

شناسایی مناطق مورفوژنز و رژیم‌های هوازگی سنگ‌ها براساس مدل پلتیر (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تجن)

سید حمید ساداتی^۱، سید رمضان موسوی^{۲*}، قربان وهاب‌زاده کبریا^۳، سید حسین روشن^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

چکیده

منطقه مورفوژنز به پهنه‌ای اطلاق می‌شود که لندفرم‌های آن تحت تأثیر فرایندهای شکل‌زایی مشابه، به‌ویژه فرایندهای اقلیمی، شکل گرفته‌اند. این پژوهش با هدف پهنه‌بندی هوازگی سنگ‌ها براساس مدل پلتیر در حوزه آبخیز تجن انجام شد. برای این منظور، داده‌های دما و بارش سالانه از چهار ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری مناسب (۱۳۶۲-۱۴۰۲) اخذ و پس از رفع نواقص آماری (شامل حذف داده‌های پرت و تخمین داده‌های گم‌شده به روش رگرسیون)، تحلیل و بررسی شدند. پایگاه داده‌ای شامل نقشه‌های طبقات ارتفاعی، شیب، و فرسایش رودخانه‌ای در محیط ArcGIS تهیه شد. با تحلیل الگوهای دما و بارش، رژیم‌های هوازگی هر ایستگاه با مدل پلتیر تعیین شده و پس از وزن‌دهی، نقشه‌های توزیع مکانی آن‌ها با روش IDW تهیه گردید. نتایج نشان داد که منطقه از لحاظ مورفوژنز به سه طبقه نیمه‌خشک، معتدل و ساوان تقسیم می‌شود که این الگو به‌صورت فضایی از غرب به جنوب شرق تغییر می‌کند؛ نواحی شمالی در محدوده اقلیم معتدل و نواحی جنوبی در محدوده نیمه‌خشک قرار دارند. طبقه معتدل با ۱۵۹۹/۰۴ کیلومتر مربع بیشترین و طبقه ساوان با ۱۲۶۹/۰۳ کیلومتر مربع کمترین وسعت را داراست. همچنین از منظر هوازگی، بیشترین مساحت منطقه به نواحی با هوازگی مکانیکی کم (۲۶۳۰/۹۸ کیلومتر مربع) اختصاص دارد، درحالی‌که نواحی با شدت هوازگی بسیار ضعیف (۵۹۵/۱۹ کیلومتر مربع) کمترین سهم را به خود اختصاص می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: آبخیز تجن، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مناطق مورفوژنز، هوازگی سنگ‌ها.

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،

Sadatihamid60@gmail.com

۲. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، smmousavi@sanru.ac.ir

۳. دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، Gh.vahabzadeh@sanru.ac.ir

۴. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری،

ایران، hussein.roshun@sanru.ac.ir

مقدمه

از ویژگی‌های بارز دوران کواترنر، تغییرات اقلیمی است که موجب تغییر در سیستم‌های شکل‌زای زمین‌شناسی و در نتیجه تغییرات در شکل زمین‌ها (لندفرم‌ها) می‌گردد (ابطحی و همکاران، ۲۰۱۳؛ پیتو و همکاران، ۲۰۲۴). از آنجاکه تحولات اقلیمی، به‌ویژه در دوره چهارم، با نوسانات قابل توجهی همراه بوده و به‌طور مداوم شکل زمین را دستخوش تغییر می‌کند، شناخت تحولات مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک به‌عنوان یک مسئله کلیدی برای پژوهشگران ژئومورفولوژی به شمار می‌آید. محیط‌های مختلف سطح زمین همواره تحت تأثیر تعامل سه عامل اقلیم، فعالیت‌های زیستی و فرایندهای زمین‌شناختی قرار دارند (دوک^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ گالاگر^۲، ۲۰۲۴). سنگ‌ها از زمان‌های گذشته به‌عنوان نماد پایداری و استحکام شناخته می‌شدند و انسان‌ها با انتخاب نواحی کوهستانی و پایکوهی برای سکونت و زندگی، مراکز استقرار خود را تأسیس کردند. بااین‌حال، به مرور زمان، سنگ‌های موجود در سطح زمین یا نزدیکی آن، به‌واسطه عواملی همچون هوازدگی، یکپارچگی خود را از دست می‌دهند و تلاشی می‌شوند. فرایند هوازدگی زمانی آغاز می‌شود که سنگ‌های سطحی زمین تحت تأثیر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی دچار شکست یا تغییر شکل می‌شوند. این فرایند می‌تواند به‌وسیله عوامل طبیعی مانند باد، آب و شرایط اقلیمی صورت گیرد (اوتاد و پردیشی^۳، ۲۰۱۷؛ معماریان، ۲۰۰۰). تمرکز پژوهشگران زمین‌ریخت‌شناسی بیشتر بر تأثیرات تغییرات اقلیمی بر سیستم‌های فرسایشی و فرم‌های اراضی است (داس^۴ و همکاران، ۲۰۱۵؛ رامشت و شوشتری، ۲۰۰۴). یکی از منابع معتبر در زمینه ژئومورفولوژی اقلیمی، یافته‌ها و مدل‌های لوئیس پلتیر است که توسط زمین‌شناسان، ژئومورفولوژیست‌ها و متخصصان دیگر علوم مرتبط برای شناسایی و تفسیر اشکال سطح زمین به کار می‌رود (فاولر و پترسن^۵، ۲۰۰۳؛ ژو^۶، ۲۰۲۰). پلتیر^۷ با تکیه بر منابع موجود و همچنین الهام از نظرات دانشمندانی نظیر آ. پنک، ج. بودل و ک. ترول، سیستم مورفوزن را براساس تأثیرات کمی دما

و بارش بر فرایندهای شکل‌زایی ارائه داده است. این مدل، به‌عنوان نخستین مدل کمی تجربی برای پهنه‌بندی مورفوزنتیک شناخته می‌شود (رامشت و شوشتری، ۲۰۰۴؛ جداری عیوضی، ۲۰۰۶).

متوسط دمای سالانه و متوسط بارش سالانه به‌عنوان دو متغیر کلیدی در فرایند هوازدگی عمل می‌کنند و می‌توانند به شناسایی رژیم‌های هوازدگی کمک نمایند. پلتیر با استفاده از این دو متغیر، هفت مدل مختلف را که قادر به توصیف انواع پدیده‌های هوازدگی هستند، تعریف نمود. این مدل‌ها شامل هوازدگی شیمیایی، فعالیت یخبندان، رژیم‌های هوازدگی، فرسایش بارانی، حرکات توده‌ای مواد، فعالیت باد و رژیم‌های مورفوزنتیک هستند (پلتیر، ۱۹۵۰). شناسایی عوامل مؤثر در شکل‌زایی و فرایندهای هوازدگی در بخش‌های مختلف یک حوضه، به درک مخاطرات ژئومورفیکی بالقوه و همچنین پتانسیل‌های محیطی این نواحی کمک می‌کند که می‌تواند نقش حیاتی در برنامه‌ریزی‌های عمرانی ایفا کند (گادگیل^۸، ۲۰۰۲؛ جعفری اقدم و همکاران، ۲۰۱۲). در این زمینه، مطالعات و پژوهش‌های متعددی با اهداف مختلف در نواحی مختلف ایران و جهان انجام شده است که برخی از آن‌ها قابل ذکرند.

