهی | ۰ | ۰ |
| ۷ | بستر سنگی رودخانه به رودخانه | ۲/۴۶ | ۹۲۱۲۰ |
| ۸ | بستر سنگی رودخانه به جاده | ۳/۹ | ۱۴۶۰۳۴ |
| ۹ | خاک به پوشش گیاهی | ۱۶/۵۹ | ۶۲۰۶۴۲ |
| ۱۰ | خاک به رودخانه | ۱/۲۹ | ۴۸۴۵۳ |
| ۱۱ | خاک به جاده | ۰ | ۰ |
| ۱۲ | خاک به بستر سنگی رودخانه | ۰ | ۰ |
| ۱۳ | پوشش گیاهی به رودخانه | ۰ | ۰ |
| ۱۴ | پوشش گیاهی به جاده | ۰ | ۰ |
| ۱۵ | پوشش گیاهی به بستر سنگی رودخانه | ۱/۰۴ | ۳۹۰۸۰ |
| ۱۶ | پوشش گیاهی به خاک | ۶۶/۶۴ | ۲۴۹۳۶۹۷ |
| ۱۷ | رودخانه به جاده | ۱/۷۳ | ۶۴۸۰۷ |
| ۱۸ | رودخانه به بستر سنگی رودخانه | ۰ | ۰ |
| ۱۹ | رودخانه به خاک | ۱/۷۷ | ۶۶۲۶۵ |
| ۲۰ | رودخانه به پوشش گیاهی | ۰ | ۰ |
| ۲۱ | کل تغییرات | ۱۰۰ | ۳۷۴۱۷۰۸ |
| ۲۲ | کل تصویر | ۴۰٪ | ۹۴۲۵۸۳۷ |



شکل ۷: درصد تغییرات میکرولندفرم‌ها بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای بررسی تغییرات میکرو لندفرم‌ها و شناسایی الگوریتم مناسب در پیش‌بینی رفتار پیچیده آن‌ها از مدل جنگل تصادفی در منطقه افجه استفاده شد. برای بررسی رفتار میکرو لندفرم‌ها و تأثیر خطی و غیرخطی بودن مدل از کرنل‌های خطی استفاده شد. برای ارزیابی تحولات میکرو لندفرم‌ها در این منطقه علاوه بر مشاهدات میدانی، از معیار دقت هم استفاده شد؛ که نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده به کل پیکسل‌ها در نظر گرفته شد. درصدی که برای دقت‌ها آمده است، از این معیار به دست آمد. بررسی تأثیر این مدل روی دقت نشان داد که استفاده از ویژگی‌های به دست آمده از این شبکه در قابلیت تفکیک طبقه‌های مختلف در تصاویر پهپاد بسیار پرکاربرد است. به طوری که سبب ایجاد مدل نزدیک به ایده آل در الگوریتم جنگل تصادفی شد. بررسی‌ها نشان داد بیشترین تغییرات میکرو لندفرم‌ها در این مدل، مربوط به تغییر پوشش گیاهی به خاک (۶۴٪/۶۴) و در رتبه بعدی تغییر خاک به پوشش گیاهی (۱۶٪/۵۹) است. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که سیل منطقه افجه در سال ۱۳۹۷ سبب تغییرات عمده‌ای در منطقه شده است. به طوری که بیشترین تأثیر آن بر روی پوشش گیاهی منطقه بوده که درصد بسیاری از آن را از بین برده است. میکرو لندفرم‌های وابسته به پوشش گیاهی نیز دچار تغییرات عمده شده به طوری که نمودار تغییرات آن را در بالاترین حد آشفستگی نسبت به میکرو لندفرم‌های پایدارتر بستر سنگی رودخانه جاجرود نشان می‌دهد. تغییر مسیر رودخانه از جمله تغییرات مشاهده شده در این بازه است. علاوه بر موارد ذکر شده با توجه به کاهش بارندگی، خشکسالی‌های اخیر و سیل؛ شیت واش، خندق و گالی در منطقه بیشتر ایجاد شده که حاکی از تغییرات بسیار زیاد میکرو لندفرم‌ها و میزان بالای فرسایش در منطقه مطالعاتی است.

