

تأثیر آلاینده های فیزیکی-شیمیایی بر تشدید سیستم های (فرایند) هوازدگی در کلانشهر تهران

منیژه قهرودی تالی^{۱*}، محمد رضا ثروتی^۱، سید حسن صدوق^۱، کاظم نصرتی^۲، طیبه عبدالملکی^۳

۱ - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲ - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳ - کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۲۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۴/۸

چکیده

گسترش کلان شهرها، افزایش تراکم شهری، حرارت سطحی شهر و آلودگی سبب تغییرات عمده ای در محیط طبیعی شهری می شود که از جمله پیامدهای آن تحول سیستمهای ژئومورفیک است. هوازدگی از مهمترین فرآیندهای سیستم ژئومورفیک می باشند که در بستر کلان شهرها، تحول می یابد. تهران مهمترین و بزرگترین شهر ایران که به دلیل گستردگی، تراکم بالا و آلودگی، سیستم ژئومورفیک آن تغییر کرده است در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. داده مورد استفاده شامل داده اقلیمی ایستگاههای سینوپتیک و کلیماتولوژی استان تهران و ایستگاههای استانهای اطراف مربوط به سالهای ۲۰۰۹-۱۹۹۰ میلادی، داده آلودگی ۱۵ ایستگاه مربوط به دو آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2) و اکسید نیتروژن (NO_2) سالهای ۲۰۱۱-۲۰۰۹ و تصویر مادون قرمز حرارتی با بهره بالای از سنجنده ETM^+ مربوط به ۱۱ آوریل ۲۰۰۱ بودند. هوازدگی فیزیکی در دو رده دما شکافتگی و یخ شکافتگی مورد بررسی قرار گرفت. پهنه بندی های مربوط به هوازدگی در عناصر اولیه با روش کریجینگ متکی بر سمی واریوگرام انجام شد و از این نظر تهران در پهنه ای گسترده تر از محدوده خود مورد بررسی قرار گرفت. درون یابی آلاینده ها، محاسبه شاخص دمای سطحی زمین و تعریف بافت فرسوده برای شناسایی سیستم ژئومورفیک تهران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از برتری فرآیندهای فیزیکی در پهنه تهران است. اما دخالت آلاینده ها، دمای سطحی زمین و مقایسه مشاهدات میدانی در بافت فرسوده و سالم بیانگر وجود سیستمی با برتری هوازدگی شیمیایی در جنوب و مرکز تهران می باشد که به طور پراکنده در حواشی نیز مشاهده می شود. بنابراین تغییر سیستم ژئومورفیک در تهران مرکزی و جنوبی وجود دارد که با افزایش تراکم شهری و افزایش آلودگی در حال گسترش به اطراف می باشد.

واژه های کلیدی: سیستم ژئومورفیک، هوازدگی، تهران، سمی واریوگرام.

که براساس تجزیه و تحلیل کمی پارامترهای آب و هوایی از جمله میانگین سالیانه درجه حرارت و میانگین بارش سالیانه برای بیان تفاوت‌های جهانی فرایندهای هوازدگی شیمیایی و مکانیکی استفاده کرد. گریگوری و همکاران (۱۹۹۵) مدل ادراکی جدیدی برای درک تغییرات جغرافیایی هوازدگی ارائه کردند. آنها در ارائه این مدل از مدل های هوازدگی پلتیر استفاده نمودند. گریگوری و همکاران (۲۰۰۲) نقش ژئومورفولوژی در مطالعه هوازدگی سنگهای بناهای تاریخی و فرهنگی بررسی نموده و روش های مطالعه ژئومورفولوژیست ها در بررسی هوازدگی مکان های فرهنگی-تاریخی را بیان نمودند. فولر و پترسون (۲۰۰۳) مدل های هفت گانه اقلیمی، هوازدگی و فرسایش پلتیر را با استفاده از نرم افزار GIS در کشور امریکا به کار بردند و آن را از لحاظ هوازدگی و فرسایش طبقه بندی نمودند. اولین مطالعات هوازدگی در محیط های شهری را می توان در کارهای محققینی مانند دراگوویچ (۱۹۸۶) و اینکپن (۱۹۸۹) ملاحظه نمود که نرخ هوازدگی سنگهایی که در سازه های شهری بکار می رود و سالها در فضاهای با آلودگی هوا بوده اند را محاسبه نمودند. فرایرز و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه شرایط ژئومورفیک در ۴۷ باتلاق موجود در سرزمینهای مرتفع کوهستان آبی سیدنی به این نتیجه رسیدند که ۲۳ باتلاق به خاطر گسترش فضای شهری دچار تغییر در سیستم ژئومورفیک شدند که نیاز به احیاء و بازسازی دارد. فیدپاتریک و همکاران (۲۰۰۴) با مطالعه روی جریانهای شمالشرق ایلینویز متوجه تغییرات ژئومورفولوژی و هیدرولوژی شدند که موجب تغییر ویژگیهای ژئومورفیک مانند فرسایش کناری و افزایش سیلاب شده است.

مقدمه

انسان با گسترش فضای شهری سبب تغییرات عمده ای در محیط های طبیعی می شود. فعالیتهای انسان مانند تسطیح زمین، ساخت و ساز، تغییر سیستم زهکشی، تغییر ویژگی خاک و پوشش زمین، سبب واکنش محیط طبیعی می شود. آثار ناگهانی واکنش ها سبب ایجاد یا تشدید مخاطرات طبیعی می شود (پانیزا، ۱۹۹۶). آثار تدریجی این تغییرات سبب تغییر فرایندهای شکل زایی و سیستمهای ژئومورفیک می شوند. هوازدگی از مهمترین فرایندهای سیستم ژئومورفیک می باشد که به صورت ترکیبی از متغیرهای داخلی و خارجی عمل می کند (هاگت، ۲۰۰۳). در یک سیستم ژئومورفیک، فرسایش به صورت سیستمی از فرایندهای اولیه یا هوازدگی عمل می کند. نوع فرسایش حاصل نقشی است که هر فرایند در آن سیستم به عهده دارد. تکرار و برتری فرایندهای مسلط به تدریج در طول زمان، نقش آنها را از فرایندهای فرعی متمایز ساخته و بدین ترتیب سیستمهای ژئومورفیک عینیت می یابند. با تغییر شرایط محیطی سیستمهای فرسایش مکانیکی به تدریج در طول زمان جای خود را بر سیستمهایی واگذار می کنند که در آن برتری با هوازدگی های فیزیکو- شیمیایی یا بیوشیمیایی می باشد (محمودی، ۱۳۷۶).