دلال اوغلی^۹ (۲۰۰۲) در تشخیص اقلیم سرد در ارتفاعات، به ایجاد واریزه‌های جدید توسط فعالیت سیستم‌های فرسایش پریگلاسیر اشاره کرده و پیدایش آن‌ها را ناشی از فرایندهای هوازدگی ناشی از یخ زدگی و ذوب مجدد یخ دانسته است. فاوئر و پترسون (۲۰۰۴) با به‌کارگیری نرم‌افزار ArcGIS، مدل‌های هفت‌گانه اقلیمی، هوازدگی و فرسایش پلتیر را در ایالات متحده به کار برده و این کشور را از نظر مناطق مختلف هوازده و فرسایش طبقه‌بندی کردند. کرمی (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای به بررسی فرایندهای هوازدگی و تأثیر آن‌ها بر مناطق شهری و روستایی حوزه آذربایجان پرداخته و نقشه پهنه‌بندی هوازدگی برای این منطقه ارائه کرده است. جداری عیوضی (۲۰۰۶) با استفاده از مدل پلتیر، مرزبندی نواحی مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک در دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز را انجام داده و مرز مناطق یخچالی، سولیفلکسیون، پلوویال، پدیمانتاسیون و بادی را براساس خطوط هم‌بارش، هم‌دما و هم‌ارتفاع تعیین

1. Doke
2. Gallagher
3. Autade & Pardeshi
4. Das
5. Fowler & Petersen
6. Zhu
7. Peltier

8. Gadgil

9. Dalal Oghli

کرده است. یمانی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی به تعیین مرزهای قلمروهای یخچالی، مجاور یخچالی (سولی فلکسیون)، معتدل و نیمه‌خشک حوضه جاجرود پرداخته و از مدل‌های اقلیمی، از جمله مدل پلتیر، برای مقایسه وضعیت‌های فعلی و آخرین دوره یخچالی وورم استفاده نمودند. این مطالعه به تحلیل پراکندگی فرایندهای شکل‌زایی در این حوزه و مقایسه آن‌ها با شرایط گذشته می‌پردازد. مقصودی و همکاران (۲۰۱۲) به پهنه‌بندی هوازگی سنگ‌ها با استفاده از مدل‌های پلتیر در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از نُه وضعیت مورفوژنتیکی موجود در مدل پلتیر، پنج وضعیت در شرایط اقلیمی منطقه اتفاق می‌افتد، به طوری که بیشتر بخش‌های شمال غرب کشور در منطقه نیمه‌خشک قرار می‌گیرند. همچنین ایستگاه‌های واقع در سواحل جنوب غربی دریای خزر در استان

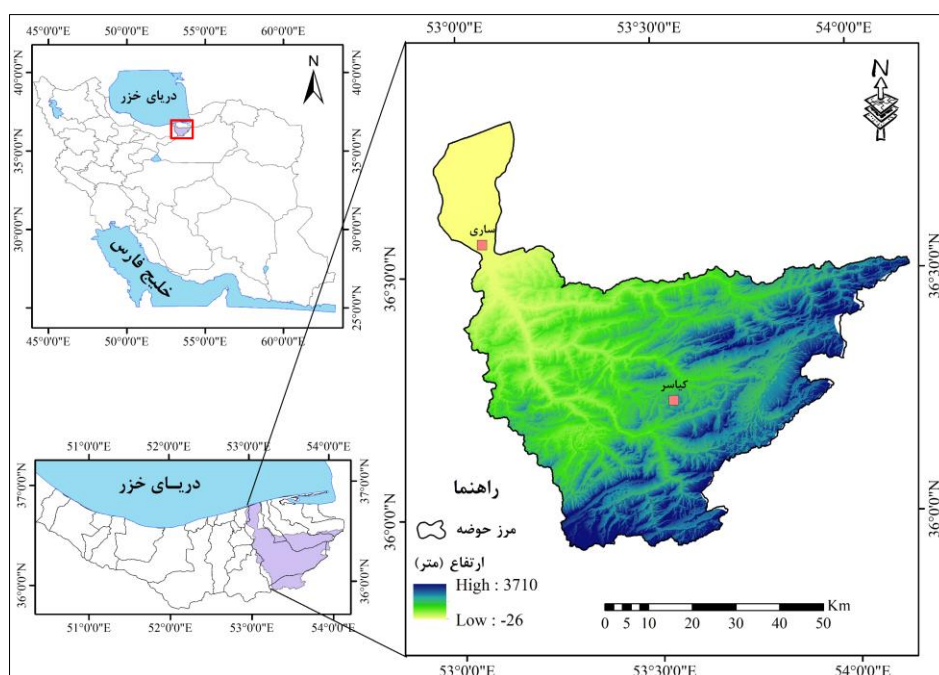
گیلان و دامنه‌های غربی زاگرس در استان کردستان، رژیم معتدل و ساوان دارند. از نظر وضعیت هوازگی نیز در بیشتر مناطق کوهستانی منطقه، هوازگی‌ها بیشتر از نوع مکانیکی ضعیف و متوسط رخ می‌دهد، در صورتی که در برخی از ایستگاه‌های واقع در سواحل جنوب غربی دریای خزر و دامنه‌های غربی زاگرس در استان کردستان هوازگی شیمیایی همراه با عمل یخبندان تا هوازگی شیمیایی متوسط و شدید اتفاق می‌افتد. وهاب‌زاده کبریا و صابری (۲۰۲۱) تأثیر پارامترهای اقلیمی بر هوازگی سنگ‌ها را در بخشی از جنوب غرب استان آذربایجان غربی با

استفاده از مدل لوئیس پلتیر مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که این منطقه به لحاظ مورفوژنز در وضعیت نیمه‌خشک واقع شده و سه نوع هوازگی مکانیکی با شدت‌های ضعیف، متوسط و شدید را داراست. با توجه به کمبود مطالعات ژئومورفولوژیکی و به‌ویژه فرایندهای هوازگی در کشور، این پژوهش به بررسی فرایندهای هوازگی و مورفوژنز در حوزه آبخیز تجن پرداخته و به طبقه‌بندی مناطق هوازده و مورفوژنز آن براساس متغیرهای اقلیمی می‌پردازد. در نهایت، هدف این پژوهش ارائه نقشه‌ای جامع از انواع این فرایندها در منطقه مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز تجن در شرق استان مازندران بین طول‌های شرقی $53^{\circ}03'50''$ تا $53^{\circ}08'54''$ و عرض‌های شمالی $35^{\circ}56'17''$ تا $36^{\circ}29'07''$ با مساحت ۲۲۹۰ کیلومتر مربع واقع شده است. این حوزه از شمال به دریای مازندران، از جنوب به استان سمنان، از غرب به شهرستان‌های سوادکوه و قائمشهر و از شرق به شهرستان بهشهر محدود شده است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه تجن در کشور و استان مازندران را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی حوزه مورد مطالعه