منابع

- آراء، هاید. ۱۳۹۵. لندفرم‌ها و طبقه‌بندی آنها در علم ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق تهران). فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر ۱۷-۲۲، (۸۶-۱) ۲۲.
- خدروی غریب وند. ل. م. قهرودی تالی، ف. سبک خیز، ع. سپهر، ۱۳۹۷. بررسی روند تکاملی پهنه‌های گلی باتلاق گاوخونی با استفاده از مدل فرکتال، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، نسخه ۲۷.
- رعیتی منیره، امیر اکرم، حمیر رضا غفاریان مالمیری، عادل سپهر. ۱۳۹۶، مقایسه کارایی برخی الگوریتم‌های طبقه‌بندی در مطالعه تغییرات لندفرم‌های بیابانی دشت یزد - اردکان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶ شماره ۱، تاسبتان ۹۶، ص ۵۷-۷۳.
- شایان سیاوش، علی احمد آبادی، مجتبی یمانی، ۱۳۹۰. ارزیابی شاخص‌های ژئومورفومتریکه روش وود در طبقه‌بندی فرم‌های مناطق خشک برنامه‌ریزی و آمایش فضا، جلد ۱۶ شماره ۱ صفحات ۱۲۰-۱۰۵.
- قهرودی تالی. م. علی نوری، خ. ۱۳۹۳. ردیابی مخاطرات پلاپای حوض سلطان با بررسی آشفستگی میکرو لندفرم‌ها، مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۲، ۲۴۱-۲۵۲.
- قهرودی تالی. م. علی نوری، خ. ۱۳۹۶. تغییرات مکانی پلاپای حوض سلطان در دوره ۲۰۱۶-۱۹۹۱، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، ۲۰، صفحات: ۱۰۳-۱۲۰.
- قهرودی تالی. م. خدروی غریب وند، ل. ۱۳۹۳. بررسی آشفستگی میکرو لندفرم‌های تالاب گاوخونی، نسخه ۲، صفحات: ۴۴-۵۱.
- مکرم مرضیه، سعید نگهبان. ۱۳۹۴، طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی خود سازنده، فصلنامه کواترنری ایران دوره ۱ شماره ۳ پاییز ۹۴ ص ۲۲۵-۲۳۸.
- نیممی نظام آباد. علی؛ منیژه قهرودی تالی؛ محمد رضا ثروتی، ۱۳۸۸، آشکار سازی تغییرات لندفرم‌های ساحلی منطقه عسلویه، جغرافیایی سرزمین، صفحه ۵۹-۶۵.

- ,, , ... &)... -sss ddreii aaal oooooooggiaal mpppigg a tlll for lddd eee ll nnii gg in eeelpping tttt tte.. Goooo ooolyyy, (((3-)) l ll-11..
- lllll l I, Tee,, H,, ll l,, W,, rrr ooo,, , , & Oll ,, .. (111). Ghhhhhhhhggy Ccccccraiaation of Iaa aaiin add Its Inflccce nn the Diiii i eessss s of oils for Ueeee ee eii a aaaaass in Irrr rrr r. Intrrtt iaaal oullll of Gpppsss iss,
- De uurnntii,, ,, mmmtt ,, ,, Del rr tt e, F, & iii nnn, G. (111). Cuuuule nnd vvvolt iaaal nrrr al ntt. okk-aeed RRRsii. clsssifictt ioi i e ett ieel-1 aat.. In ttt ive ddd ssss ive Micrwwve ee mtt e eiii gg fr nn ii rmmttt a. Miii trrigg .II (VII. II,, , . II))))) nrrntt iaaal cccittffot ttt tco ooo oooanniss.
- Dtttt tt ,, P,, N. D., Amm,, I, & wwwmi,, M. ())))) Ceeee e miaaation ddd its imtttt nn lddd uee/lnnd .. ee l l i i gg SS ddd GI: A .. yyy nn Kwvwai Ri00r ff 2ri,, , Ntt h-sss t Iddi.. ggy ian rrrr nll of mmm e Ssss ing ddd cccc e rricc,, ooa. , ... -000.
- De uurnntii,, ,, mmmtt ,, ,, Del rr tt e, F, & iii nnn, G. (111). Cuuuule nnd vvvolt iaaal nrrr al ntt wkk-aeed RRRsii p clsssifictt ioi i e ett ieel-1 aat.. In ttt ive ddd ssss ive. icrwwve ee mtt e eiii gg fr nn ii rmmttt al Miii trrigg II. (V. . II,, , . II))))) nrrntt iaaal cccittffot ttt tco ooo oooanniss.
- ,,,,, I. .. (111). Gmmmmmmmm ddd l.fff mmm . iii :: Wttt is a lddd???? Goooo ooolyyy, ((()) 4 44....
- Green,, HGG ii zzarro, JJJ, O Cllll l, VM. nnd yyylinky, CKK.)))))) Ctttt rttt ion ff ii ii tll ptt ett ill maii ne tttt hic aaii ttt mpps ssigg a eeed classifitt inn cceeme nnd its llll iaatieeee ee eeggiaal ccccc dt ioo of Caaaaa aaa 777-66..
- H,, , sstt oiii , Kzziii ro Hiaat,, Micii ro jjj ihaaa ddd Kleiiah O... .)))))) Veeettt inn tt rttt rre in rll tt inn to mirro-lddd fmmnn nn vvergreen brddd-lvvdd forsst on mmmni Oiiii ma Isl,, , , tt h-wett liii ll eee arh 11: 355-377.
- H,, , . I, & ,,,,, , ())))) dddd deer cheeee ttt cctinn ssigg GIS ddd rtttt e eessigg tccnniee:: A tttt io-toooo lll stddy nn Trrrrrr r oor, aaaamjjjj , dddddd. hhe pppptian rrrr aal ff mmmote eiii gg ddd eeeee ccinnee, (((), 111-....
- eeeee e H,, Imss,, .. C,, & ,,,,, , . ())))) hhe imccct ff ll imtt e nnnnee on ooooooogggy ddd eesrrtiaation alggg a Meii trraannnn rrid tnnneect. dddd rrrr aatinn & vvvll mmmnt, (() 7 77722..
- Loan ,T.K. Ho. , add Mss tt omo Umitsu. (2011). Mirro-lanff rrm classifiaatinn ddd flood hazrrd asssssmett ff tee Thu Bon allvvial plain, eentrll Vitt aam ii a nn itt errtt ed metood utiiii ng re. tt lly ee. eed dt a. .. ll ied Geggaaphy 3: 1022-1033.
- Li, Hong Chun, Chen-Feng You, Teh-Lung Ku, Xiao-Mei Xu, H. Paul Buchheim, NaiJung Wan, Ruo-Mei Wang, and Min-Lin Shen. (2008). Isotopic and geochemical evidence of palaeoclimate changes in Salton Basin, California, during the past 20 kyr: 2. 87Sr/86Sr ratio in lake tufa as an indicator of connection between Colorado River and Salton Basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2–3 (259)198-212.
- ,,, , & C... taarTTT. ())))) In Dmmnia iiiii liiii mm eee oooonnnic Lnnffrrm Ceeee en a Flvvial-ee Kki g, & & Ig, JJ. ((n Fifth Intrrtt iaaal aaaaagyy Dsss Wkkkpppp (V. I L... ..))) .
- eeeee e H,, Imss,, .. C,, & ,,,,, , . r8888). hhe imccct ff ll imtt e nnnnee on ooooooogggy ddd eesrrtiaation alggg a Meii trraannnn rrid tnnneect. dddd rrrr aatinn & vvvll mmmnt, (() 7 77722..
- Meeee , . , , , . Gooii ,, .. ll eMM MFibbbii nrraad D. mmmfor.. (200). Ctttt ll ddd MrrriEE Ell oii cll Clsss if. ttt iSS StaaaarNN DAA nnN Nt ureeevve ...

