

صص ۴۱-۱۹

روند تغییرات توسعه فیزیکی شهر بابلسر از طریق تصاویر ماهواره لند ست سال ۲۰۲۱-۱۹۷۵**محمد رضا یوسفی روشن***

استادیار گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

محمد معتمدی راد

استادیار گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

محمد دیمه ور

مریبه گروه آموزش علوم تجربی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۱۰

چکیده

نظارت بر تغییرات مناطق شهری نیازمند تصاویری از زمان‌های مختلف است. گسترش فیزیکی شهرها یک فرایند پویا و پیوسته است که در آن مرزهای شهر و فضای فیزیکی آن افزایش می‌یابد. با تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره چند زمانه، سنجش از دور چشم‌انداز منحصر به فردی از نحوه توسعه شهرها را در طول ۵۰ سال اخیر ارائه می‌دهد. پژوهش حاضر به بررسی روند تغییرات توسعه فیزیکی شهر بابلسر از طریق تصاویر ماهواره لند ست می‌پردازد. برای این منظور تصاویر ماهواره لند ست ۸ سال ۲۰۲۱، لند ست ۵ سال‌های ۱۹۹۹ و ۱۹۸۶ و لند ست ۲ سال ۱۹۷۵ استفاده شد. علاوه بر این سنجنده‌های نسل اول MSS، نسل دوم TM، نسل سوم ETM+ و نسل چهارم OLI در این پژوهش بکار گرفته شد. برای پردازش تصاویر ماهواره از نرم‌افزار ENVI و Arc GIS استفاده گردید. تصحیح رادیو متریک، تصحیح اتمسفری، محاسبه شاخص‌های طیفی، طبقه‌بندی نظارت شده، استخراج کلاس شهری، تلفیق نتایج طبقه‌بندی، کاهش نویز داده‌های طبقه‌بندی در تصاویر ماهواره صورت گرفت و روند توسعه فیزیکی و نقشه چند زمانه توسعه شهر از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۱ تولید شد. نتایج حاصله بیانگر این است که مساحت شهر بابلسر از ۷۶۷/۴۴ هکتار سال ۱۹۷۵ به ۱۷۷۴ هکتار در سال ۲۰۲۱ رسیده؛ در این بازه زمانی ۱۰۰۶/۵۶ هکتار بر مساحت شهر افزایش یافته است. در حال حاضر تصاویر ماهواره لند ست به‌عنوان بهترین گزینه برای پایش و توسعه شهری در بازه‌های زمانی طولانی مدت محسوب می‌شود. لذا یافته‌های پژوهش از طریق سنجش از دور می‌تواند جهت توسعه آتی شهر بابلسر به کار برده شود.

واژگان کلیدی: توسعه فیزیکی، شهر بابلسر، تصاویر ماهواره، لند ست، نقشه چند زمانه.

مقدمه

توانایی جمع‌آوری تصاویر از یک منطقه از سطح زمین در دوره‌های مختلف، یکی از مهم‌ترین عناصر برای استفاده از داده‌های سنجش از دور است. ویژگی‌های طیفی ممکن است در طول زمان تغییر کنند و این تغییرات را می‌توان با جمع‌آوری و مقایسه تصاویر چند زمانه شناسایی کرد. توانایی ما برای نظارت بر این تغییرات دقیق با استفاده از سنجش از دور بستگی به زمان و چگونگی جمع‌آوری تصاویر دارد. با تصویربرداری به‌طور مداوم در زمان‌های مختلف، ما قادر به نظارت بر تغییراتی که در سطح زمین به‌صورت طبیعی یا انسانی رخ می‌دهد هستیم (ولیزاده کامران و همکار، ۱۳۹۸: ۴۵). رشد جمعیت شهرها همواره با تغییراتی در کالبد و محیط‌زیست شهری همراه بوده است. افزایش جمعیت باعث افزایش ساخت و سازهای شهری، به‌خصوص واحدهای مسکونی شده و این عامل به‌نوبه خود باعث تغییر سایر کاربری‌ها به اراضی ساخته می‌شود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۸). اطلاعات از تصاویر چندگانه که طی یک دوره زمانی گرفته شده است، به‌عنوان اطلاعات چند زمانه نامیده می‌شود. چند زمانه ممکن است به تصاویری که روزها، هفته‌ها یا حتی سال‌ها از هم تفکیک شده‌اند، اشاره کرد. نظارت بر تغییر سطح زمین یا رشد مناطق شهری نیازمند تصاویری از زمان‌های مختلف است (ولیزاده کامران و همکار، ۱۳۹۸: ۱۸۷). با تجزیه و تحلیل‌های چند زمانه، سنجش از دور چشم‌انداز منحصر به فردی از نحوه توسعه شهرها ارائه می‌دهد (ولیزاده کامران و همکار، ۱۳۹۸: ۲۳۲). توسعه فیزیکی و رشد جمعیتی شهرهای ایران تا چند دهه پیش روند افزایشی هماهنگ و متعادلی داشته است. تحولاتی که در حوزه‌های اقتصادی و اجتماعی صورت گرفته، رشد و توسعه فضایی شهرها را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است (حسین‌اف و همکاران، ۱۳۸۲: ۹۲). نرخ رشد شهری مهم‌ترین پدیده تغییر شکل سکونتگاه‌های انسانی در کشورهای در حال توسعه می‌باشد و نیاز به مدیریت بهتر برای این رشد توسط اشخاص، اجتماعات و حکومت‌ها حیاتی است. در این کشورها، شهرها به‌طور معمول دوسوم افزایش جمعیت کل و بیش‌تر از نصف رشد جمعیت شهری و در نتیجه افزایش طبیعی و مهاجرت روستا به شهر را جذب می‌کنند (Mc Gill, 464, 1998). رشد جمعیت شهرها همواره با تغییراتی در کالبد و محیط‌زیست شهری همراه بوده است. در ایران سیاست‌های رشد جمعیت در دوره‌های خاص، جاذبه زیاد شهرها و وجود عوامل دافعه در روستاها و به‌تبع آن‌ها رشد مهاجرت از روستاها به شهرها، باعث تغییرات شگرفی در جمعیت شهرها گردیده است. این افزایش جمعیت باعث افزایش ساخت و سازهای شهری، به‌خصوص واحدهای مسکونی شده و این عامل به‌نوبه خود باعث تغییر سایر کاربری‌ها به اراضی ساخته می‌شود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۸۰). با توجه به اهمیت موضوع در زمینه مطالعه توسعه فیزیکی شهر مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است. احد نژاد روشنی و همکاران (۱۳۹۰)، به ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهر تبریز با استفاده از تصاویر چند زمانه و GIS در مقطع زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۹ پرداختند. بر اساس نتایج مشخص شد که گسترش کالبدی - فضایی شهر تبریز در امتداد شرقی و غربی است. مجرد و حسینی فرد (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان «مکان‌یابی نواحی مساعد برای توسعه فیزیکی کلان‌شهر تهران بر مبنای عناصر اقلیمی و عوامل جغرافیایی» به مکان‌یابی بهینه نواحی مناسب برای توسعه فیزیکی شهر تهران پرداختند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و با دو روش تحلیل مکانی و

تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی مکانی و همچنین تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های تناسب توسعه فیزیکی منطقه را ترسیم نمودند. ملکی و عزیزی (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان «تنگناهای طبیعی توسعه فیزیکی شهر پاوه با تأکید بر عوارض ژئومورفولوژی» با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیای و نیز مدل AHP توسعه فیزیکی شهر پاوه را در دوره‌های ۵۰ ساله و در ارتباط با عوارض ژئومورفولوژی و توپوگرافی بررسی نمودند. حیدریان و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی با عنوان تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و مدل LCM با رویکرد مدل‌سازی توسعه شهری (نمونه موردی: کلان‌شهر تهران) به مدل‌سازی توسعه کلان‌شهر تهران با استفاده از مدل LCM در دوره ۱۱ ساله ۱۳۸۵ - ۱۳۷۴ پرداختند. نتایج در این پژوهش نشان داده است که بیشترین افزایش مساحت مناطق مسکونی (۴۶۰۳/۶۸ هکتار) و بیشترین کاهش مساحت در زمین باز (۴۵۶۱/۴۷ هکتار) رخ داده است. همچنین نتایج نشان داده است که بیشترین میزان توسعه در سال ۱۳۹۶ به ترتیب در بخش‌های غرب و شرق کلان‌شهر تهران رخ می‌دهند. مشکینی و تیموری (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «سنجش گستردگی شهری و تأثیر آن بر تغییرات کاربری اراضی» با استفاده از RS و GIS گستردگی فضایی کلان‌شهر کرج را مورد ارزیابی و تحلیل قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش نشان از رشد بی‌قواره کلان‌شهر کرج و عامل جمعیت بیشترین تأثیر را بر این عامل داشته است. ایمانی هرسینی و همکاران (۱۳۹۶)، روند تغییرات پوشش کاربری اراضی استان همدان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۸۹ و سال ۲۰۰۸ میلادی مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش نقشه پوشش اراضی سال ۱۴۰۷ برای استان همدان به دست آمده و نتایج نشان‌دهنده روند کاهشی پوشش کاربری اراضی طبیعی و تبدیل به کاربری‌های انسانی است. کریمی و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندن ست سال ۱۳۶۸ و تصویر ماهواره‌ای ۱۳۹۰ به بررسی روند رشد فیزیکی و جهت‌گسترش شهر اردبیل پرداختند. به همین منظور پس از پردازش تصاویر ماهواره‌ای این نتیجه به دست آمد که رشد فیزیکی شهر اردبیل بعد از مرکزیت سیاسی شتاب زیادی به خود گرفته است و در طی رشد فیزیکی شهر، زمین‌های زراعی اطراف شهر به زیرساخت و سازه‌های شهری رفته است. مولائی هشتجین و علینقی پور (۱۳۹۹) روند تغییرات کاربری اراضی را در شهرستان رشت مورد مطالعه قرار دادند. جهت انجام این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندن ست در بازه زمانی ۱۵ ساله استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد که با گذشت زمان به مساحت کاربری‌های انسان ساخت و کشاورزی اضافه شده و در مقابل از مساحت کاربری‌های اراضی بایر جنگلی و آبی کاسته شده است. نگهبان و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر چند زمانه به پایش و پیش‌بینی روند تغییرات نواحی سکونتگاهی در شهر سنقر پرداختند. دنبائی داریان و ریاحی (۱۴۰۰) در مقاله‌ای تغییرات کاربری اراضی شهرستان آذرشهر را بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر لندن ست مورد بررسی قرار دادند. رحیم‌پور و رضائی‌مقدم (۱۴۰۰) روند تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز فیروزق را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندن ست مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش تصاویر ماهواره‌ای لندن ست برای چهار دوره (سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که کلاس کاربری مناطق ساخته شده (شهری - روستایی) در طول دوره آماری مورد مطالعه روند افزایشی داشته است به طوری که از ۳۴۶/۵ هکتار در سال ۱۹۸۵ به ۱۲۳۷ هکتار در سال ۲۰۲۰