Figure (1): Geographical location map of the study watershed

روش پژوهش

این پژوهش مبتنی بر مدل‌های اقلیمی ارائه شده توسط لوئیس پلتیر است که در آن‌ها میانگین دمای سالانه و میانگین بارندگی سالانه به عنوان دو شاخص کلیدی در تحلیل و طبقه‌بندی فرایندهای هوازدگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پلتیر بر پایه این دو پارامتر، هفت مدل مفهومی (شامل هوازدگی شیمیایی، فعالیت یخبندان، رژیم‌های هوازدگی، فرسایش بارانی، حرکات توده‌ای مواد، فعالیت باد و رژیم‌های مورفونتییک) را معرفی کرده است که قابلیت توصیف انواع مختلف هوازدگی را دارند. در چارچوب این تحقیق، دو مدل از میان مدل‌های مزبور که به ترتیب به رژیم‌های هوازدگی و رژیم‌های مورفوزنر مربوط می‌شوند، برای بررسی شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی حوضه آبخیز تجن مورد تحلیل و تطبیق قرار گرفته‌اند.

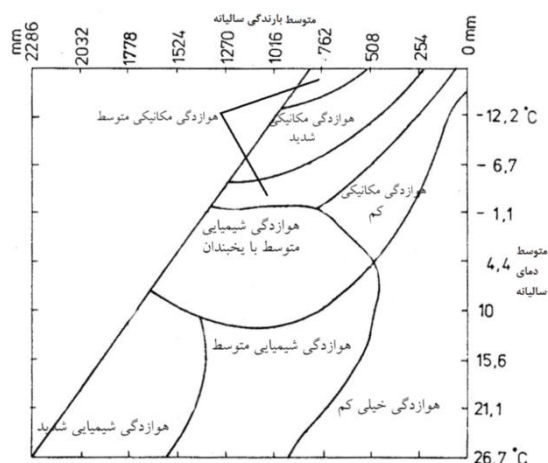
الف) رژیم‌های هوازدگی

تقسیم‌بندی رژیم‌های هوازدگی گراف پلتیر در شکل (۲) و جدول (۱) قابل مشاهده است. در این مدل، از دو متغیر متوسط دما و بارش سالانه استفاده شده و رژیم‌های هوازدگی در هفت طبقه تقسیم‌بندی می‌شود، که هر ناحیه نشان دهنده یک نوع شرایط هوازدگی است. این مدل به نحوی طراحی شده است که مرطوب‌ترین و گرم‌ترین مناطق دارای حداکثر هوازدگی شیمیایی و خشک‌ترین و سردترین مناطق دارای حداقل هوازدگی شیمیایی‌اند. فعالیت یخبندان (یا هوازدگی فیزیکی) در مناطق دارای دماهای بسیار پایین که در آن‌ها هوازدگی مکانیکی بر هوازدگی شیمیایی ارجحیت دارد، رخ می‌دهد (پلتیر، ۱۹۵۰).

جدول (۱): طبقه‌بندی رژیم‌های هوازدگی (پلتیر، ۱۹۵۰)

Table (1): Classification of weathering regimes (Peltier, 1950)

شدت و تیپ هوازدگی	میانگین دمای سالانه	میانگین بارش
هوازدگی خیلی کم	۱۵ تا +۲۹	۰-۱۰۱۵
هوازدگی شیمیایی قوی	۱۳ تا +۲۹	>۱۵۲۵
هوازدگی شیمیایی متوسط	۷/۵ تا +۲۹	۵۰۰-۱۵۲۵
هوازدگی مکانیکی کم	۷/۵ تا -۱۸	۰-۸۸۰
هوازدگی مکانیکی قوی	-۴ تا -۱۸	۲۵۰-۱۳۰۰
هوازدگی مکانیکی متوسط	-۱۳ تا -۱۸ و -۱ تا -۱۳	۵۰۰-۱۰۵۱ و ۱۰۰-۱۴۰۰

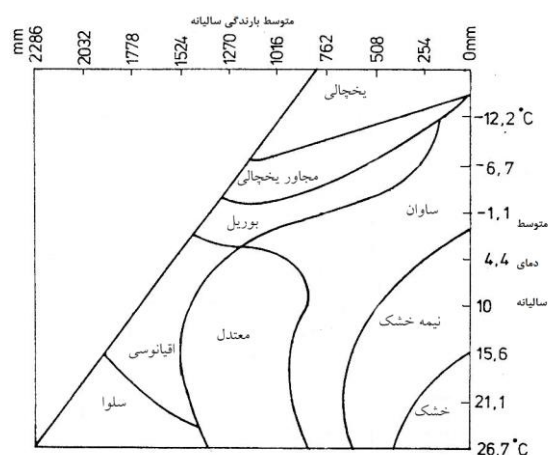


شکل (۲): تقسیم‌بندی رژیم‌های هوازدگی در نمودار پلتیر (پلتیر، ۱۹۵۰)

Figure (2): Classification of weathering regimes in the Peltier diagram (Peltier, 1950)

مناطق مورفوزنر

مدل رژیم‌های مورفوزنر، که بیشتر شبیه طبقه‌بندی اقلیمی و گیاهی است تا مدل هوازدگی، در شکل (۳) نشان داده شده است. در این مدل نیز از دو متغیر متوسط دما و بارش سالانه استفاده شده و مناطق مورفوزنر به ۹ طبقه مختلف تقسیم شدند. مناطق دارای دماهای پایین عمدتاً جزو مناطق یخچالی، مناطق با دماهای بالا و بارش کم جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک، مناطق دارای بارش و دماهای بالا جزو مناطق معتدل و سلوا محسوب می‌شوند. جدول (۲) مناطق مورفوزنر را براساس تقسیم‌بندی پلتیر به همراه ویژگی‌های مورفولوژیکی آن‌ها نشان می‌دهد (پلتیر، ۱۹۵۰).