هوازدگی، تجزیه و متلاشی شدن سنگ ها وکانی های سطح زمین در نتیجه فرایندهای فیزیکی و شیمیایی است. در محیط های شهری سنگ ها تحت تاثیر اثر مخرب بسیاری از آلودکننده های صنعتی هستند. تغییرات فضایی فرایند های هوازدگی در مقیاس جهانی و ناحیه ای با استفاده از شاخصهای آب و هوایی انجام می شود. یک نمونه از کار قدیمی مربوط به پلتیر (۱۹۵۰) است

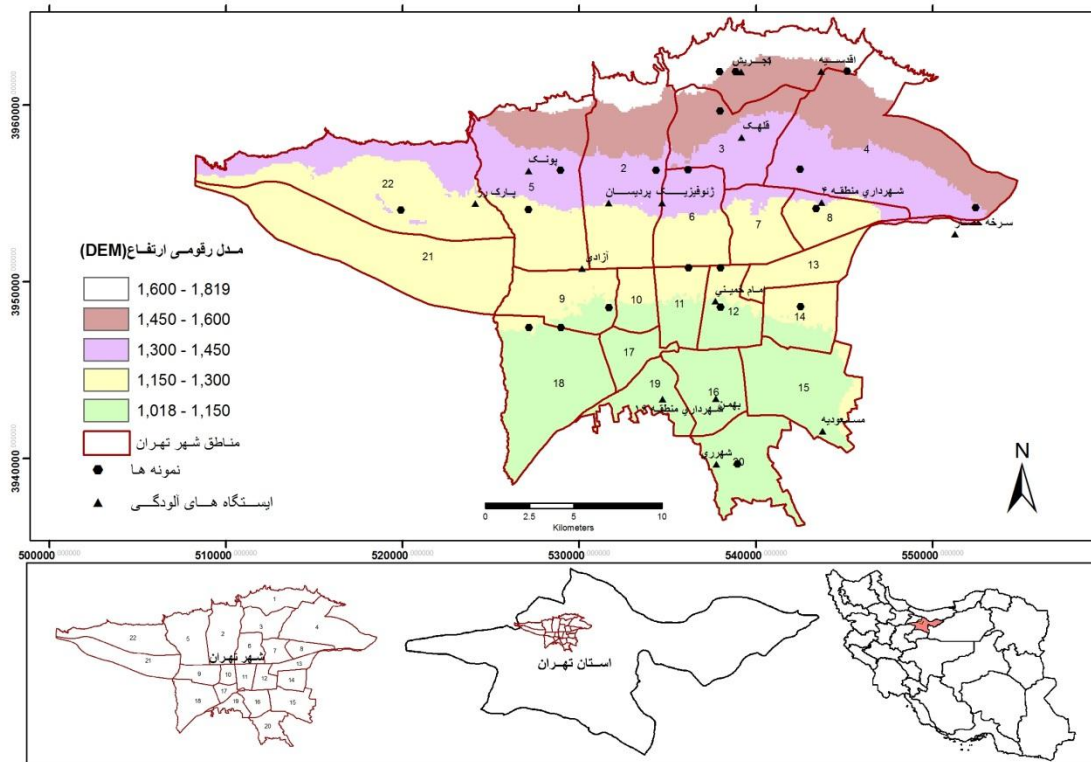
مواد و روش ها

- موقعیت منطقه مطالعاتی

کلان شهر تهران از نظر اقلیمی در یک محیط خشک و نیمه خشک قرار دارد (علیجانی و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین از نظر سیستم های بزرگ هوازدگی در معرض هوازدگی فیزیکی قرار دارد (قهرودی تالی، ۱۳۸۴). در این پژوهش با توجه گسترده‌گی تهران و بر اساس میزان آلاینده ها (چون آلودگی هوا یکی از فاکتورهای اصلی زوال و فرسودگی سنگ است (چارولا، ۲۰۰۴))،

دمای سطحی و مشاهدات میدانی تغییر سیستم ژئومورفیک مورد تحلیل قرار گرفته است.

شهر تهران بین مختصات جغرافیایی $51^{\circ}05'$ الی $51^{\circ}37'$ طول شرقی و $35^{\circ}32'$ الی $35^{\circ}49'$ عرض شمالی بر روی نهشته‌های آبرفتی کواترنری واقع شده است. این حوضه رسوبی، گستره وسیعی از اراضی کوهپایه‌های بخش جنوبی البرز مرکزی در حد فاصل دو رودخانه مهم جاجرود در شرق و کن در غرب را شامل می‌شود. ارتفاع از سطح دریا از ۱۸۱۹ متر در شمیران تا ۱۰۱۸ متر در جنوب به تدریج کاهش می‌یابد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت و تغییرات ارتفاع در تهران

- روش کار

به دلیل گسترده‌گی تهران و افزایش دقت در استخراج عناصر اقلیمی، داده های اقلیمی ایستگاههای سینوپتیک و کلیماتولوژی استان تهران و ایستگاههای استانهای اطراف مربوط به

سالهای ۲۰۰۹-۱۹۹۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۱ موقعیت ایستگاهها را نشان می دهد. برای آلودگی داده ۱۵ ایستگاه مربوط به دو آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2) و اکسید نیتروژن (NO_2) سالهای ۲۰۱۱-۲۰۰۹، از مرکز

بهرتر سنجیده می شود زیرا سرما و گرمای فصول زمستان و تابستان محدوده شهر را فرا می گیرد و تغییرات حرارت را کاهش می دهد. مقیاس و سیستم مختصات پایه براساس نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تنظیم گردید. مراحل تحقیق به شرح زیر می باشد:

پایش آلودگی هوای اداره کل حفاظت محیط زیست استان تهران و شرکت کنترل کیفیت هوای تهران وابسته به شهرداری تهیه شد (شکل ۱) موقعیت ایستگاهها را نشان می دهد). تصویر مادون قرمز حرارتی با بهره بالای از سنجنده ETM⁺ مربوط به ۱۱ آوریل ۲۰۰۱ نیز به منظور استخراج دمای سطحی تهران مورد استفاده قرار گرفت. اختلافات حرارتی عمدتاً در اوایل فصل بهار

جدول ۱: مشخصات ایستگاههای اقلیمی (سالهای ۲۰۰۹-۱۹۹۰)