رسیده است. ورامش و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی و پیش روند گسترش فیزیکی سی ساله شهر اردبیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند، در این مدت مساحت اراضی ساخته شده اردبیل از ۲۰/۰۲ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۷ به ۴۱/۵۸ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۷ افزایش داشته است؛ شهر اردبیل در بازه زمانی سی ساله گسترش نامتوازی داشته است. لطفعلی زاده لاهرودی (۱۴۰۲) به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز شهر چای ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لند ست پرداخت، نتایج نشان داد که مساحت مناطق مسکونی در سال ۱۹۹۵، ۲۷۸۴/۵۶ هکتار بوده است که این میزان در سال ۲۰۲۱ به ۵۷۳۵/۶۱ هکتار رسیده است. ابراهیمی و ملکی (۱۴۰۲) در مقاله به ارزیابی روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شهر هندیجان پرداختند، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داده است وسعت نواحی سکونتگاهی شهر هندیجان در طی دوره زمانی ۳۰ ساله حدود ۱/۶ کیلومترمربع افزایش داشته است. اصباح (, Esbah, 2007) تغییرات کاربری زمین را در توسعه سریع شهر نشینی در شهر آیدین ترکیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لند ست و اسپات مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که نواحی شهری به ضرر اراضی کشاورزی در حال رشد هستند. ماریتانی و همکاران (Maithani et al, 2007) در پژوهشی با هدف پیش‌بینی تغییرات مکانی شهر ساراهانپور در دوره ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۱، مدلی بر اساس شبکه‌های مصنوعی ایجاد کردند. در این پژوهش از سنجش از دور برای دستیابی به تغییرات کاربری شهری، از GIS برای تهیه نقشه تغییرات کاربری شهری و متغیرهای ورودی برای وارد کردن به مدل ANN استفاده شده است. نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که مدل با صحت کلی ۶۶/۵۶ درصد قادر به پیش‌بینی رشد مناطق شهری است. دوان و یاماگوچی (Dewan and Yamayuchib, 2009) در مقاله‌ای تغییرات کاربری اراضی در بنگلادش را بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۳ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که گسترش مناطق ساخته شده باعث کاهش سطوح آب و از بین رفتن پوشش گیاهی شده است. لئو و همکاران (Liue et al (۲۰۱۱) تأثیرات تغییر کاربری زمین را در ناحیه شهری چانگشا چین بررسی کردند؛ آنان از دو سری اطلاعات لند ست TM در سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۰ و اطلاعات کاربری زمین در پنج ناحیه شهری از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ برای ارزیابی تغییرات پنج رده کاربری زمین استفاده کردند. واکود و همکاران (Wakode et al , 2013) به ارزیابی گسترش شهری حیدرآباد هند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لند ست و GIS اقدام کردند. " گنگ " از ترکیب مؤلفه‌های اصلی و مجموعه‌های فازی اقدام به ارزیابی تغییرات در بخشی از شهر انتاریو کانادا نموده است و با این روش اطلاعات مربوط به تغییرات را که در چند مؤلفه پراکنده بود در یک تصویر نشان داد (Gong, 1993). ریتسه و همکاران (Ritse et al, 2020) در پژوهشی به بررسی تغییرات پوشش زمین در شرق هیمالیا و شمال شرقی هند می‌پردازند پژوهش حاضر تغییرات کاربری زمین را در نواحی Kohima و Dimapur در ناگالند، هند مورد ارزیابی قرار می‌دهند برای طبقه‌بندی تصاویر از تکنیک طبقه‌بندی نظارت شده به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که مناطق ساخته شده در هر دو منطقه طی ۱۹۹۸-۲۰۱۸ افزایش چشم‌گیری داشته است. از سوی دیگر زمین زراعتی و زمین جنگلی در هر دو منطقه روند کاهشی داشته است ونگ و همکاران (Wang et al, 2020) در پژوهشی به شناسایی و پیش‌بینی تغییر کاربری و پوشش زمین در ناحیه کاتماندو نپال با استفاده از سنجش از دور و GIS می‌پردازند. نتایج نشان می‌دهد

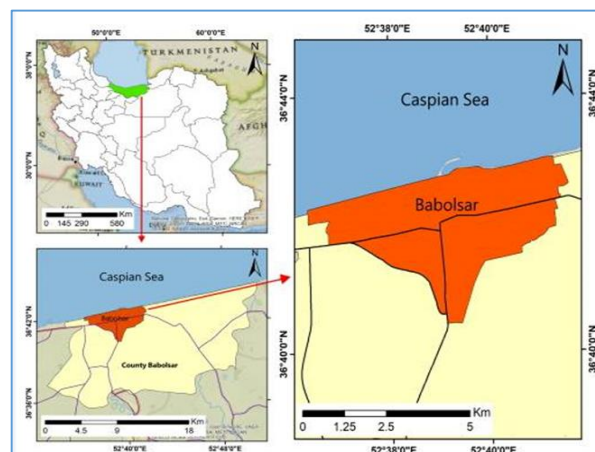
طی یک دوره ۲۰ ساله از (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰)، منطقه کاتماندو ۹/۲۸ درصد از جنگل‌های خود، ۹/۸۰ درصد از زمین‌های کشاورزی و ۷۷ درصد از بدنه‌های آبی خود را از دست داده است که ۵۲/۴۷ درصد از این زمین‌ها توسط نواحی شهری در حال گسترش جذب شده است. به‌منظور استفاده بهینه از منابع زمینی، کسب اطلاعات از پتانسیل زمین ضروری به نظر می‌رسد که با توجه به دگرگونی‌های عمده در شیو استفاده از زمین، تصاویر چند طیفی فناوری سنجش از دور به‌عنوان ابزاری مهم در بررسی این تغییرات ظاهر شده است (Mansourmoghaddam et al. 2022). شهر بابلسر با دارا بودن جاذبه‌های طبیعی، صنعتی، اقتصادی، گردشگری و دانشگاهی استان مازندران، طی سال‌های اخیر و تحت تأثیر عواملی مانند رشد جمعیت، ورود مهاجران و گردشگران، رشد بسیاری داشته است. این روند منجر به ساخت و سازهای بدون برنامه، تغییرات زیاد در ساختار فضایی - کالبدی شهر و گسترش آن در نوار ساحلی و زمین‌های کشاورزی اطراف آن شده است (لطفی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۷). واگذاری زمین شهری در غرب شهر بابلسر و ساخت و سازهای انجام شده در آن، توجه به بخش آموزش عالی در شهر و توجه نسبی به بخش‌های گردشگری، شیلات و صنایع، منجر به توسعه فضایی جمعیت و کارکردها شده‌اند (نوائی، ۱۳۸۱: ۱۵۳). الگوی توسعه شهر بابلسر به‌صورت خطی و در امتداد محورهای اصلی ارتباطی شهر می‌باشد که خود از عواملی مانند دریا و رودخانه تاثیرپذیرفته است (قرخلو و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۲). لذا با توجه به موارد ذکر شده و کاربردهای نرم‌افزارهای سنجش از دور و دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای، در این پژوهش به روند تغییرات توسعه فیزیکی شهر بابلسر از طریق تصاویر ماهواره لند ست در دوره زمانی ۲۰۲۱-۱۹۷۵ میلادی پرداخته شد؛ یافته‌های پژوهش از طریق سنجش از دور می‌تواند، میزان رشد و گسترش شهر را ارزیابی کند و برای توسعه آتی شهر بابلسر برنامه‌ریزی کرد.