شکل (۳): مناطق مورفوزنر (پلتیر، ۱۹۵۰)

Figure (3): Morphogenesis regions (Peltier, 1950)

جدول (۲): مناطق مورفوژنز براساس طبقه‌بندی پلتیر (۱۹۵۰)

Table (2): Morphogenesis regions based on Peltier's classification (1950)

مناطق مورفوژنز	میانگین دمای سالانه	میانگین بارش سالانه	ویژگی‌های مورفوژنز
یخچالی	۷- تا ۱۸-	۱۴۰۰ تا ۰	فرسایش یخچالی، نیواسیون
مجاور یخچالی	۱۵- تا	۱۴۰۰ تا ۱۳۰	تأثیر باد، حرکات توده‌ای شدید، فعالیت آب جاری ضعیف
بوریل	۳+ تا ۹-	۱۵۲۰ تا ۲۵۰	تأثیر یخبندان متوسط، تأثیر آب و باد متوسط تا ضعیف
اقیانوسی	۲۱+ تا ۲+	۱۹۰۰ تا ۱۲۷۰	حرکات توده‌ای شدید، فالت آب جاری متوسط تا ضعیف
سلوا	۲۹+ تا ۱۶+	۲۲۹۰ تا ۱۴۰۰	حرکات توده‌ای شدید، شست‌وشوی دامنه‌ها در حد کم
معتدل	۲۹+ تا ۳+	۱۵۲۰ تا ۸۹۰	فعالیت آب جاری حداکثر، تأثیر یخبندان و باد در حد کم
ساوان	۲۹+ تا ۱۲-	۱۲۷۰ تا ۶۴۰	فعالیت آب جاری شدید تا ضعیف، تأثیر باد متوسط
نیمه‌خشک	۲۹+ تا ۲+	۶۴۰ تا ۲۵۰	تأثیر باد شدید، فعالیت آب جاری متوسط تا شدید
خشک	۲۹+ تا ۱۳+	۳۸۰ تا ۰	تأثیر باد شدید، فعالیت آب جاری و حرکات توده‌ای ضعیف

روش پژوهش

پس از تهیه نقشه دما و بارش، منطقه مورد مطالعه از لحاظ وضعیت مورفوژنتیکی بررسی شد و پس از مشخص نمودن موقعیت قرارگیری هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک در مدل پلتیر، به هریک از ایستگاه‌ها یک ارزش وزنی به‌عنوان کد داده شد و در پایگاه داده وارد گردید. در ادامه به منظور پهنه‌بندی این مناطق در محیط نرم‌افزار ArcMap از روش‌های موجود برای درون‌یابی فضایی و تحلیل فضایی داده‌های مکانی، از مدل میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله^۱ (IDW) به‌دلیل کمترین میزان خطا در درون‌یابی دو متغیر بارش و دما (هادی و تومبول،^۲ ۲۰۱۸) استفاده شد. این مدل به‌گونه‌ای است که در یک سطح میان‌یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نیست و نقاط نزدیک بیشتر تأثیر می‌پذیرند و نقاط دور کمتر؛ و هرچه فاصله از مبدأ افزایش یابد، تأثیر کمتر خواهد شد. در مرحله بعدی، لایه رستری دوباره طبقه‌بندی گردید و به هر وضعیت یک ضریب از یک تا پنج داده شد، به‌طوری‌که کمترین ضریب مناطق خشک و بیشترین آن به مناطق اقیانوسی تعلق گرفت و نقشه وضعیت مورفوژنز منطقه تولید شد. درنهایت، به‌منظور پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر نوع و شدت هوازگی، داده‌های مربوط به ایستگاه‌های منتخب به‌صورت مقادیر کدگذاری‌شده در پایگاه داده وارد گردید (جدول ۴). براساس روش‌شناسی ارائه‌شده برای پهنه‌بندی مورفوژنز، این داده‌ها مبنای تحلیل قرار گرفته و پهنه‌های مختلف هوازگی منطقه تعیین شد.

در این پژوهش، روش مطالعه بر پایه رویکرد تحلیلی توصیفی استوار بوده و گردآوری داده‌ها از طریق منابع کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی صورت گرفته است. به‌منظور ارزیابی وضعیت هوازگی و شناسایی نواحی مورفوژنز منطقه مورد مطالعه، داده‌های اقلیمی شامل میانگین دما و بارندگی سالانه از ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب، که دارای دوره‌های آماری هم‌زمان بوده‌اند، از اداره کل هواشناسی استان مازندران اخذ شد. پس از رفع نواقص آماری (شامل حذف داده‌های پرت و تخمین داده‌های گم‌شده به روش رگرسیون)، چهار ایستگاه با طول دوره آماری مناسب (۱۳۶۲-۱۴۰۲) انتخاب شد (جدول ۳). داده‌های به‌دست‌آمده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) سازمان‌دهی شده و تحلیل‌های مکانی و آماری در بستر نرم‌افزار ArcMap انجام گرفت. درنهایت، نقشه‌های مرتبط با الگوهای هوازگی و اشکال مورفوژنز منطقه ترسیم و تفسیر شدند.

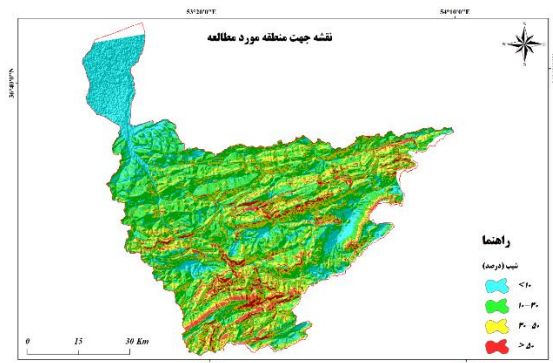
جدول (۳): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه

Table (3): Characteristics of synoptic stations in the watershed

ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول (کیلومتر)	عرض (کیلومتر)	مختصات	مختصات
ساری	۶۷۹۰۰۵	۴۰۴۶۸۱۵	۲۳	۱۶	۸۰۰
کیاسر	۷۲۷۶۷۱	۴۰۱۲۸۰۵	۱۲۹۴	۱۰	۴۶۰
پل سفید	۶۸۷۴۶۱	۴۰۰۰۷۴۷	۶۱۰	۳	۲۵۰
بندر امیرآباد	۷۱۱۰۰۶	۴۰۸۰۸۴۶	۲۰-	۱۸	۱۰۵۰

1. Inverse Distance Weighting
2. Hadi & Tombul

۳۷۱۰ متر است. همچنین بیش از ۵۱ درصد حوضه را مناطق کوهستانی، حدود ۲۰ درصد آن را اراضی جلگه‌ای و دشت‌های ساحلی و بقیه آن را تراس‌های رودخانه‌ای، اراضی کوهپایه‌ای و تپه‌ماهورها تشکیل می‌دهند.



شکل (۵): نقشه شیب حوضه
Figure (5): Slope map of the watershed

شیب حوضه آبریز یکی از عوامل کلیدی در تحلیل فرایندهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی است که بر رواناب سطحی، فرسایش خاک و الگوهای کاربری زمین تأثیر می‌گذارد. بررسی و تحلیل نقشه‌های شیب و جهت دامنه‌ها نقش مؤثری در شناسایی مناطق بحرانی و برنامه‌ریزی بهینه منابع آب و خاک ایفا می‌کند. با توجه به نقشه مقدار شیب حوضه، سطح زیادی از آن در محدوده طبقه شیب ۱۰-۳۰ درصد قرار می‌گیرد. شیب‌های بالاتر از ۵۰ درصد مربوط به ارتفاعات البرز مرکزی در حوضه است.