ارتفاع (m)	طول جغرافیایی N	عرض جغرافیایی E	نام ایستگاه هواشناسی
۱۵۴۸,۲	۳۵°۴۸'	۵۱°۲۹'	شمال تهران
۱۱۹۰,۸	۳۵°۴۱'	۵۱°۱۹'	مهرآباد
۱۴۲۳,۸	۳۵°۴۵'	۵۱°۲۳'	ژئوفیزیک
۱۲۰۹,۲	۳۵°۴۲'	۵۱°۲۰'	دوشان تپه
۱۳۰۵,۲	۳۵°۴۴'	۵۱°۱۰'	چیتگر
۱۳۱۲,۵	۳۵°۵۵'	۵۰°۵۴'	کرج
۲۴۶۵,۲	۳۵°۴۵'	۵۱°۵۳'	آبعلی
۱۹۷۵,۶	۳۵°۵۵'	۵۲°۵۰'	فیروزکوه
۲۹۸۵,۷	۳۵°۴۳'	۵۲°۲۴'	فیروزکوه، پل
۱۰۰۰	۳۵°۳۵'	۵۱°۲۸'	امین آباد
۱۸۰۰	۳۵°۳۹'	۵۲°۵'	همند
۱۰۲۱	۳۵°۲۸'	۵۱°۴۱'	مامازن
۱۱۰۸	۳۵°۳'	۵۱°۲۰'	ساوه
۱۱۲۷	۳۵°۳۵'	۵۳°۲۵'	سمنان
۸۹۹,۹	۳۵°۱۴'	۵۲°۲۱'	گرمسار
۱۲۷۹,۲	۳۶°۱۵'	۵۰°۳'	قزوین

شکافتگی و یخ شکافتگی مورد بررسی قرار گرفت. براساس عوامل موثر در هوازدهی، شاخص های هوازدهی طبق جدول ۲ تعریف گردید. برای کاهش شرایط فیزیکی تهران در هوازدهی، داده های اقلیمی در سطح گسترده مورد استفاده

با توجه به قرار گرفتن تهران در اقلیم خشک و نیمه خشک و همچنین اختلاف ارتفاع بین شمال و جنوب تهران که می تواند تفاوت های مکانی و اختلافات فصلی هوازدهی فیزیکی در شمال و جنوب آن ایجاد نماید، هوازدهی در دو رده دما

کاهش خطای درون یابی است. جدول ۳ عناصر سمی واریوگرام متغیرها را نشان می دهد. همانطور که این جدول نشان می دهد، مناسب ترین مدل در داده ها اقلیمی مدل کروی است. لذا از روش کریجینگ معمولی با مدل کروی برای درون یابی استفاده شد (وینر و دلفینو، ۲۰۰۶).

قرار گرفت و برای به دست آوردن پهنه های هوازدگی از روش درون یابی استفاده شد. برای انتخاب بهترین روش درون یابی عناصر اقلیمی از تکنیک سمی واریوگرام استفاده شد. این تکنیک که نوعی خودهمبستگی مکانی است و براساس واریانس ساختاری، مدل مناسب سمی واریوگرام را بر داده ها برازش می کند، روش مناسبی برای

جدول ۲: شاخص های هوازدگی در شهر تهران

متغیرهای اقلیمی موثر در فرایند			فرایند هوازدگی
میانگین نم نسبی (ماههای گرم)	میانگین اختلاف دمایی (ماههای گرم)	میانگین ساعات آفتابی (ماههای گرم)	دما شکافتگی
میانگین اختلاف دمایی روزانه (ماههای سرد)	جمع بارش (ماههای سرد)	تعداد روزهای یخبندان (سالانه)	یخ شکافتگی

جدول ۳: عناصر سمی واریوگرام در داده های اقلیمی

دامنه تاثیر (Range) متر	حداکثر واریانس (sill)	واریانس تصادفی (Nugget)	مدل (Model)	متغیر
۹۶۵۳۹	۱۴۹,۴	۲۹,۸۹	کروی (Spherical)	ساعات آفتابی
۷۴۹۲۵	۳۱,۱۵	۰,۰۶	کروی (Spherical)	حداکثر دما (سلسیوس)
۱۲۵۶۱۴,۳۶	۶۳,۶۷	۱۹,۶۸	کروی (Spherical)	نم نسبی (درصد)
۷۹۳۱۷	۷۲,۳۹	۰,۰۹	کروی (Spherical)	روزهای یخ بندان
۵۹۹۷۵	۱۴۰,۳۴	۱,۹۴	کروی (Spherical)	جمع بارش (میلی متر)
۴۱۶۵۰	۶,۶۶	۰,۴۶	کروی (Spherical)	اختلاف دما

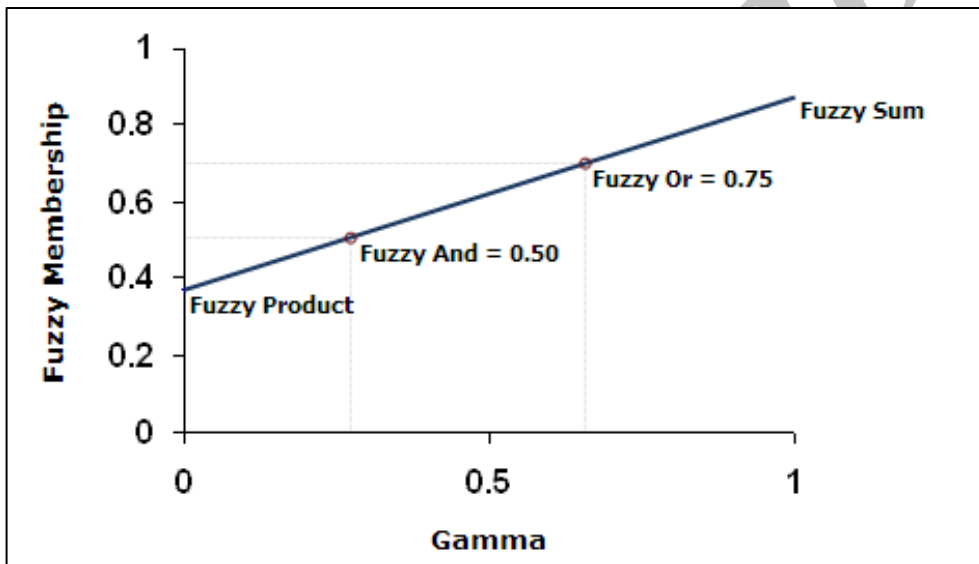
سازی متغیرها براساس تعیین درجه عضویت (رابطه ۱) انجام شد (ون آلفین و استوروگل،

برای تهیه نقشه هوازدگی، به دلیل عدم همگنی متغیرها، نیاز به یکسان سازی آنها بود. یکسان

تمام عضویت ها را در مدل پهنه بندی تخریب فراهم سازد. شکل ۲ رابطه تابع گاما را با توابع دیگر فازی نشان می دهد. استفاده از توابع جمعی یا ضربی فازی اگرچه در ترکیب متغیرها نقش مهمی دارد، اما رنج خاصی از عضویت ها را مورد استفاده قرار می دهد.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < \min \\ \frac{x-\min}{\max-x} & \min < x < \max \\ 1 & x > \max \end{cases}$$

رابطه (۱)



شکل ۲: رابطه تابع گاما و توابع دیگر فازی

دما شکافتگی براساس شکل ۳ جهت شمالشرقی و جنوبغربی دارد و حداکثر آن در غرب و جنوبغربی ملاحظه می شود.