داده‌ها و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش شهر ساحلی بابلسر واقع در شمال ایران در استان مازندران مورد مطالعه قرار گرفته است. شهر بابلسر در طول جغرافیایی "۳۶° ۴۵' تا ۵۲° ۳۰' ۴۱" و عرض جغرافیایی "۳۶° ۳۸' ۳۰" تا ۳۶° ۴۲' ۴۵" واقع شده است (شکل ۱). مساحت شهر بابلسر ۷۴/۱۷ کیلومترمربع (۱۷۷۴ هکتار) است. ارتفاع شهر بابلسر در ایستگاه هواشناسی ۲۱- متر می‌باشد، ارتفاع بیشتر شهرها و نقاط شمال ایران (گلستان، مازندران و گیلان) و سطح تراز آب دریای خزر نسبت به آب‌های آزاد (خلیج فارس) پائین تر است. میانگین سالانه بارش منطقه طی دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۵۱ میلادی، ۸۹۰/۳ میلی‌متر بوده و ماه‌های فصل پاییز بیشترین مقدار میانگین بارش ماهانه و ماه‌های فصل بهار کمترین میانگین بارش ماهانه را داشته‌اند. میانگین دمای سالانه در دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۵۱ میلادی در ایستگاه بابلسر ۱۷ درجه سانتی‌گراد بوده است (یوسفی روشن و عمونیا، ۱۴۰۱: ۱۳۰). از ویژگی‌های شاخص زمین‌شناسی ناحیه، قرارگیری در زون زمین‌ساختی فعال خزر - البرز تحت عنوان (گرگان - رشت) است. این زون از رسوبات دوره کواترنر پوشیده شده است. عوامل مختلفی مانند فرونشینی

کف گودال جنوبی دریای خزر، میزان آب رودخانه‌ها، مقاومت سنگ‌ها، نوارهای ماسه‌ای ساحلی و ساختمان زمین‌شناسی در شکل‌گیری سواحل جنوبی دریای خزر نقش دارند (عالایی طالقانی، ۱۳۸۱: ۳۲۹). از لحاظ رسوب‌شناسی محدوده رودخانه بابل رود، انباشت‌های غالباً دلتایی دوره کواترنری پوشیده شده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۷). نوسانات آب دریای خزر در دوره کواترنر موجب شکل‌گیری جلگه ساحلی شده است. در طی ۲۵۰۰ تا ۲۰۰۰ سال گذشته سطح آب دریای خزر از ۲۵- متر پایین‌تر نرفته است و ریخت کنونی و توازن هیدرولوژیکی دریای خزر از این زمان صورت گرفته است (احمدی و فیض‌نیا، ۱۳۷۸). در محل برخورد بابل رود با دریا دلتایی در این جلگه شکل گرفته که شامل رسوبات رس و ماسه و بقایای موجودات زنده لب‌شور در چینه‌شناسی آن‌ها وجود دارد. شهر بابلسر بر روی دلتای بابل رود شکل گرفته است (اسماعیلی، یوسفی روشن، ۱۳۹۱: ۱۷). جمعیت شهر بابلسر ۵۹۹۶۶ نفر و تعداد خانوار آن ۱۹۵۷۶ می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). مساحت شهر بابلسر در سال ۱۳۵۵، ۷۶۷/۴۴ هکتار و در سال ۱۴۰۰، به ۱۷۷۴ هکتار افزایش یافت.



منبع: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت شهر بابلسر در کشور، استان مازندران و شهرستان

روش‌ها

فرآیند توسعه شهرها در حال حاضر به دلیل افزایش جمعیت مناطق شهری یکی از مهم‌ترین موضوعات پیشروی پژوهشگران مسائل شهری است. در حال حاضر سنجش از دور بهترین ابزار برای پایش تغییرات محیطی و فیزیکی بوده که از سرعت و دقت بالایی در مقایسه با سایر روش‌ها برخوردار می‌باشد. دسترسی آسان به تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای پردازش آن؛ مشاهده میدانی تغییرات صورت گرفته در طول چند سال گذشته در شهر بابلسر، سبب اصلی انتخاب موضوع پژوهشی شده است. با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این پژوهش ارزیابی و تحلیل تغییرات رشد فیزیکی شهر بابلسر می‌باشد. روش پژوهش پژوهش حاضر توصیفی- تحلیلی و جهت بررسی رشد و توسعه فیزیکی منطقه مورد مطالعه در دوره آماری بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۱ از طریق سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای محاسبه گردید. تصاویر ماهواره لند ست از وب‌سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا <https://earthexplorer.usgs.gov> دانلود گردید.

بعد از دانلود تصاویر ماهواره‌ای لند ست سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۸۶، ۱۹۹۹ و ۲۰۲۱، در نرم‌افزار ENVI ورژن ۵/۳ تصحیح رادیو متریکی، تصحیح اتمسفری، محاسبه شاخص‌های طیفی، محاسبه شاخص ndvi، محاسبه شاخص ndbi، طبقه‌بندی نظارت شده، استخراج کلاس شهری، تلفیق نتایج طبقه‌بندی، کاهش نویز داده‌های طبقه‌بندی و تولید نقشه چند زمانه شهری انجام شد. در این محصول، از نرم‌افزار ENVI5.3 به‌عنوان نرم‌افزار استفاده شده است. انوی یکی از نرم‌افزارهای مادر در علم سنجش از دور است و به‌عنوان یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهای تجاری در زمینه پردازش تصاویر ماهواره‌ای شناخته شده است. با استفاده از این نرم‌افزار تمامی ابزارهای پردازش‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای را به‌صورت یک‌جا در دسترس است. در این پژوهش از تصاویر تمامی ماهواره‌های سری لند ست بکار گرفته شده است. به‌منظور پایش توسعه فیزیکی شهری در بازه‌های زمانی طولانی مدت، عموماً از تصاویر لند ست استفاده می‌شود. در حال حاضر لند ست به‌عنوان بهترین گزینه برای پایش توسعه فیزیکی شهری در بازه‌های زمانی طولانی مدت محسوب می‌شود. لند ست تنها ماهواره‌ای است که طولانی‌مدت‌ترین تصاویر ماهواره‌ای با جزییات مکانی مناسب برای مطالعه شهرها را فراهم ساخته است (جدول ۱).

جدول ۱. تصاویر ماهواره لند ست، سنجنده‌ها، توان تفکیک مکانی، رادیو متریکی، توان تفکیک زمانی و تعداد باندها

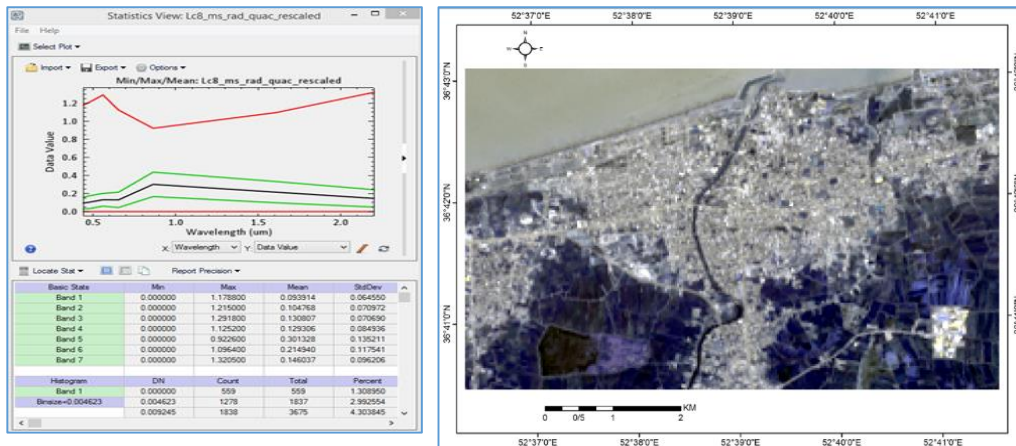
لند ست ۲	لند ست ۵	لند ست ۷	لند ست ۸
نسل اول ماهواره‌های سری لند ست	نسل دوم ماهواره‌های سری لند ست	نسل سوم ماهواره‌های سری لند ست	نسل چهارم ماهواره‌های سری لند ست
سنجنده MSS	سنجنده TM	سنجنده ETM+	سنجنده‌های OLI/TIRS
توان تفکیک مکانی: ۸۰ متر	توان تفکیک مکانی: ۳۰ متر	توان تفکیک مکانی: ۳۰ متر	توان تفکیک مکانی: ۳۰ متر
توان تفکیک رادیو متریکی: ۶ بیت	توان تفکیک رادیو متریکی: ۸ بیت	توان تفکیک رادیو متریکی: ۸ بیت	توان تفکیک رادیو متریکی: ۱۶ بیت
توان تفکیک زمانی ۱۸ روزه	توان تفکیک زمانی ۱۶ روزه	توان تفکیک زمانی ۱۶ روزه	توان تفکیک زمانی ۱۶ روزه
تعداد باند: ۴	تعداد باند: ۷	تعداد باند: ۸	تعداد باند: ۱۱
ماهواره‌های لند ست ۱ تا ۳ همگی جزو نسل اول ماهواره‌های سری لند ست بوده و در تمامی آن‌ها از سنجنده MSS استفاده شده است.	لند ست ۵ و ۴ هر دو از نسل دوم ماهواره‌های سری لند ست هستند و سنجنده TM به‌صورت یکسان در هر دو استفاده شده است.		