شکل (۶): نقشه فرسایش رودخانه‌ای حوضه
Figure (6): Fluvial erosion map of the watershed

اقلیم

اقلیم به عنوان یکی از عوامل اصلی، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری فرایندهای ژئومورفولوژیکی (مورفوکلیماتیک)،

جدول (۴): نوع و شدت هوازدگی و مقادیر وزنی آن‌ها

Table (4): Types and intensities of weathering and their weight values

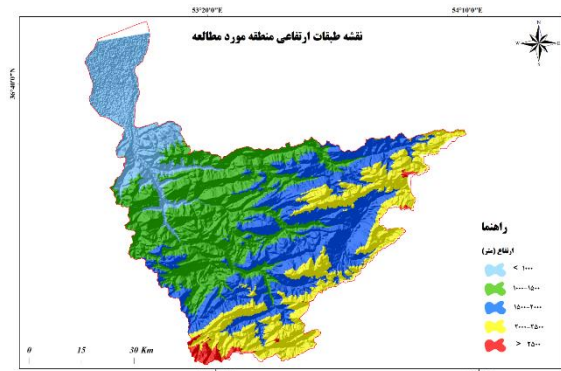
مقادیر وزنی	نوع و شدت هوازدگی
۱	هوازدگی خیلی کم
۲	هوازدگی مکانیکی ضعیف
۳	هوازدگی مکانیکی متوسط
۴	هوازدگی شیمیایی متوسط همراه با یخبندان
۵	هوازدگی شیمیایی

نتایج

پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی هوازدگی سنگ‌ها براساس مدل پلتیر در حوزه آبخیز تجن واقع در استان مازندران صورت گرفت. بر همین اساس به منظور جمع‌بندی و مقایسه دقیق‌تر، نتایج به دست آمده در زیرمجموعه‌های زیر مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

خصوصیات فیزیکی

خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز اعم از طبقات ارتفاعی، شیب و فرسایش ازجمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار مستقیم و غیرمستقیم در نوع و میزان هوازدگی است که در پژوهش حاضر براساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) حاصل از ماهواره ALOS در محیط نرم‌افزار ArcMap تهیه شدند. نتایج خصوصیات فیزیکی حوضه شامل نقشه طبقات ارتفاعی (شکل ۴)، مقدار شیب (شکل ۵) و فرسایش رودخانه‌ای (شکل ۶) در زیر نشان داده شده است.



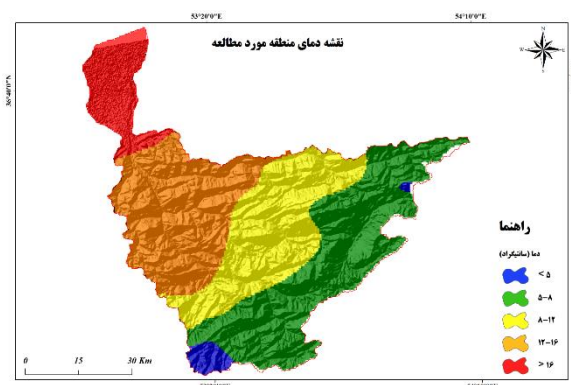
شکل (۴): نقشه طبقات ارتفاعی حوضه
Figure (4): Elevation classes map of the watershed

براساس نقشه طبقات ارتفاعی، کمترین ارتفاع در حوضه ۲۶- متر و بیشترین ارتفاع از سطح آب‌های آزاد در حوضه

آب و هوای سرد کوهستانی

در نوار ارتفاعی بالاتر از ۳۰۰۰ متر که شامل قله کوهستان های دامنه شمالی البرز می شود، دمای هوا به شدت کاهش یافته و یخبندان های طولانی ایجاد می شود. در این مناطق، ریزش ها غالباً به صورت برف است که در دوره طولانی سرد سال روی هم انباشته شده و تا اواسط دوره کوتاه گرم سال نیز دوام دارند. در همین مناطق و در قله کوه های دماوند، علم کوه و تخته سلیمان شرایط ایجاد یخچال های کوهستانی و انباشت دائمی برف فراهم شده است.

در همین راستا با توجه به بررسی های صورت گرفته نشان داده شد که بیشترین دما در قسمت شمال غرب منطقه مورد مطالعه است، که دلیل آن پایین بودن ارتفاع آن است ولی قسمت های جنوبی به دلیل افزایش ارتفاع دمای آن کاهش پیدا می کند؛ به نحوی که بیشترین دمای متوسط سالانه متعلق به ایستگاه سینوپتیک امیرآباد با ۱۷/۸ درجه سانتی گراد است که در ارتفاع تقریباً ۲۰- متر از سطح دریا قرار گرفته است. کمترین دمای منطقه مورد مطالعه نیز متعلق به ایستگاه پل سفید با دمای متوسط سالانه ۹/۱ درجه سانتی گراد با ارتفاع ۶۱۰ متر از سطح دریاست. شکل (۷) نقشه پهنه بندی منطقه مورد مطالعه از لحاظ متوسط دمای سالانه را نشان می دهد.



شکل (۷): نقشه پهنه بندی متوسط دمای سالانه در حوضه مورد مطالعه
Figure (7): Annual average temperature zoning map of the study watershed

یکی دیگر از پارامترهای اقلیم که در میزان هوازدگی سنگ ها تأثیر زیادی دارد، بارندگی است. بارندگی یکی از مهم ترین و درعین حال متغیرترین پارامترهای هواشناسی است. همان طور که پیش تر نیز اشاره شد، توزیع زمانی و مکانی بارش

پیدایش خاک، شرایط هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی، حیات جانوری و به ویژه فعالیت های انسانی ایفا می کند. در این منطقه، عناصر اقلیمی موجود می توانند در تبیین فرایندهای غالبی که بر سطوح و اشکال مورفولوژیکی قدیمی تر اثر می گذارند، مورد استفاده قرار گیرند.

منطقه مورد مطالعه را براساس خصوصیات دما و بارش و توپوگرافی منطقه می توان به دو نوع آب و هوای معتدل خزری و آب و هوای کوهستانی تقسیم کرد. آب و هوای کوهستانی خود بر دو نوع معتدل کوهستانی و سرد کوهستانی است.

آب و هوای معتدل خزری

این نوع اقلیم جلگه های غربی و مرکزی استان تا کوهپایه های شمالی البرز را شامل می شود. در این نواحی به دلیل کمی فاصله کوهستان و دریا رطوبت تجمع می یابد که به عنوان پیامد آن می توان بارش های قابل ملاحظه و دمای معتدل را ذکر کرد.