چون در محاسبه یخ شکافتگی میزان بارش در زمستان و تعداد روزهای یخ بندان اهمیت پیدا می کند، لذا از تابع SUM برای ترکیب این دو متغیر استفاده شد و همچنین چون اختلاف دمای روزانه در وقوع یخ بندان و ذوب یخ نقش تشدید کنندگی دارد، برای ترکیب این متغیر با حاصل دو متغیر فوق از تابع Product استفاده شده است (رابطه ۴). با توجه به رابطه دوتابع فوق با یکدیگر

۲۰۰۰). سپس بر اساس تابع گوسین فازی عضویت ها تعدیل شد. این تابع عضویت ها را به توزیع نرمال تبدیل می کند. نقطه میانی از این توزیع، شرایط ایده آل را تعیین می کند و عضویت ۱ را برای آن منظور می شود. حرکت از نقطه میانی به دو جهت منفی و مثبت میزان عضویت را کاهش می دهد. پس از محاسبه عضویت ها، برای ترکیب لایه ها از تابع گاما استفاده شد تا حضور

در رابطه (۱) x ارزش متغیر در هر نمونه است. \max حداکثر و \min حداقل مقدار مشاهدات است.

از ترکیب میزان تابش، خشکی هوا و میزان حداکثر دما با تابع OR که از توابع جمعی فازی است، نقشه ترموکلاستی به دست آمد، زیرا عملکرد مکانیسم دما شکافتگی براساس انبساط و انقباض سنگها می گیرد، لذا تحت تاثیر حضور هر ۳ عامل فوق می باشد (رابطه ۲). برای دخالت خشکی هوا از معکوس نم نسبی و ترکیب عوامل فوق با گامای ۰/۹ استفاده شد (رابطه ۳). توزیع

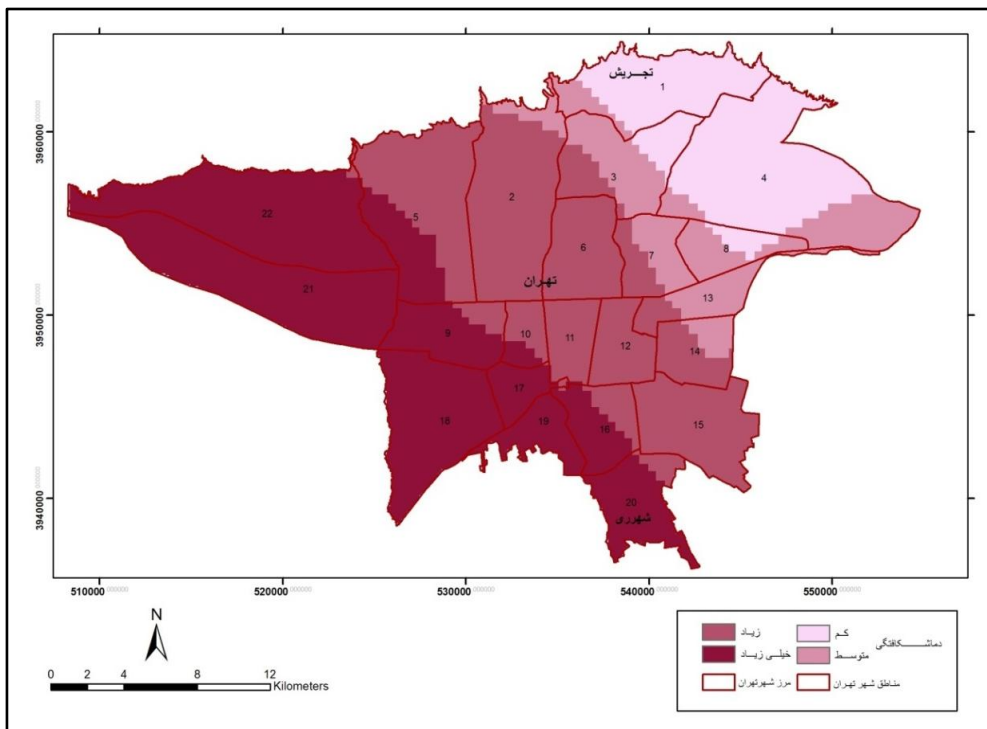
دهد. شدت این فرایند از جنوب تهران به شمال افزایش می یابد و حداکثر آن در شمالشرقی تهران مشاهده می شود (کینز، ۲۰۰۸).

(شکل ۳) از تابع گاما ۰/۸ برای به دست آوردن پراکنش کریوکلاستی در شهر تهران استفاده شد (چانگ و همکاران، ۲۰۰۸). شکل ۴ توزیع پراکنش کریوکلاستی را در شهر تهران نشان می

OR Function = $\max\{\mu(A), \mu(B)\}$ رابطه (۲)

Product Function = $\mu(A)\mu(B)$ رابطه (۳)