منبع: (وب‌سایت <https://earthexplorer.usgs.gov>)

بحث و یافته‌ها

در این پژوهش تصاویر ماهواره لند ست ۸ سال ۲۰۲۱، لند ست ۵ سال ۱۹۹۹ و ۱۹۸۶ سنجنده TM و تصاویر ماهواره سال ۱۹۷۵ از سنجنده MSS ماهواره لند ست ۲ استفاده شد. هدف این پژوهش به‌کارگیری همه نسل‌های تصاویر ماهواره‌ای لند ست، نسل اول MSS، نسل دوم TM، نسل سوم ETM+ و نسل چهارم OLI است. با توجه به اینکه داده‌های ETM+ بسیار نویزی هستند جهت حفظ کیفیت خروجی داده‌ها برای سال ۱۹۹۹ به‌جای لند ست ۷، از داده‌های لند ست ۵ استفاده گردید. در گام نخست تصاویر ماهواره لند ست ۸ در نرم‌افزار ENVI5.3 فراخوانی شد، تصحیحات رادیو متریک باندهای مالتی اسپکترال (باندهای ۱ تا ۷)، باندهای چند طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز بازتابی، از طریق

شیب فایل شهر بابلسر؛ تصاویر برش زده شد. در بخش تصحیحات رادیو متریکی، تصاویر به کمیت فیزیکی تبدیل شد (شکل ۲).



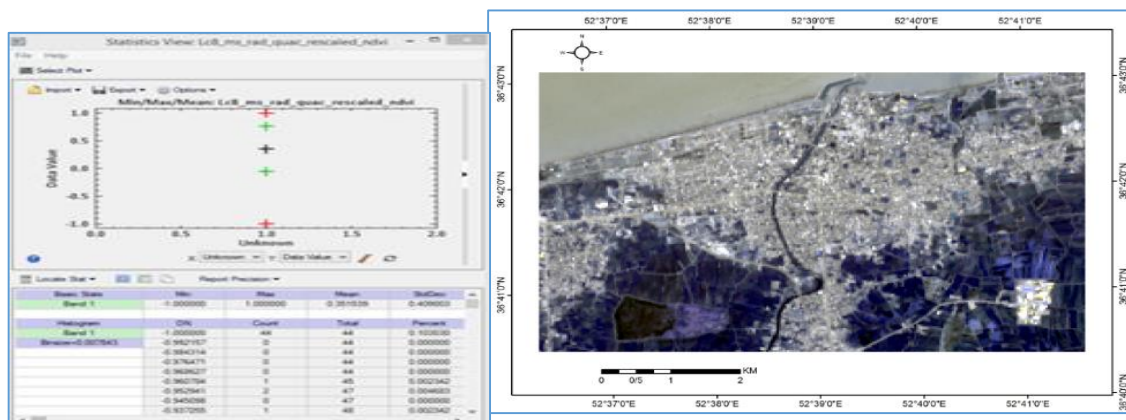
منبع: نگارندگان

شکل ۲. نقشه تصحیحات اتمسفری و رادیو متریک تصاویر لند ست ۸ و تصویر Rescaled شده منطقه مورد مطالعه

بعد از اثر پخش و جذب امواج الکترومغناطیسی از روی تصاویر رادیانس، فرایند Rescaled انجام شد که تمام باندها تصویر لند ست ۸ را که تصحیح اتمسفر شده را در عدد ۰/۰۰۰۱ ضرب که دامنه مقادیر کوچکتر و جنس مقادیر Flood تبدیل شد. فرمول به صورت

$$b_1 \times 0/0001$$

نوشته شد و عدد از دست رفته در محاسبات نداریم (شکل ۳).



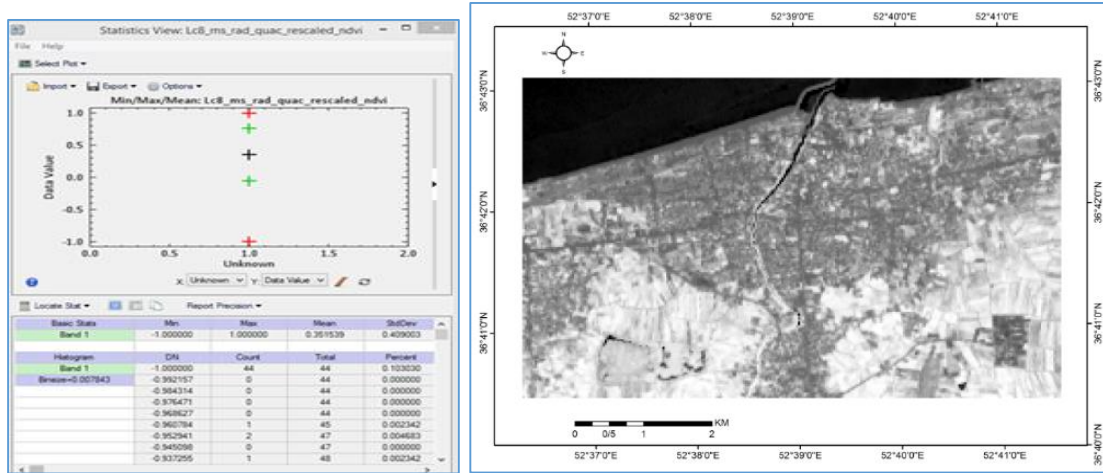
منبع: نگارندگان

شکل ۳. تصویر NDVI منطقه مورد مطالعه و دامنه مقادیر NDVI بین +۱ تا -۱

بعد از تولید نقشه Rescaled، شاخص NDVI با استفاده از فرمول زیر در نرم افزار انوی محاسبه شد:

$$(b5-b4) / (b5+b4)$$

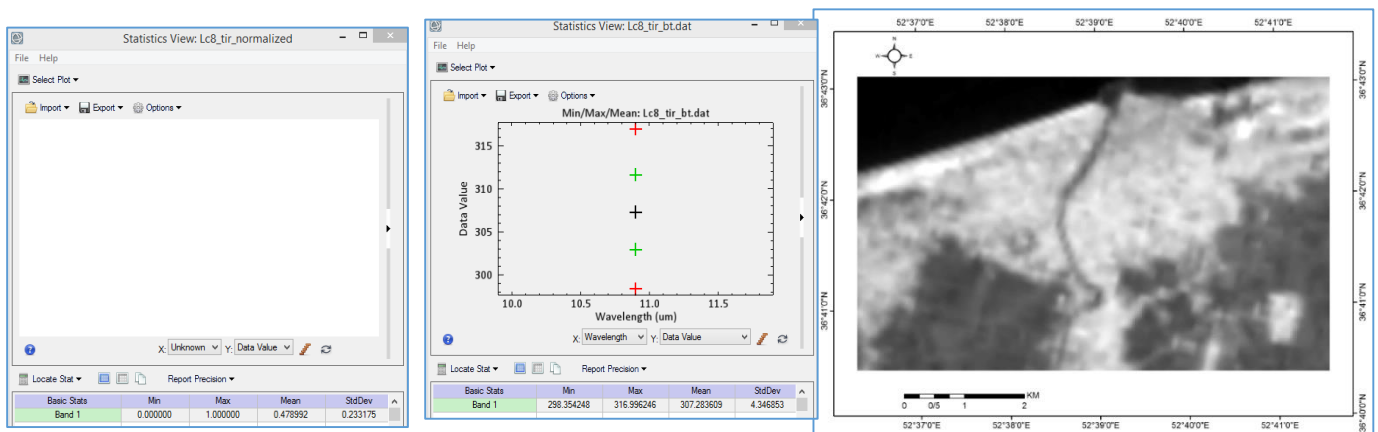
بعد از اعمال فرمول فوق، دامنه مقادیر بین +۱ تا -۱ به دست آمد، پوشش‌های گیاهی به رنگ سفید در نقشه مشخص شده است (شکل ۴).



منبع: نگارندگان

شکل ۴. تصویر NDVI منطقه مورد مطالعه و دامنه مقادیر NDVI بین +۱ تا -۱

بعد از نقشه تولید شده؛ اعتبار سنجی صورت گرفت؛ جاهایی که پوشش گیاهی موجود بود مقادیر عدد بزرگ‌تر را نشان داد. بعد از محاسبه شاخص NDVI، تصحیح رادیو متریکی باند حرارتی تصاویر ماهواره لند ست ۸ انجام شد. لند ست ۸ دو باند مادون قرمز حرارتی به نام Thermal Infrared1 و Thermal Infrared2 دارد که باند مادون قرمز حرارتی ۱ دقیق‌تر است، از طریق شیب فایل شهر بابلسر، باند حرارتی تصاویر ماهواره لند ست برش زده شد. تصحیحات رادیو متریک انجام شد (شکل ۵). بعد از اینکه دمای درختندگی زمین محاسبه و جنس مقادیر برحسب کلونین به دست آمد (شکل ۵) از روش‌های نرمال‌سازی مقادیر استفاده و دامنه مقادیر بین ۰ تا ۱ قرار گرفت.