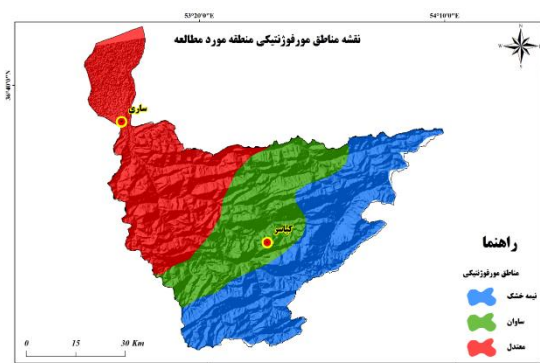
توزیع مکانی بارندگی از غرب به شرق با کاهش همراه است، درحالی که توزیع زمانی آن وضعیتی کمابیش منظم دارد (حداکثر بارندگی در پاییز و حداقل آن در تابستان اتفاق می افتد).

در بررسی پارامتر درجه حرارت نیز مشاهده می شود که به دلیل رطوبت نسبی بالا و زیاد بودن تعداد روزهای پوشیده از ابر، دمای هوا معتدل و دامنه دمای محدود است که این وضعیت منجر به تابستان های گرم و مرطوب و زمستان های معتدل با یخبندان های اتفاقی می شود.

آب و هوای معتدل کوهستانی

با افزایش تدریجی ارتفاع از اراضی جلگه ای به سوی دامنه های شمالی ارتفاعات البرز و فاصله از دریا، تغییرات خاصی در آب و هوای استان پدیدار می گردد. در نوار ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر، شرایط آب و هوایی کوهستانی حاکم است که از ویژگی های آن می توان کاهش میزان بارندگی سالیانه و همچنین کاهش متوسط درجه حرارت ماهانه را ذکر کرد. علاوه بر آن، زمستان های سرد همراه با یخبندان های طولانی و تابستان های کوتاه نیز از دیگر مشخصات این اقلیم است.

پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه را از لحاظ مناطق مورفوژنز طبق مدل پلتیر نشان می‌دهد.



شکل (۹): نقشه پهنه‌بندی مناطق مورفوژنز حوضه مورد مطالعه
Figure (9): Morphogenesis regions zoning map of the study watershed

براساس شکل (۹)، مناطق مورفوژنز حوضه مورد مطالعه به سه طبقه نیمه‌خشک، معتدل و ساوان تقسیم شده‌اند. این طبقه‌بندی نشان‌دهنده تغییر چشمگیر در الگوی مورفوژنز از غرب به جنوب شرق حوضه است؛ به گونه‌ای که نواحی غربی در محدوده معتدل و بخش‌های جنوب شرقی در محدوده نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند. در همین راستا براساس یافته‌های پژوهش طبقه معتدل با مساحت ۱۵۹۹/۱۳ کیلومتر مربع بیشترین و منطقه با شرایط مورفوژنز ساوان با مساحت ۱۲۶۹/۰۴ کمترین مساحت حوضه را به خود اختصاص دادند. جدول (۵) مشخصات مناطق مورفوژنز حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۵): مشخصات مساحت مناطق مورفوژنز در حوضه

Table (5): Area specifications of Morphogenesis regions in the watershed

مناطق مورفوژنز	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد از مساحت کل
نیمه خشک	۱۵۵۹/۰۳	۳۵/۲
معتدل	۱۵۹۹/۱۳	۳۶/۱۱
ساوان	۱۲۶۹/۰۴	۲۸/۶۹

مدل شدت و نوع هوازدگی

آب‌وهوا عامل تعیین‌کننده نوع هوازدگی به شمار می‌رود؛ به‌طوری‌که هر وضعیت آب‌وهوایی، بسته به نوع سنگ‌های منطقه، الگوی خاصی از هوازدگی را ایجاد می‌کند. شدت و نوع

در حوضه مورد مطالعه در طول سال و مکان‌های مختلف ثابت نیست؛ به‌نحوی‌که در فصل بهار و در سمت غرب حوضه بیشترین میزان بارندگی را شاهدیم. به‌طور کلی در حوضه تجن از سمت جنوب به شمال، به‌علت شرایط جغرافیایی میزان بارش افزایش و به‌دلیل اختلاف ارتفاع از جنوب به شمال، دما افزایش پیدا می‌کند؛ به‌نحوی‌که طبق آمار مورد بررسی بیشترین مقدار میانگین بارندگی سالانه متعلق به ایستگاه امیرآباد با میزان ۱۰۲۵ میلی‌متر بارندگی است که در شمال غرب حوضه با ارتفاع تقریبی ۲۰- متر از سطح دریا واقع شده است. همچنین کمترین مقدار میانگین بارش سالانه نیز متعلق به ایستگاه پل سفید با میزان ۲۱۰ میلی‌متر است که در ارتفاع ۶۱۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. شکل (۸) نقشه پهنه‌بندی حوضه مورد مطالعه از لحاظ میزان میانگین بارندگی سالانه را نشان می‌دهد.



شکل (۸): نقشه پهنه‌بندی میانگین بارش سالانه در حوضه مورد مطالعه
Figure (8): Annual average precipitation zoning map of the study watershed

در ادامه و مطابق با توضیحات بخش مواد و روش‌ها، به‌منظور شناسایی وضعیت هوازدگی در سطح حوضه، از مدل پلتیر بهره گرفته شد. از میان هفت مدل ارائه‌شده توسط پلتیر، دو مدلی که به‌طور مؤثر میزان و شدت هوازدگی را ارزیابی می‌کنند، در این پژوهش استفاده شده‌اند.

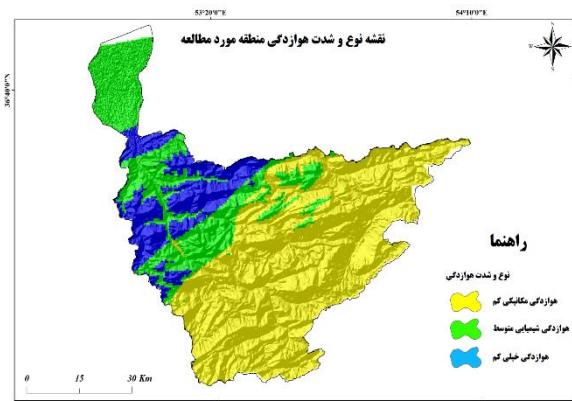
مدل مناطق مورفوژنز

نوع آب‌وهوای هر منطقه بر نوع هوازدگی و شدت آن مؤثر است. مقدار بارش، پراکندگی آن در طول سال، درجه‌حرارت متوسط سالانه، تغییرات دما، عرض جغرافیایی، ارتفاع، دوری و نزدیکی به دریا، زاویه تابش خورشید و مجاورت با منابع رطوبت در میزان هوازدگی سنگ‌ها تأثیر می‌گذارد. شکل (۹)