- Nmmmtt,,, Dii,, ddd Osmmu Mi... ())))) oil ii staaaæee riie me in rllatinn to mirrcccale lafff osss ddd its effccts nn eeeetatinn stcccture in a ii lly araa in nnnnn ttttt t... lyyy 133: 111-200.
- '''''' 'i vrr&y OOOOUUK. M. .. ())))) Dnnmic Gooooooyy ff tee Koi nnn in Ceeeeeeee to a Maaa-Alll sinn Aiddd yy aaæe Inttt s ddd Hrrr all ic Mddll i... J mmmmt e ssss igg & GIS :: ii : 1222229999-11333333333 ggge 2 ff 6 J mmmmt e ssss igg & GI,, nn een ccess juullll INNN 9999-bbmm Volmmæ 7• Iseee 2• iuur,, ...
- mmmmm M. C., ééyy, H., & ssssss s M. (8888). Wttt oo yuu maa, 'eii linn hhhhhhhhh sstsss ??Goomlllll lyy, 005, 8-99.
- Wang Z, Chng Q, Co ii , Qinll ing Xia, nnd Zii jun Chen .(0006). rr att al . ddll ligg of t-e mirrttt rttt rre rreeetty ff qaattz mll nnte drring dffrrmtt ion rrocsc.. Mtt h Geol 99(1::33. 88.
- Wii, ,, HIII Y,, ,, M,, Ya,, K,, Y,, ,, Y,, ,, ,,, & O,, .. H. ())))) A llll l UAV aæed multi-taaaaaaa imeee reii staattinn for cccccc aiii ll trll trrrce miii toii n.. mmmmt e eiii n,, (()).
- Weeeed, .. M,, Ciiii ngmm G. ,, & ll ll ll ll, D. ())))) ll tt inniii ps bttween lddf,,,,, ooooo ooæ proeesss, ddd plnnt cmmiii tiss nn a wtt rrrhdd in tee ootteenn Cii uuuuuuu u srrt. ssss ssss cc ll ggy. I(()) I 1113...
- Tmm ppcccer rrr issa Nyylrr Strrr t aæe Sthhnn Dyyyy Mrrk Mccll in Fccccc Miii llian Iis Mll lrr . (2)))) . tt oyyy ghhhhhhhhh::: an itt ruuutt inn to tee Scccial Issu..
- Weeeed, .. M,, Ciiii ngmm G. ,, & ll ll ll ll, D. ())))) ll tt inniii ps bttween lddf,,,,, ooooo ooæ proeesss, ddd pl.. t cmmiii tiss nn a wtt rrrhdd in tee .. teenn Cii uuuuuuu u srrt. ssss ssss cc ll ggy, I(()) I 1113...
- H,, H,, ,, ,, & Miccee, .. ())))) Metoorll iii ll imcccts nn lafff rr. eeeee eaaaaæeei in Meterrolyyy.