منبع: نگارندگان

شکل ۵. دمای درختندگی باند مادون قرمز حرارتی ۱ ماهواره لند ست ۸ و دامنه درجه برحسب کلونین و quick stats دامنه مقادیر بین ۰ تا ۱

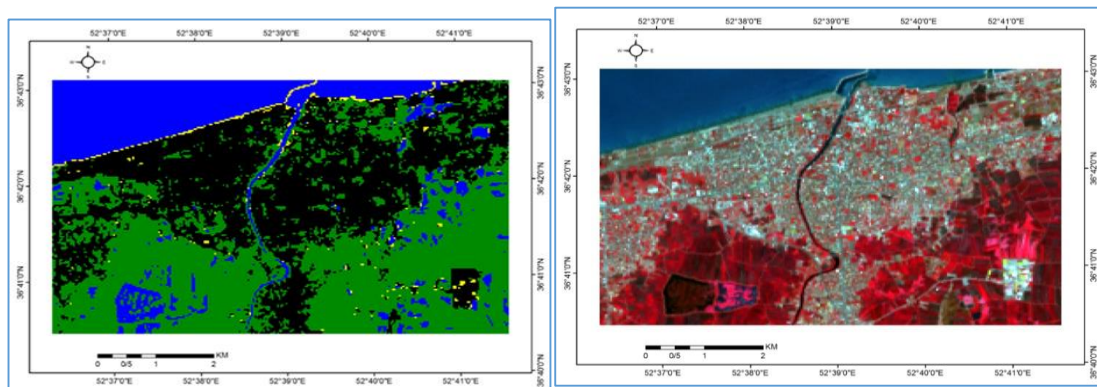
جهت نرمال‌سازی تصویر مورد نظر را که $b1$ ($b1 -$ کمترین عدد) تقسیم بر (بالاترین عدد - کمترین عدد) فرمول به صورت زیر نوشته شده است:

$$(b1-298/354248) \div (316/996246-298/354248)$$

از طریق Quick stats گرفته شده، دامنه مقادیر بین ۱ تا ۰ توزیع شده است (شکل ۵). بعد از نرمال‌سازی باند حرارتی ۱، بین باند آبی و باند نرمال شده، رابطه NDBI برقرار شد و فرمول به صورت ذیل نوشته شد:

$$(b1-b8) \div (b1+b8)$$

در نقشه تولید شده، پهنه شهری با کیفیت استخراج شد (شکل ۶). جداسازی سازه‌های ناحیه شهری با مناطقی که دارای پوشش خاکی هستند، مشکل است، استفاده از باند حرارتی در مقایسه با سایر شاخص‌های شهری به صورت مطلوب‌تر انجام می‌شود، بعد از اینکه شاخص NDBI انجام شد در مرحله بعد طبقه‌بندی دیتا صورت گرفت (شکل ۶)؛ لایه‌های مختلف در یک دیتا جمع و دیتاها به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله فرایند طبقه‌بندی انجام و سازه‌های شهری از سایر پوشش‌ها از هم جدا و متمایز شد. فرایند طبقه‌بندی در لند ست ۸ به صورت ترکیب رنگی باندهای مادون‌قرمز نزدیک، باند قرمز و باند سبز انجام شد (شکل ۶).

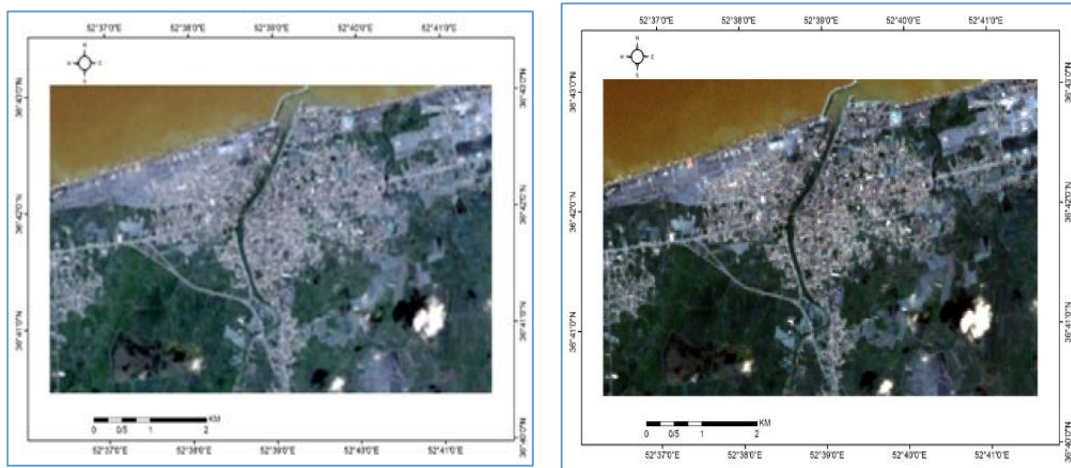


منبع: نگارندگان

شکل ۶. نقشه Stack شده با ترکیب باندهای مادون‌قرمز نزدیک، باند قرمز و باند سبز و نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۲۱ تصاویر لند ست ۸

بعد از تولید نقشه، برداشت نمونه‌ها انجام شد. در این طبقه‌بندی کلاس شهری برای تولید نقشه چند زمانی، کلاس اصلی محسوب می‌شود. طبقه‌بندی دوم پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی، طبقه‌بندی سوم، زمین‌های خاکی و طبقه‌بندی چهارم آب (دریاچه) و رودخانه در منطقه مورد مطالعه انجام شد (شکل ۶).

تصاویر ماهواره لند ست ۵ سنجنده TM سال ۱۹۹۹ از ۷ باند طیفی؛ که ۶ باند در محدوده مرئی و مادون‌قرمز به نام باند (MS) Multispectral و باند ۶ به‌عنوان ۱ باند حرارتی دارا است. باند حرارتی لند ست ۵، مبنای محاسبه و تولید نقشه مورد استفاده قرار گرفت. نقشه شیب فایل شهر بابلسر، تصاویر ماهواره‌ای لند ست ۵، باندهای مالتی اسپکترال برش زده شد، تصحیحات رادیو متریک، رادیانس و تصحیحات اتمسفر یک محاسبه شد (شکل ۷).



منبع: نگارندگان

شکل ۷. تصحیحات رادیو متریک و اتمسفر یک لند ست ۵ باندهای مالتی اسپکترال (MS)

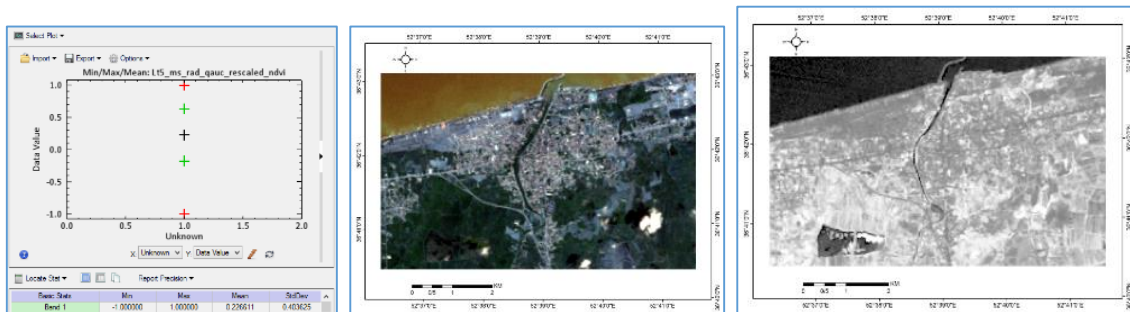
نقشه تولید شده از طریق فرمول زیر Rescaled شد.

$$b_1 \times 0/0001$$

بعد از به دست آمدن، تصویر Rescaled شده، شاخص NDVI با استفاده از فرمول در نرم افزار ENVI انجام شد.

$$(b4-b3) \div (b4+b3)$$

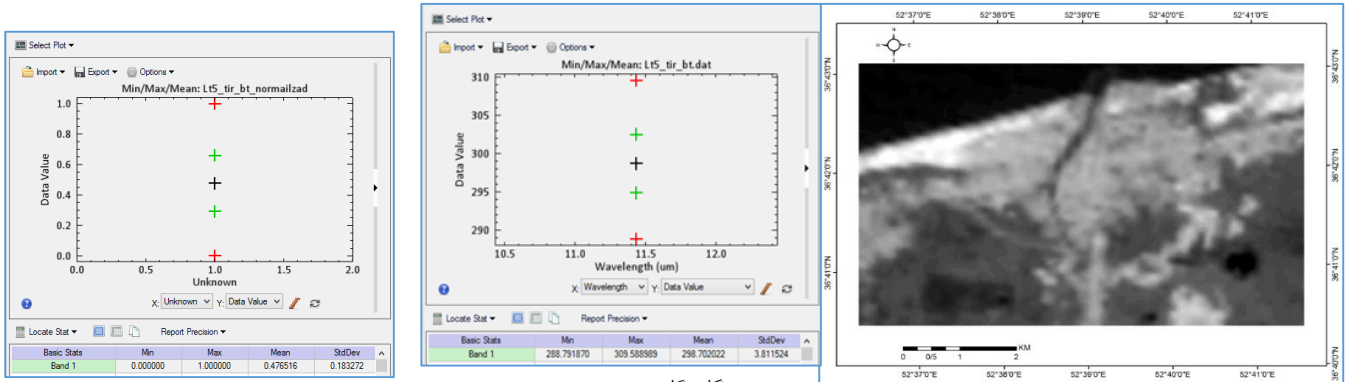
جهت صحت محاسبه NDVI یک Quick Stats گرفته شد که دامنه مقادیر آن بین +۱ تا -۱ بوده است (شکل ۸).