نتیجه‌گیری

برائش فرایندهای هوازدگی، سنگ‌های سخت و درهم‌جوش‌خورده، تحت‌تأثیر عوامل فیزیکی، شیمیایی یا زیستی، به اجزای منفصل در اندازه‌های مختلف تجزیه می‌شوند. این قطعات ناپایدار، در شرایط شیب‌دار، به‌ندرت در محل باقی مانده و در نتیجه نیروی گرانش، وزن توده و یا تحت‌تأثیر فرایندهای انتقالی نظیر لغزش، ریزش و جریان، در امتداد دامنه حرکت می‌کنند و در قالب اشکال متنوع در پایکوه تجمع می‌یابند. مطالعه هوازدگی از آن‌رو که باعث از هم پاشیدن و تجزیه سنگ‌ها در سطح زمین و نزدیکی سطح زمین، تشدید فرسایش، فروریزش آن‌ها تحت‌تأثیر نیروی جاذبه، ایجاد لندفرم‌ها و حتی ایجاد تمرکز و تشکیل مواد معدنی و تشکیل خاک می‌شود، دارای اهمیت است. حوضه مورد مطالعه یکی از حوضه‌های پربارش محسوب می‌شود. با توجه به توپوگرافی حوضه که شامل بخش دو بخش جلگه‌ای و کوهستانی است، دما در نواحی جلگه‌ای نوسان بالایی ندارد؛ بنابراین مستعد هوازدگی شیمیایی است که نتایج به‌دست‌آمده این موضوع را تأیید می‌کنند. فرایندهای هوازدگی تحت‌تأثیر مجموعه‌ای از پارامترهای محیطی قرار دارند که از میان آن‌ها، میانگین دمای سالانه و میزان بارندگی سالانه به‌عنوان عوامل اصلی شناخته می‌شوند. مدل‌های پلتیر نیز با تأکید بر همین دو شاخص بنیادی توسعه یافته‌اند. یافته‌های حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که الگوهای دمای و بارشی منطقه، بیش از هرچیز، متأثر از موقعیت جغرافیایی (عرض جغرافیایی) و ساختار توپوگرافی شامل جهت‌گیری و امتداد ارتفاعات هستند. این عوامل در ایجاد تنوع فضایی الگوهای هوازدگی در نواحی مختلف نقش بسزایی داشته و به‌طور کلی می‌توان گفت که ارتفاعات و نحوه جهت‌گیری آن‌ها، از عوامل مؤثر در شکل‌گیری رژیم‌های هوازدگی و اشکال ژئومورفولوژیکی مرتبط محسوب می‌شوند.

هوازدگی در مناطق مختلف متغیر است و این تفاوت‌ها به عوامل جغرافیایی متعددی مانند عرض جغرافیایی، زاویه تابش خورشید، ارتفاع، فاصله از دریا و سایر مؤلفه‌های اقلیمی وابسته است. شکل (۱۰) نقشه پهنه‌بندی شدت هوازدگی سنگ‌های حوضه را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): نقشه پهنه‌بندی شدت هوازدگی در حوضه مورد مطالعه
Figure (10): Weathering intensity zoning map of the study watershed

براساس نتایج به‌دست‌آمده، از میان هفت رژیم هوازدگی معرفی‌شده در مدل پلتیر، فقط سه نوع در شرایط اقلیمی منطقه مشاهده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین وسعت از حوضه مورد مطالعه، با مساحت ۲۶۳۰/۹۸ کیلومتر مربع، در محدوده هوازدگی مکانیکی کم قرار دارد. در مقابل، کمترین مساحت، مربوط به ناحیه با شدت هوازدگی بسیار کم است که ۵۹۵/۱۹ کیلومتر مربع از کل حوضه را پوشش می‌دهد. جدول (۶) جزئیات مربوط به مساحت طبقات مختلف شدت هوازدگی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۶): مساحت طبقات شدت هوازدگی در سطح حوضه		
Table (6): Area of weathering intensity classes across the watershed		
شدت هوازدگی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد از مساحت کل
هوازدگی خیلی کم	۵۹۵/۱۹	۱۴/۴
هوازدگی شیمیایی متوسط	۱۰۰۶/۴۸	۲۳/۷
هوازدگی مکانیکی کم	۲۶۳۰/۹۸	۶۱/۹

منابع

1. Abtahi, M., Bakhshi, T., & Kaviani, B. (2013). Mapping of weathering, erosion and Morphogenesis regions Namk lake basin of Iran by Peletier's graphs. *European Journal of Experimental Biology*, 3(4), 118-125.
2. Autade, S. E., & Pardeshi, S. D. (2017). Assessment of lithology and geomorphic control on slope instability in Raigad district, Maharashtra. *Journal of the Geological Society of India*, 90(3), 283-288. <https://doi.org/10.1007/s12594-017-0716-6>.

3. Dalal Oghli, A. (2002). *Investigation of morphological systems in the northern slope of Sabalan and the formation of Meshginshahr accumulation plain*. Doctoral dissertation, University of Tabriz. [In Persian].
4. Das, S., Gupta, A., & Ghosh, S. (2017). Exploring groundwater potential zones using MIF technique in semi-arid region: a case study of Hingoli district, Maharashtra. *Spatial Information Research*, 25(6), 749-756. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0144-0>.
5. Doke, A., Pardeshi, S. D., Pardeshi, S. S., & Das, S. (2018). Identification of Morphogenesis regions and respective geomorphic processes: a GIS approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3358-5>.
6. Fowler, R., & Petersen, J. (2003). A Spatial Representation of Louis Peltier's Weathering, Erosion and Climatic Graphs Using Geographic Information Systems (GIS). *Proceedings Esri*.
7. Fowler, R., & Petersen, J. (2004). A spatial representation of Louis Peltier's weathering, erosion, and climatic graphs using geographic information systems. *ESRI User Conference Proceedings*. <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc04/abstracts/a1752.html>.
8. Gadgil, A. (2002). Rainfall characteristic of Maharashtra. In: Diddee J, Jog SR, Kale VS, Datya VS (eds) *Geography of Maharashtra*. Rawat Publication, Pune, 89-102.
9. Gallagher, C. (2024). Glaciation and glaciogenic geomorphology on Earth in the Quaternary Period. *In Ices in the Solar-System*, 31-71.
10. Hadi, S. J., & Tombul, M. (2018). Comparison of spatial interpolation methods of precipitation and temperature using multiple integration periods. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46, 1187-1199. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0783-1>
11. Jedari Eyvazi, J. (2006). *Efficiency of the Peltier model in classifying glacial regions*. Research project, University of Tehran. [In Persian].
12. Jafari Aghdam, M, Jahanfar, A, & Sadeghi, M. (2012). Zoning of weathering processes in Jajroud river basin using Peltier climatic model. Fourth National Conference of Geography Students, Tehran. [In Persian].
13. Karami, F. (2004). The Weathering Processes and Their Effects on City and Rural Districts the Mountainous Regions of Azarbaijan. *Geography and Development*, 2(4), 61-80. [In Persian].
14. Maghsoudi, M, Khoshakhlagh, F, Hanafi, A, & Rusta, I. (2011). Zoning of Stone Weathering Processes, based on Peltier Models in Northwest of Iran. *Physical Geography Research*, 42(4), 35-46. [In Persian].
15. Memarian, H. (2000). *Geology for Engineers*. University of Tehran Press, fourth edition. [In Persian].
16. Peltier, L. C. (1950). The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. *Annals of the association of American Geographers*, 40(3), 214-236. <https://doi.org/10.1080/00045605009352070>.
17. Pinto, G. A., Tavernier, A., Gattacceca, J., Corgne, A., Valenzuela, M., Luais, B., ... & Marrocchi, Y. (2024). Dense collection areas and terrestrial alteration of meteorites in the Atacama Desert. *Meteoritics & Planetary Science*, 59(2), 351-367. <https://doi.org/10.1111/maps.14125>.
18. Ramesht, M.H., & Shoushtari, N. (2004). Ice and glacier work in Salafchegan, Qom. *Geographical Research*, 73, 119-132. [In Persian].
19. Vahabzadah Kbriya, G., & Saberi, A. (2021). Analyzing the effect of climatic parameters on weathering of rocks using the Lewis Peltier model, Case study: Southwest of West Azerbaijan Province. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30(118), 217-231. [In Persian].
20. Yamani, M., Shamsipoor, A.A., Jafari Aghdam, M., & Bagheri Seyed Shokri, S. (2011). Determining the boundaries of Quaternary morphodynamic and morphoclimatic zones in the Jajrood Basin. *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 15(3), 83-110. [In Persian].
21. Zhu, B. (2020). Geomorphological Evolution and Palaeoenvironmental Change in the Western Alashan Plateau, China. *Journal of Geological Research*, 2(1), 1-19. <https://doi.org/10.30564/jgr.v2i1.1942>