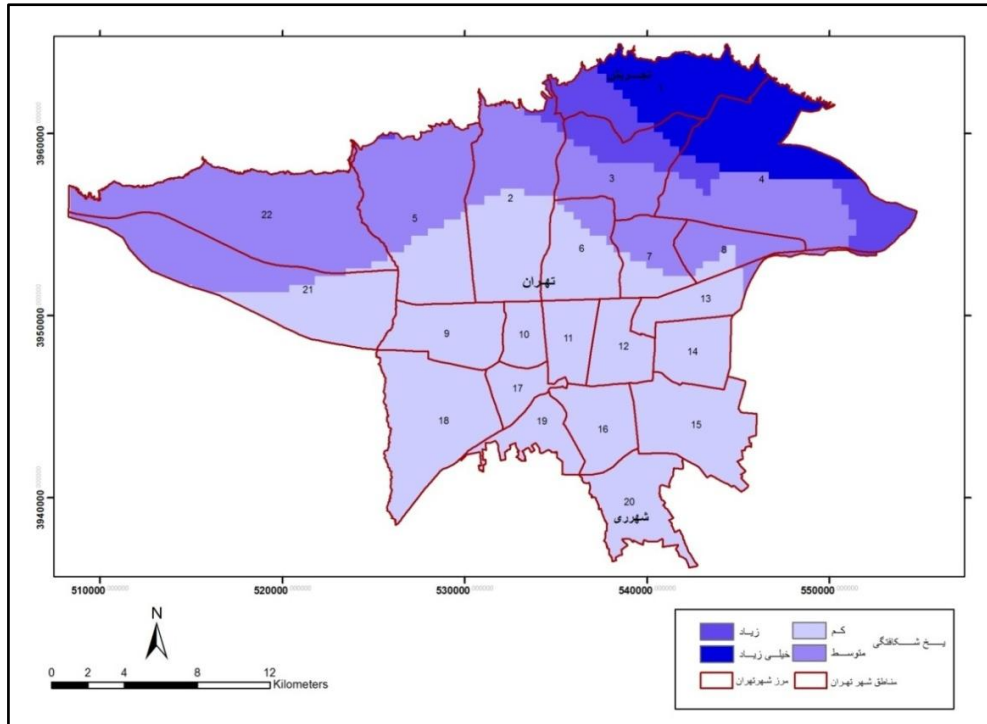
γ Function = $[\mu(A + B)]^\gamma [\mu(AB)]^{1-\gamma}$ رابطه (۴)



شکل ۳: قلمروهای ترموکلاستی در شهر تهران

مشاهدات میدانی براساس نمای ساختمان ها در ۳ طبقه نمای آجری، نمای سیمانی و نمای سنگی برای ساختمانهای حداقل با سن بیش از ۲۰ سال انجام شد. محلهای تهران که مورد بازدید قرار گرفت، شواهد هوازدگی فقط در بناهای قدیمی دنبال شد. شکل ۱ موقعیت مشاهدات میدانی را نشان می دهد.

برای دخالت نقش زمان در تغییرات سیستم ژئومرفیک، از قدمت سازه های شهری، تراکم زیاد و ناپایداری استفاده شد. این داده ها از بافت فرسوده تهران، مطالعه شده توسط مرکز مطالعات شهرداری استخراج شده بود. بافت فرسوده بخش هایی از تهران هستند که دارای قدمت بالا، تراکم زیاد و ناپایداری زیرساختهای شهری مطابق شاخصهای مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری می باشند.



شکل ۴: قلمرو های کریو کلاستی در شهر تهران

• تبدیل ارزش های رقومی به رادینانس طیفی بر اساس مرجع تابش طیفی (رابطه ۵):

$$L_{\lambda} = [(L_{max} - L_{min}) / (QCal_{max} - QCal_{min}) \times QCal + L_{min}] \quad \text{رابطه (۵)}$$

($QCal_{min} = 1$), ($QCal_{max} = 255$)
 $QCal_{min} = DN$

L_{max} و L_{min} تابش طیفی مرجع باند ۶ در DN به ترتیب معادل ۱ و ۲۵۵ برحسب $(W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$ است.

• محاسبه دمای روشنایی که از رابطه پلانک برای تبدیل مقادیر تابش طیفی به دمای جسم سیاه (BT) استفاده شد (رابطه ۶).

$$BT = \frac{K_2}{\left\{ LN \left[\frac{K_1}{L} + 1 \right] \right\}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در این رابطه BT دمای روشنایی^۱ سنجنده بر حسب کلوین، K_1 ثابت کالیبراسیون اول معادل ۶۶۶/۰۹ بر حسب $(W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$ ، K_2 ثابت کالیبراسیون دوم معادل ۱۲۸۲/۷۱ بر حسب

برای دخالت شاخص آلودگی از دو آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2) و اکسید نیتروژن (NO_2) استفاده شد. به دلیل افزایش وارینانس ساختاری، برای تهیه نقشه آلودگی از روش نزدیکترین همسایه در تکنیک اسپلاین استفاده شد. اسپلاین از توابع چند جمله ای است که عملکرد روندها را از طریق مشاهدات به وسیله چند جمله ای های x درجه متناسب می کند (اسلویتز، ۲۰۰۸).

به منظور تخمین صحیح تغییرات دمایی با توجه به کاربری تهران، دمای سطحی زمین محاسبه شد. برای این منظور تصویر مادون قرمز حرارتی با بهره بالای از سنجنده ETM^+ با شماره ردیف و گذر ۳۵ - ۱۶۴ در سیستم جهانی WRS با تعداد ۳۸۶۱ سطر و ۴۳۲۹ ستون در فریم اصلی مورد استفاده قرار گرفت. دمای سطحی زمین (LST) طی مراحل زیر محاسبه شد (ترونین، ۲۰۰۰) (قهرودی و خسروی، ۱۳۹۱).

1 - Brightness Temperature

یافته های تحقیق

همانطور که در بخش داده ها و روش تحقیق ذکر شد از ایستگاههای اقلیمی استان تهران و استانهای همجوار از روش کریجینگ مبتنی بر واریوگرافی در محاسبه عناصر اقلیمی استفاده شده است. مفهوم آن این است که شرایط فیزیکی شهر تهران اثر کمی بر توزیع عناصر اقلیمی گذاشت. نقشه های به دست آمده نیز حاکی از گستردگی قلمرو هوازدگی دارد و نشان می دهد که سیستم ژئومورفیک تهران بخشی از یک سیستم بزرگتر شکل زایی است.

عناصر آلاینده در هوازدگی با افزایش رطوبت آثار خود را در واکنش های شیمیایی نشان می دهند. پهنه های عناصر آلاینده SO_2 ، NO_2 که با روش درون یابی اسپلاین تهیه شده بود با تابع OR ترکیب شدند (شکل ۵). قلمرو آلودگی هوا، تهران را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم نموده است که حداکثر تراکم آن در قسمت جنوبی مشاهده می شود و بخش شمالی شهر شامل دو قسمت شرقی و غربی با حداکثر تراکم در بخش شرقی می باشد. احتمالاً نحوه توزیع آلاینده ها در رابطه با تراکم بافت و حمل و نقل شهری می باشد.

کلوین و L رادیانس طیفی بر حسب $(W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$ است.