منبع: نگارندگان

شکل ۸. نقشه Rescaled و نقشه NDVI منطقه مورد مطالعه لند ست ۵ و دامنه Quick Stats بین +۱ تا -۱

به منظور محاسبه شاخص NDBI از طریق باند آبی و باند حرارتی تصحیحات اتمسفریک و دمای درخشندگی سطح زمین محاسبه شد (شکل ۱۰). باند سنجنده TM جزئیات مکانی آن ۱۲۰ متر است و رزولوشن مکانی آن نسبت به سایر باندهای حرارتی که در سنجندههای ماهواره لند ست وجود دارد کمتر است. برای اینکه کار Normalized روی تصویر انجام گردد، Quick Stats گرفته شد تا حداقل و حداکثر آن مشخص گردد (شکل ۹).



منبع: نگارندگان

شکل ۹. نقشه دمای درخشندگی سطح زمین ماهواره لند ست ۵ و quick stats درجه برحسب کلون

جهت نرمال سازی تصویر مورد نظر را که b1 (b1 - کمترین عدد) تقسیم بر (بالاترین عدد - کمترین عدد) به صورت زیر نوشته شده است:

$$(b1 - 288/791870) \div (309/588989 - 288/791870)$$

بعد از فرایند Normalized و نقشه تولید شده، Quick Status دامنه مقادیر بین ۱ تا ۰ به دست آمد (شکل ۹). بعد از اینکه شاخص مناطق شهری با استفاده از باند حرارتی نرمال و اعمال شد؛ فرمول به صورت زیر در نرم افزار ENVI اعمال شد.

$$(b1 - b6) / (b1 + b6)$$

نقشه تولید شده از طریق این فرمول مناطق شهری نسبت به مناطق دیگر خوب جدا نشده است (شکل ۱۰). یکی از دلایل عدم کیفیت تصاویر TM نسبت به OLI، توان تفکیک رادیو متریکی است. در سنجنده OLI و TIRS رزولوشن رادیو متریکی آن ۱۶ بیتی اما در سنجنده TM ۸ بیتی است. به این دلیل شاخص مشابه، نتایج متفاوتی داشته است، لذا این شاخص برای تصاویر ماهواره لند ست ۵ اعمال نشد و شاخص دیگری جهت تولید نقشه استفاده شد.



منبع: نگارندگان

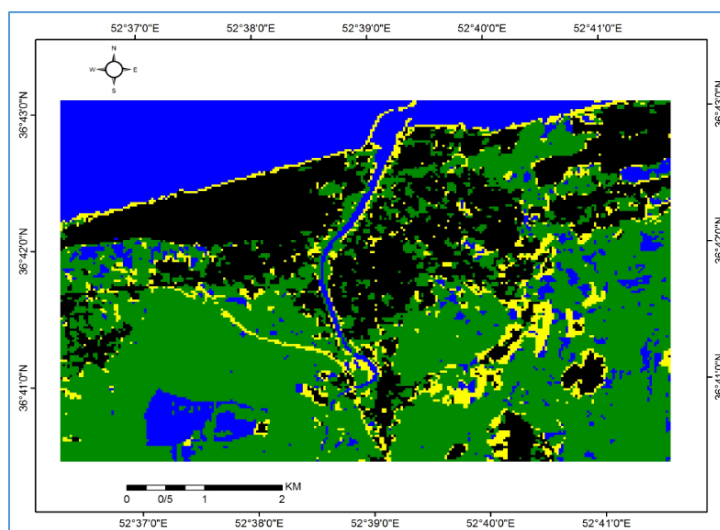


شکل ۱۰. نقشه NDBI باند آبی و باند حرارتی و نقشه Stacking سال ۱۹۹۹ با ترکیب رنگی مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز

برای نوشتن شاخص دیگر؛ فرمول به صورت زیر نوشته شد که از باند حرارتی استفاده نشده است:

$$(b1 - b7) \div (b1 + b7)$$

نقشه تولید شده منطقه شهری را نسبت به مناطق دیگر بهتر جدا نموده است (شکل ۱۱). در تولید این نقشه یک مشکل وجود داشت که مناطق شهری و مناطقی که دارای پهناهای آبی را با یک رنگ نشان داد، با توجه مقادیر پوشش آبی بین ۵ تا ۴ دهیم، در مناطق شهری نزدیک به صفر، جنس مقادیر در دو نقطه متفاوت از این نظر در تولید نقشه مناطق شهری مشکلی ایجاد نشد؛ نقشه Stack منطقه مورد مطالعه تولید و باند اصلاح شد (شکل ۱۰). بعد از تولید نقشه Stack طبقه‌بندی SVM بر روی نقشه انجام شد؛ ترکیب باندهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز انجام؛ سازه‌های شهری، زمین‌های زارعی، پوشش گیاهی و پوشش آب (دریاچه، رودخانه) جدا شد (شکل ۱۰). بعد از ترکیب رنگی کاذب برداشت نمونه هر کلاس انجام و نقشه سال ۱۹۹۹ برای شهر بابلسر تولید شد (شکل ۱۱). در این نقشه تولید شده از سال ۱۹۸۶ تا سال ۱۹۹۹ در قسمت‌های غرب شهر بابلسر شهرک‌های احداث شده و ساخت و سازه‌های زیادی صورت گرفته و توسعه شهری در این منطقه نسبت به مناطق دیگر بیشتر بوده است. مساحت شهر بابلسر در سال ۱۳۶۵ که ۱۱۷۳ هکتار بود به ۱۳۵۴ هکتار افزایش داشته است.

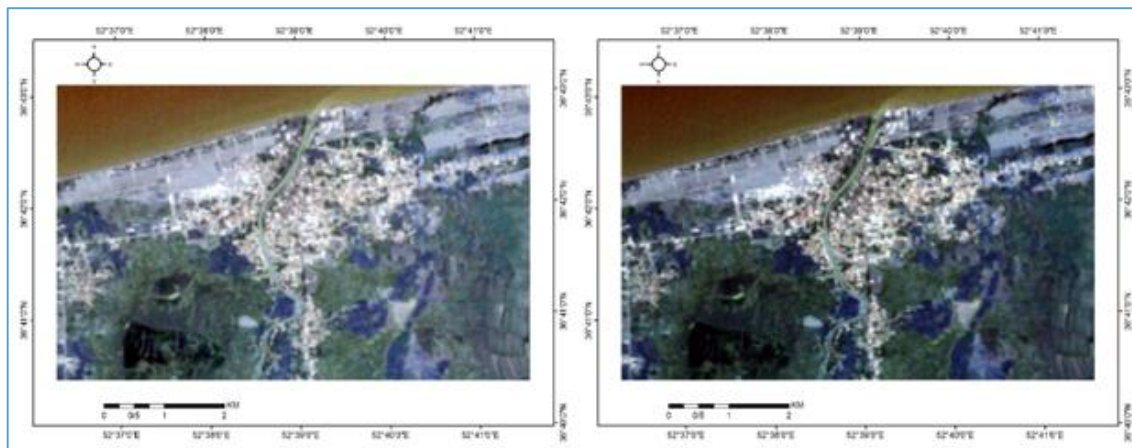


منبع: نگارندگان

شکل ۱۱. نقشه طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه سال ۱۹۹۹ تصاویر ماهواره لند ست ۵

در این دوره ساخت و سال‌ها به طرف منطقه ساحلی افزایش یافته است. اراضی ساحلی به دلیل توانمندی‌های اقتصادی، گردشگری از امتیازات بالایی برخوردار هستند، از بین بردن تپه‌های ماسه‌ای در بابلسر بر توسعه فرایندهای فرسایشی و پیشروی آب دریای خزر نقش اساسی داشته است. پیشروی ساخت و سازها به طرف دریا در طول سال‌های اخیر شرایط نامساعد آسیب‌پذیری منطقه ساحلی را افزایش داده است. لذا لازم است که حریم ساحلی دریای خزر را با توجه به بالاترین افزایش سطح تراز آب و شیب منطقه ساحلی در نظر گرفته شود و هرگونه ساخت و ساز دائمی و ثابت از ارتفاع ۲۴- متر ممنوع و احداث کلیه ساختمان‌های امدادی، بیمارستان‌ها، فرودگاه و تأسیسات زیربنایی شهر بابلسر در ارتفاع ۲۲- متر ممنوع گردد (یوسفی روشن، کردوانی، ۱۳۹۲: ۱۵). در حال حاضر جهت توسعه فیزیکی شهر بابلسر مناسب نیست و شهر

به‌سوی مناطقی که در حریم ساحلی دریای خزر قرار گرفته‌اند، در حال توسعه است که در صورت عدم توقف این روند خطر بالا آمدن آب دریا شهر را تهدید می‌کند (قرخلو و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۰). بعد از تهیه نقشه طبقه‌بندی شهر بابلسر سال ۱۹۹۹، مرحله سوم داده‌های سنجنده TM لند ست ۵ سال ۱۹۸۶ میلادی از طریق نقشه شیب فایل شهر بابلسر برش زده شد. تصحیحات رادیو متریک، رادیانس تصاویر محاسبه شد (شکل ۱۲). تصحیحات اتمسفر یک تصاویر انجام شد (شکل ۱۲). با توجه به نقشه تولید شده از سال ۱۹۷۵ تا سال ۱۹۸۶، قسمت‌های شمال شهر بابلسر در منطقه ساحلی، شمال غرب و شمال شرق ساخت و ساز صورت نگرفته است، حریم دریا در ارتفاع ۲۴- متر رعایت می‌شد.