Identification of Morphogenesis Regions and Rock Weathering Regimes Based on the Peltier Model (Case Study: Tajan Watershed)

Sayed Hamid Sadati,¹ Sayed Ramadan Mousavi,^{2*} Ghorban Vahabzadeh Kebria,³ Sayed Hussein Roshun⁴

Received: 24/11/2024

Accepted: 28/06/2025

Extended Abstract

Introduction: The Quaternary period stands out for its pronounced climatic fluctuations, which have profoundly impacted geological morphogenesis systems and landforms. These highly variable climatic shifts are of significant interest to geomorphologists, particularly for understanding morphoclimatic and morphodynamic transformations. Earth's surface environments are continuously sculpted by the complex interplay of climate, biological activity, and geological processes. Despite their common perception as symbols of stability, rocks progressively lose their structural integrity over time through weathering processes, whether physical, chemical, or biological. Recent research has increasingly concentrated on the influence of climate change on erosional systems and landform development. A prominent framework in this domain is Louis Peltier's model, which systematically investigates the effects of temperature and precipitation on geomorphic processes. Peltier's work notably identified seven distinct weathering regimes, incorporating both chemical weathering and frost activity. A deeper comprehension of the drivers behind landform evolution is crucial, as it enhances our capacity to assess geomorphic hazards and environmental potentials, thus playing a vital role in both infrastructure planning and land management.

Materials and methods: This study aimed to zone rock weathering regimes within the Tajan watershed based on Peltier's model. To assess the weathering conditions and associated morphogenesis forms across the basin, we acquired climatic variables, specifically annual average temperature and precipitation data, from synoptic stations provided by the Mazandaran Meteorological Department. After addressing statistical deficiencies, including the removal of outliers and the estimation of missing data using regression methods, four synoptic stations with reliable long-term records (1983–2023) were selected for analysis. A geospatial database was subsequently developed in ArcGIS, integrating topographic maps (specifically, elevation classes and slope gradients) and fluvial erosion data. Following the analysis of temperature and precipitation trends at the selected stations, the corresponding weathering regimes were identified using Peltier's model. These regimes were then assigned weighted values, and their spatial distribution maps were generated using the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method. Finally, leveraging this comprehensive database, we produced morphogenesis maps and maps illustrating the intensity and type of weathering throughout the Tajan watershed, all based on Peltier's classification system.

Result: The physical characteristics of the Tajan watershed, including elevation classes, aspect, and erosion, are pivotal in influencing the type and intensity of rock weathering. To facilitate this analysis, relevant maps depicting these variables were prepared. Climate is a central driver of geomorphic processes, hydrological conditions, vegetation cover, wildlife distribution, and human activities. Based on the patterns of temperature and precipitation, the study area is primarily divided into two main climatic types: The Caspian temperate climate and the mountainous climate. The latter further encompasses both temperate and cold subtypes.

1. Ph.D., Student, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran; Email: Sadatihamid60@gmail.com

2. Assistant Professor of Watershed Management, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran; Email: srmmousavi@sanru.ac.ir

3. Associate Professor of Watershed Management, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran; Email: vahabzadeh@sanru.ac.ir

4. Ph.D., Graduate of Watershed Management, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran; Email: hussein.roshun@sanru.ac.ir

Our findings indicate that the highest temperatures are recorded in the northwestern part of the region, correlating with lower elevations. Conversely, the lowest temperatures are observed at the Pol Sefid station, which is situated at higher altitudes. Precipitation exhibits a clear south-to-north gradient, with the highest rainfall occurring in the western part of the region during spring. The Amirabad station records the highest annual precipitation (1,025 mm), whereas the Pol Sefid station receives the lowest (210 mm). Climatically and geomorphologically, the watershed is categorized into three distinct zones: semi-arid, temperate, and savanna. Among these, the temperate zone covers the largest area, spanning 1,599 km², while the savanna zone has the smallest extent at 1,269 km². Applying Peltier's model, three primary types of weathering regimes were identified within the region. Low mechanical weathering is the most extensive, covering an area of 2,630 km². In contrast, very low-intensity weathering is the least extensive, occupying 595 km².

Discussion and Conclusion: Weathering processes lead to the disintegration of hard, compacted rocks into fragments of varying sizes, driven by physical, chemical, or biological factors. On steep slopes, these unstable fragments rarely remain in situ; instead, they are mobilized downslope by gravity, mass weight, or transport mechanisms such as sliding, falling, and flowing, ultimately accumulating at the base of slopes. The study of weathering is critical due to its role in rock breakdown and decomposition near the Earth's surface, its intensification of erosion, its contribution to gravitational collapses, its facilitation of landform development, and its influence on mineral deposit concentration and soil formation. The Tajan watershed, our study area, is characterized as a high-rainfall basin with diverse topography, encompassing both lowland and mountainous zones. In the lowlands, minimal temperature fluctuations enhance susceptibility to chemical weathering, a finding consistent with our results. Weathering processes are influenced by a range of environmental parameters, with annual average temperature and precipitation recognized as primary drivers. Peltier's models, which formed the basis of this study, also rely on these two fundamental climatic indicators. Our research findings indicate that the region's temperature and precipitation patterns are largely governed by its geographic location (latitude) and topographic structure, including the orientation and alignment of mountain ranges. These factors significantly shape the spatial variability of weathering patterns across the basin. Overall, elevation and slope orientation emerge as key determinants in the formation of weathering regimes and their associated geomorphological features.

Keywords: Tajan Watershed, Geographic Information System, Morphogenesis Regions, Rocks Weathering.