• محاسبه گسیلمندی سطح^۱ و دمای سطح زمین. مقدار گسیلمندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح مورد نیاز است، چرا که دمای روشنایی به دست آمده از رابطه ۶، دمایی است که جسم سیاه به منظور تولید رادیانس معلوم در طول موج معلوم ($11.5\mu m$) دارد. برای تخمین دمای سطح از مدل ترکیبی درصد پوشش زمین استفاده شده است، با این فرض که خاک و پوشش گیاهی مقدار گسیلمندی را معلوم دارند و با توجه به درصد پوشش خود ترکیب می شوند. مقدار درصد پوشش گیاهی با استفاده از $NDVI$ محاسبه گردید (ترونین، ۱۹۹۶). مقدار گسیلمندی با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۷)} \quad \varepsilon = \varepsilon_V P_V + \varepsilon_S(1 - P_V) + d\varepsilon$$

$$\varepsilon_V = \text{گسیلمندی پوشش گیاهی}$$

$$\varepsilon_S = \text{گسیلمندی خاک}$$

$$P_V = \text{درصد پوشش گیاهی که با استفاده از رابطه}$$

$$\text{۸ محاسبه گردید:}$$

$$\text{رابطه (۸)} \quad P_V = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2$$

$$NDVI_{max} = 0/5 \quad \text{and} \quad -$$

$$NDVI_{min} = 0/2$$

$d\varepsilon$ = اثر توزیع هندسی سطوح طبیعی است، که

به صورت تقریبی با استفاده از رابطه ۹ به تهیه شد.

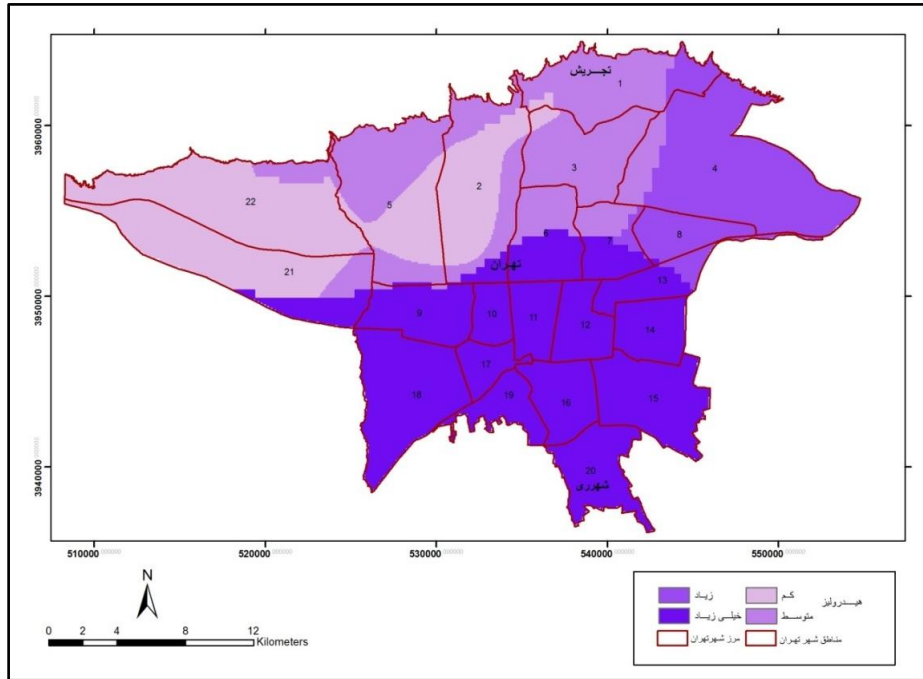
$$\text{رابطه (۹)} \quad d\varepsilon = (1 - \varepsilon_S) \times (1 - P_V) \times F$$

F = ضریب شکل است که مقدار میانگین آن با

فرض توزیع هندسی متفاوت سطوح، ۰/۵۵ است.

1 -Surface emissivity

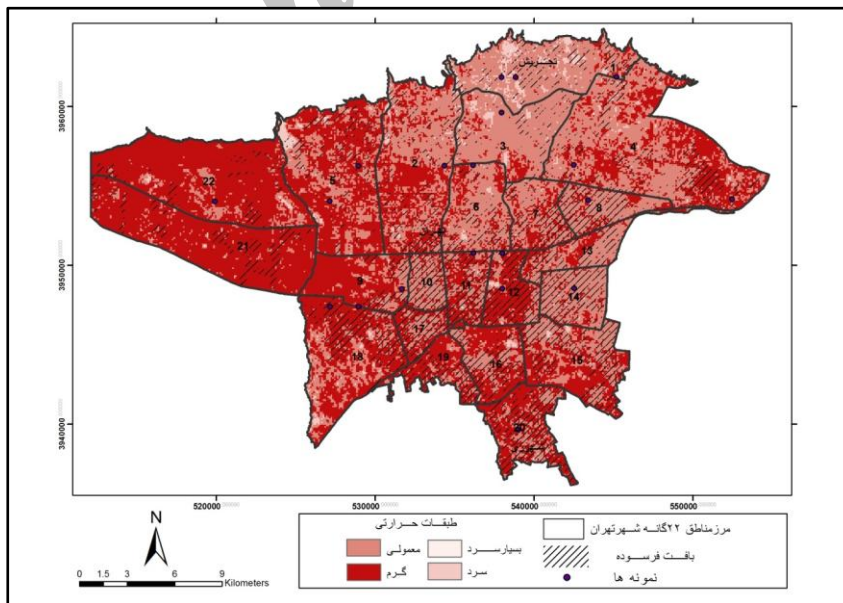
2 -Normalized Difference Vegetation Index



شکل ۵: پراکنش عناصر آلاینده SO_2 ، NO_2 در شهر تهران

لذا محاسبه دمای سطحی (شاخص LST) از تصاویر ترمال می تواند تغییرات دمای سطحی را نشان دهد. این تغییرات دما تابع کاربری و پوشش زمین است. چون انطباق دمای بالا در طول زمان می تواند آثار هوازدگی به همراه داشته باشد لذا دمای سطحی با بافت فرسوده ترکیب شده است (شکل ۶).