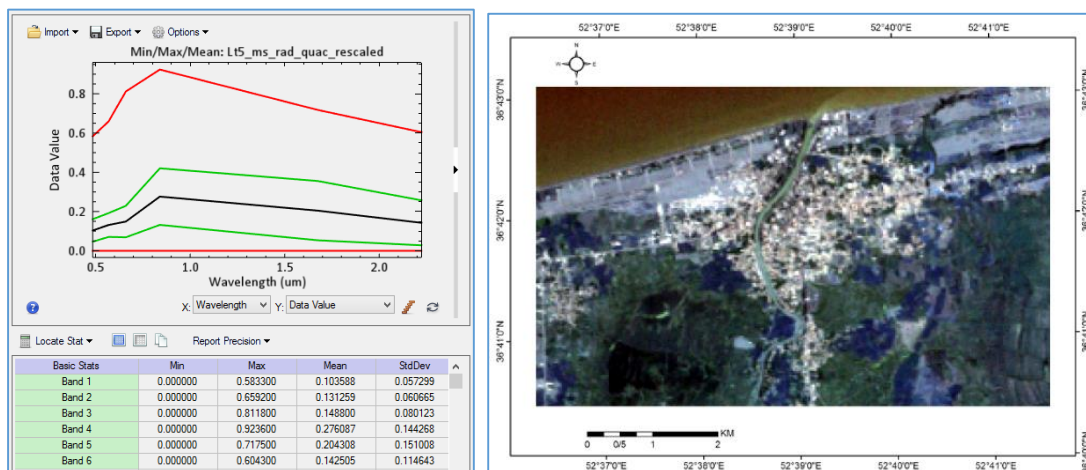
منبع: نگارندگان

شکل ۱۲. تصحیحات رادیو متریک و اتمسفر یک تصاویر ماهواره لند ست ۵ سال ۱۹۸۶ میلادی

بعد از پردازش و تصحیح اتمسفری، فرایند Rescaled انجام شد، فرمول به‌صورت زیر نوشته شد (شکل ۱۳).

$$b_1 \times 0.0001$$

در Quick Stats مقادیر تصاویر ماهواره لند ست ۵ بین ۰ تا کمتر از ۱ تبدیل شد (شکل ۱۳).

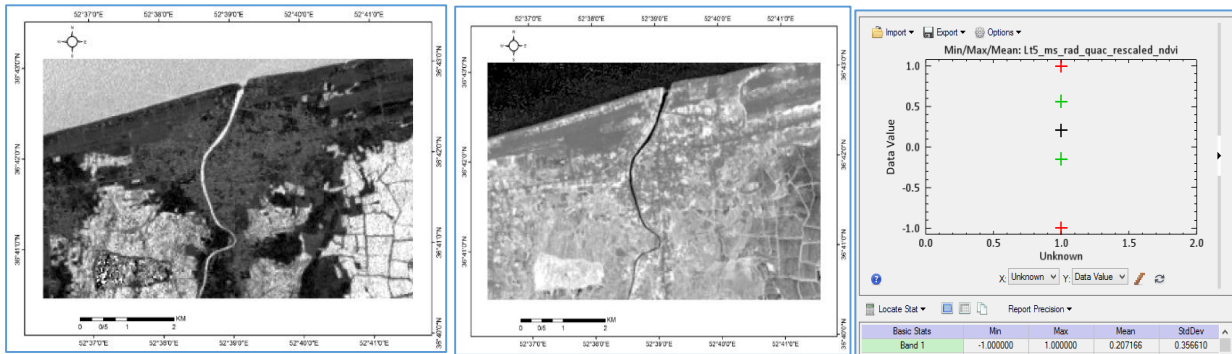


شکل ۱۳. نقشه Rescaled تصاویر ماهواره لند ست ۵، سال ۱۹۸۶ و Quick Stats مقادیر بین ۰ تا کمتر از ۱

شاخص بعدی که در روی تصاویر انجام شد، شاخص NDVI بود که از طریق فرمول به‌صورت زیر نوشته شد:

$$(b_4 - b_3) \div (b_4 + b_3)$$

دامنه مقادیر بین +۱ تا -۱ قرار گرفته است و NDVI به درستی محاسبه شد (شکل ۱۴).



منبع: نگارندگان

شکل ۱۴. نقشه NDVI منطقه مورد مطالعه و quick stats مقادیر بین ۰ تا ۱ نقشه NDBI تصاویر ماهواره لند ست ۵ سال ۱۹۸۶

شاخص Ndbi تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۸۶ از طریق فرمول زیر محاسبه شد (شکل ۱۴).

$$(b1 - b7) \div (b1 + b7)$$

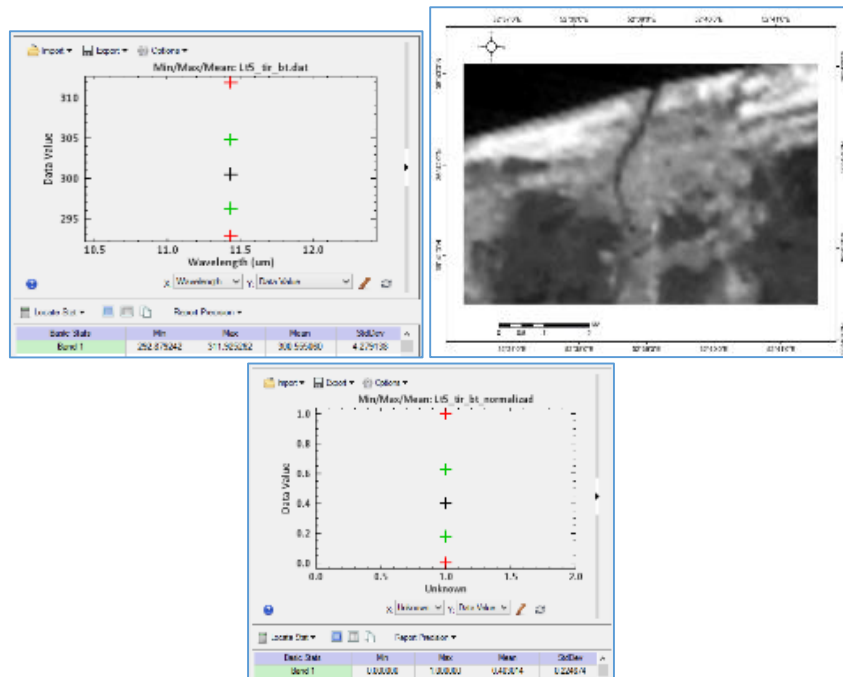
Quick Stats بر روی تصاویر انجام و مقدار حداکثر و حداقل عدد به دست آمد (شکل ۱۵) فرمول به صورت زیر نوشته

شد:

$$(b1 - 292.879242) / (311.925262 - 292.879242)$$

بعد از اعمال فرمول، در روی نقشه تولید شده Quick Stats گرفته شد و دامنه مقادیر بین ۰ تا ۱ قرار گرفته است

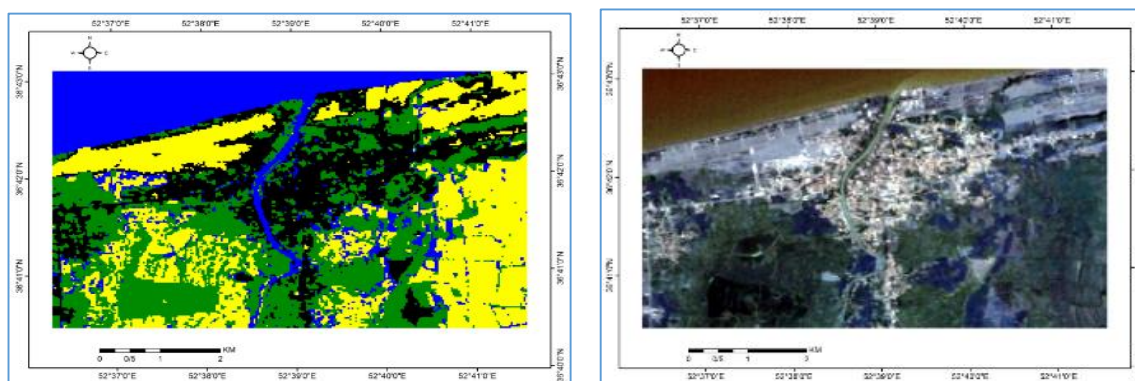
(شکل ۱۵).