وضعیت پوشش زمین و نوع کاربری در محیط های شهری، عنصر دمای سطحی روزانه را تحت تاثیر قرار می دهد و شرایط دمایی در کلان شهر ها، هنگامی که با آلودگی هوا همراه شوند ماهیت هوازدگی در شهرهای بزرگ را تغییر می دهند. چون داده های دمایی مستخرج از ایستگاههای اقلیمی از محدوده ای بزرگتر استخراج شده است،



شکل ۶: پراکنش بافت فرسوده در طبقات دمای سطحی (LST)

بحث

ساختهای فرسودگی و قدیمی شهر نمایان می‌کند. با توجه به شکل ۶ و مقایسه آن با شکل ۵، انطباق بافت فرسوده با حداکثر دمای سطحی و حداکثر آلودگی در مرکز و جنوب تهران مشاهده می‌شود. همپوشانی نقشه‌ها نشان داد که بیش از ۶۳ درصد از بافت فرسوده تهران در قلمرو حداکثر آلودگی و دمای بالا قرار دارد. حضور رطوبت در این پدیده به دلیل تراکم ساختمانها و کاهش فضای باز قابل توجه است. بیش از ۷۰-۶۰ درصد از مناطق ۲۰، ۱۶، ۱۹، ۱۲، ۱۱، ۱۸، ۹ و ۱۵ تهران در انطباق بافت فرسوده، دمای بالا و آلودگی زیاد قرار دارد. که به استثنای منطقه ۱۵، بخشهایی از سایر مناطق مورد بازدید قرار گرفت. مشاهدات میدانی از انطباق بافت فرسوده، دمای بالا، آلودگی زیاد در نماهای ساختمانی حاکی از وجود هوازگی شیمیایی می‌نماید. شکل ۷ نمای ساختمان آجری را در میدان راه آهن است که آثار شوره بر سطح آجر، واکنش پذیری عناصر آن را نشان می‌دهد. شکل ۸ و ۹ نمونه‌هایی از نمای سنگی است که تخریب شیمیایی شدید، حفره حفره شدن و تغییر رنگ را نمایان می‌سازد. شکل ۱۰ و ۱۱ مربوط به نمای سیمانی است که بیش از نماهای دیگر درگیر تخریب شیمیایی شده است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد تهران در قلمرو هوازگی فیزیکی قرار دارد. قرار گیری تهران در پای دامنه‌های جنوبی البرز و کاهش ارتفاع از شمال به جنوب سبب شده تا آهنگ تغییر شدت فرآیندهای هوازگی شمالی-جنوبی باشد. چون عناصر مورد استفاده در تعریف کریو کلاستی مربوط به ماه‌های گرم سال است، لذا حداکثر شدت کریو کلاستی در شمال و حداکثر ترمو کلاستی در جنوب تهران مشاهده می‌شود. از طرفی به دلیل نقش دما در هردو پارامتر، تغییرات شرقی و غربی این دو فرآیند تابع ارتفاع می‌باشد. بنابراین در شمال شرق و شمال پدیده فرآیند غالب سیستم فرسایش کریو کلاستی می‌باشد. در غرب و جنوب غرب پدیده ترمو کلاستی حاکمیت دارد.

به دلیل تاثیر نقش پوشش و کاربری و عناصر آلاینده در دمای روزانه شهرها، شاخص LST برای بیان دمای سطحی تهران محاسبه شده است. با توجه به پهنه عناصر SO_2 و NO_2 انطباق بالایی بین این دو ملاحظه می‌شود. از طرفی نقش زمان، آثار هوازگی شیمیایی را در زیر



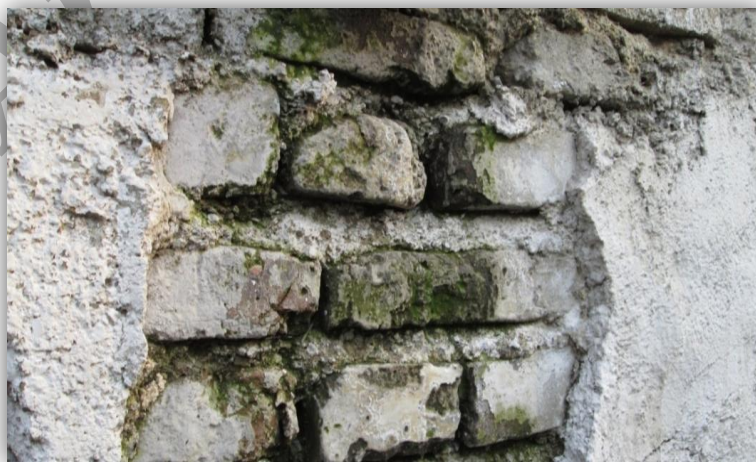
شکل ۷: آثار خوردگی سنگ، تغییر رنگ در اثر تخریب شیمیایی و آلودگی نمای آجری ساختمان، تهران میدان راه آهن، دی ماه ۱۳۹۱.



شکل ۸: تخریب شیمیایی شدید، تغییر رنگ و حفره شدن، بازدهی محل اتصال سنگ ها، نمای ساختمان، تهران، بهارستان، کوچه نظامیه، دی ماه ۱۳۹۱.



شکل ۹: حفره شدن و تغییر رنگ، بازدهی محل اتصال سنگ ها، نمای ساختمان، تهران، میدان هفتم تیر، خیابان سعدی، دی ماه ۱۳۹۱.



شکل ۱۰: هوازدهی شیمیایی شدید، آثار زیستی و ارگانیکی در اثر رطوبت، نمای آجری ساختمان، تهران، ۱۵ خرداد، دی ماه ۱۳۹۱.



شکل ۱: تجزیه و تخریب شیمیایی شدید، تغییر رنگ، پوسته شدن و خردشدگی دانه ای، نمای ساختمان، تهران، خیابان ابوسعید، دی ماه ۱۳۹۱.

نتیجه گیری

انسان با تغییر محیط سبب تغییر فرآیندهای اولیه در سیستمهای شکل زایی می شوند. کلان شهرها گسترده ترین اثر فعالیتهای بشری هستند. هسته های مرکزی کلان شهر به دلیل تراکم زیاد، وجود سوختههای فسیلی دارای حرارت بالا و آلودگی می باشند. از طرفی شهرها همانند حوضه های انتهایی منابع آب اطراف را به سمت خود می کشند و چون عمدتاً زهکشی مناسبی نیز ندارند. بنابراین رطوبت، دما و عناصر آلاینده، شرایط برای تجزیه سنگها را فراهم می کند. از سازه های شهری نمای ساختمانها بیش از همه در معرض این تخریب می باشند. تهران کلان شهری که بر بستری خشک و نیمه خشک گسترده شده است. بررسی شرایط اقلیمی دراز مدت نشان داد که شرایط تخریب فیزیکی در فصل سرد به صورت کریوکلاستی و در فصل گرم به صورت ترموکلاستی در پهنه تهران و اطراف آن غالب است، لیکن تراکم ساختمانها، تغییر کاربری و ترافیک سنگین شهری سبب افزایش دمای سطحی و آلودگی بویژه در بخشهای مرکزی و جنوبی شهر تهران شده است. این دو عامل به همراه رطوبت شهری سبب رخداد هوازدهی

شیمیایی در تهران شده است. آثار این پدیده در سازه های شهری، بویژه نمای ساختمانهای با بیش از ۱۵-۱۰ سال آشکار است. بنابراین بخش اعظمی از جنوب و مرکز تهران با اینکه در شرایط اقلیمی مساعد تخریب فیزیکی قرار دارند، اما شواهد حاکی از وجود میکرو سیستمی با حاکمیت فرسایش شیمیایی است. چون اساس سیستمهای ژئومورفیک بر فرآیندهای اولیه می باشد (بوچارد و جولیکوئیور، ۲۰۰۰) و فرآیندهای اولیه فعال در شمال تهران و حواشی تهران، مکانیکی و در مرکز و جنوب تهران (هسته قدیمی و متراکم تهران) هوازدهی شیمیایی است، لذا می توان چنین نتیجه گرفت که فرآیند برتر در سیستم ژئومورفیک تهران در حال تغییر است. با افزایش جمعیت تهران و در نتیجه افزایش تراکم، دمای سطحی و آلودگی، میکرو سیستم ژئومورفیک تهران گسترش می یابد. این تغییر سیستم هنگامیکه با مسائل ژئومورفیک دیگر تهران از جمله پدیده نشست، تبدیل جریانهای متمرکز به سفره ای به دلیل تسطیح زمین، همراه شود می تواند نتایج زیست محیطی غیر قابل پیش بینی را به همراه داشته باشد.

منابع

- قهرودی تالی، م.، ۱۳۸۴. "پهنه بندی قلمرو های هوازدگی سنگ ها در ایران با بکار گیری فناوری GIS". نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، ۸-۹ شهریور ۱۳۸۴.
- محمودی، ف.ا.، ۱۳۷۶. ژئومورفولوژی اقلیمی، دانشگاه پیام نور، ۳۷۰ ص.
- geomorphic condition of upland swamps in the Blue Mountains: Rehabilitation potential of these endangered ecosystems, in Grove, J.R and Rutherford, I.D (eds.) Proceedings of the 6th Australian Stream Management Conference, Managing for Extremes, 6 - 8 February, 2012, Canberra, Australia, published by the River Basin Management Society, p.1 - 8.
- Gregory, A., and Ronald, I., and Dixon, C., 1995. A new conceptual model for understanding geographical variations in weathering, *Annals of Association of American Geographer*, v. 22, p. 38- 64.
- Gregory, A., Pope, A., Thomas, C., Meierding, b., Thomas, I., and Paradise, R., 2002. *Geomorphology's role in the study of weathering of cultural stone*, a Department of Earth and Environmental Studies, Montclair State University, Upper Montclair, NJ 07043, USA, b Department of Geography, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA.
- Hgett, R.G., 2003. *Fundamentals of Geomorphology*, Routledge Fundamentals of Physical Geography, London, p.14-30.
- Inkpen, R. J., 1989. *Stone weathering and atmospheric pollution in a transect across Southern Britain*. Unpublished PhD thesis, University of London.
- Kainz, W., 2008. *GIS for Hazard Analysis Using Vague Data*, Chapter 1: Fuzzy Logic and GIS, Department of Geography and Regional Research, University of Vienna, Austria, p.5.
- قهرودی تالی، م.، خسروی، س.، ۱۳۹۱. کاربرد باندهای حرارتی در ارزیابی تغییرات دمایی خطواره ها، (مطالعه موردی: شمال شهر تهران) سی و یکمین گرد همایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- Alijani, B., Ghahroudi Tali, M., and Arabi, Z., 2008. *Developing a climate model for Iran using GIS.*, *Theoretical and Applied Climatology*, v.92, p.103-112
- Bouchard, M., and Jolicoeur, S., 2000. *Chemical weathering studies in relation to geomorphological research in southeastern Canada*. *Geomorphology*, v. 32, p. 213-238.
- Chang, Ni-Bin., Parvathinathan, G., and Breeden, J.B., 2008. "Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region". *Journal of Environmental Management*, v. 87, p. 139-153.
- Charola, A. E., 2004. 'Stone deterioration in historical buildings and monuments', in D. Kwiatkowski and R. L'ofvendahl (eds.), *10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, vol. I, ICOMOS, Sweden, Stockholm, p. 3-14.
- Dragovich, D., 1986. 'Weathering rates of marble in urban environments, eastern Australia', *Zeitschrift fur Geomorphologie*, v. 30, p.203-214.
- Fitzpatrick, F. A., Harris, T. L., Arnold, K., and Richards, D., 2004. *Urbanization influences on aquatic communities in northeastern Illinois Streams*. *Journal of American Water Resources Association* , v.40, p.461-475.
- Fowler, R., and Petersen, J., 2003. *A Spatial Representation of Louis Peltier's Weathering, Erosion and Climatic Graphs Using Geographic Information Systems (GIS)*, GEO 5419, *Advanced GIS II*. Spring.
- Fryirs, K., Freidman, B., and Kohlhagen, T., 2012. *The formation and*

- Journal of Remote Sensing, v. 17, p.1439-1455.
- Tronin, A. A., 2000. Thermal IR satellite sensor data application for earthquake research in China. International Journal of Remote Sensing, v. 21, p. 3169-3177.
- Vanalphen, B., and Stoorvogel, J. J., 2000 . A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture . soil science society of American Journal, v.64, p. 1706-1713.
- Winer, A., wa, J., and Delfino,R., 2006. Exposure assessment of particulate matter air pollution before during after the 2003 southern California wildfiers. Atmospheric Environment 40.
- Panizza, M., 1996. Enviromental Geomorphology, Elsevier. Mondena, Itali, v.56, p. 200-209.
- Peltier, L. C., 1950. The Geographic Cycle in Periglacial Regions as it is Related to Climatic Geomorphology, Annals of the Association of American Geographers, v. 40, p. 214-236.
- Sluiter, R., 2008. Interpolation methods for climate data. KNMI, RandD Information and Observation Technology.
- Tronin, A.A., 1996. Satellite thermal survey—a new tool for the study of seismoactive regions. International

Archive of SID