منبع: نگارندگان

شکل ۱۵. نقشه باند حرارتی و Normalized تصاویر ماهواره لند ست ۵ سال ۱۹۸۶ و quick stats مقادیر بین ۰ تا ۱

با استفاده از نقشه تولید شده، نقشه Stack سال ۱۹۸۶ برای شهر بابلسر تولید گردید (شکل ۱۶). شهر بابلسر در سال ۱۹۸۶ محدودتر و کوچکتر بوده است.



منبع: نگارندگان

شکل ۱۶. نقشه Stack تولید شده تصاویر ماهواره لند ست ۵ سال ۱۹۸۶

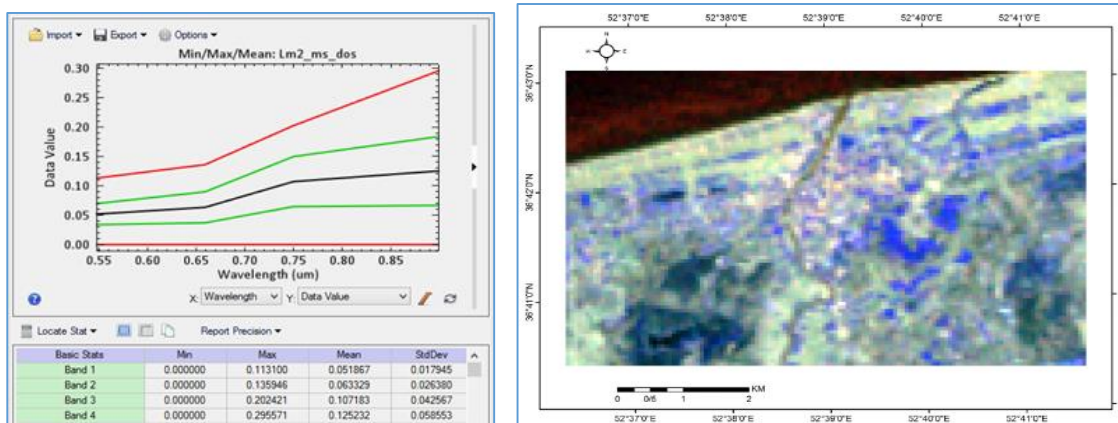
در پایان پیش پردازشها و آماده‌سازی و تولید نقشه شهری دیتا سال ۱۹۷۵ دانلود گردید. تصاویر ماهواره لند ست سال ۱۹۷۵ مربوط به لند ست ۲ و سنجنده MSS است که دارای ۴ باند است. دو باند اول در محدوده سبز و قرمز و دو باند دیگر در محدوده مادون قرمز نزدیک ۱ و ۲ می‌باشد. سنجنده MSS رزولوشن آن ۶۰ متری است، از نظر رادیو متریکی ۶ بیتی است و باند حرارتی ندارد. (جدول ۲)

جدول ۲. مشخصات سنجنده، باندها، رزولوشن و رادیومتریک تصاویر ماهواره لند ست ۲

لند ست	سنجنده	تعداد باندها	رزولوشن	رادیو متریک
۲	MSS	۴ باند	۶۰ متری	۶ بیتی

منبع: (وبسایت <https://earthexplorer.usgs.gov>)

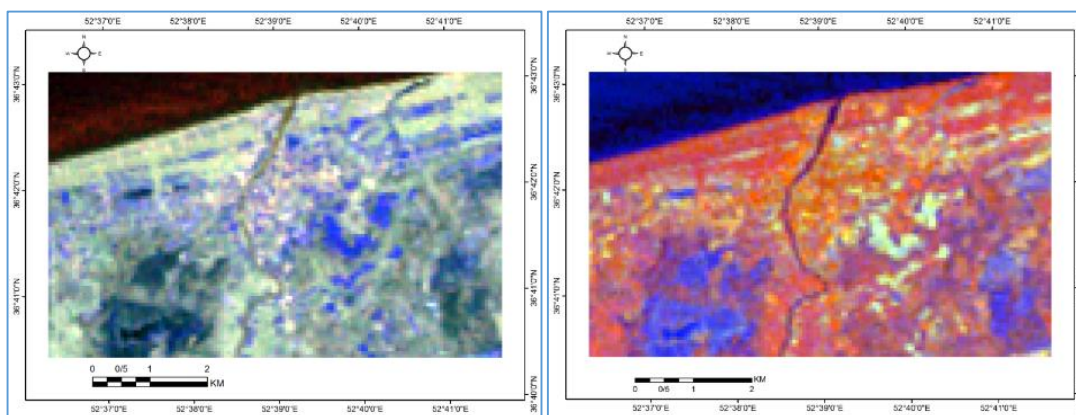
برای تصحیح تصاویر MSS با توجه به تعداد کم باندها؛ بازتاب‌های رسیده به سنجنده که تحت تأثیر پخش و جذب امواج الکترومغناطیسی قرار دارد، محاسبه شد. بعد از محاسبه رفلکتانس، از روش Dark Subtraction (تفریق تاریک) برای تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای لند ست ۲ استفاده گردید که هر باند از حداقل باند خودش کم شد و به صورت مطلوب، اثر پخش امواج الکترومغناطیس را کم می‌کند. رفتار طیفی پوشش گیاهی در داخل تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد که باند سبز، باند قرمز، باند مادون قرمز نزدیک ۱ و باند مادون قرمز نزدیک ۲ تغییرات بازتابی در روی نقشه تولید شده قابل مشاهده است (شکل ۱۷).



منبع: نگارندگان

شکل ۱۷. نقشه تصحیحات رادیو متریک و اتمسفری Quick Stats DOS ماهواره لند ست ۲ سال ۱۹۷۵

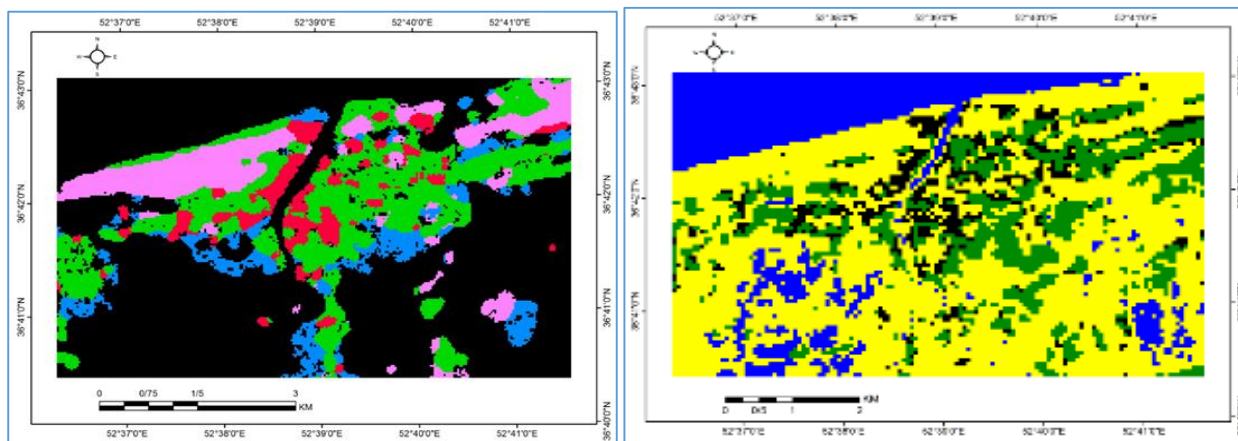
برای نمایش تنوع پوشش‌ها به صورت مطلوب در ۴ باند، از دستور Tasseled Cap برای سری سنجنده mss که مجموعه‌ای از ضرایب است، روی سری ماهواره‌های لند ست اعمال شد که از این طریق پوشش‌های اصلی سطح زمین، آب، خاک، پوشش گیاهی و همچنین پوشش‌های شهری را از هم جدا کرد، تصویر تصحیح اتمسفری به‌عنوان ورودی و سنجنده روی mss قرار داده شد، خروجی به صورت ترکیب رنگی نمایش داده شد (شکل ۱۸).



منبع: نگارندگان

شکل ۱۸. نقشه تولید شده TC و نقشه Stack لند ست ۲ سال ۱۹۷۵

جهت طبقه‌بندی نقشه تصاویر ماهواره لند ست ۲ سال ۱۹۷۵، ترکیب باندی (مادون قرمز نزدیک ۱ یا ۲+ قرمز + سبز) صورت گرفت، جهت دقت بهتر در طبقه‌بندی، نقشه منطقه مورد مطالعه در گوگل ارث پرو نمایش داده شد و چهار لایه در روی نقشه و تصاویر ماهواره‌ای تفکیک و نقشه طبقه‌بندی سال ۱۹۷۵ تولید شد (شکل ۱۹). با توجه به اینکه رزولوشن تصاویر ماهواره لند ست ۲، ۸۰ متری به ۶۰ متری تبدیل شد، از نظر طیفی تنوع باندها زیاد نیست، کیفیت تصاویر نسبت به تصاویر لند ست ۵ و لندست ۸ پایین تر است.

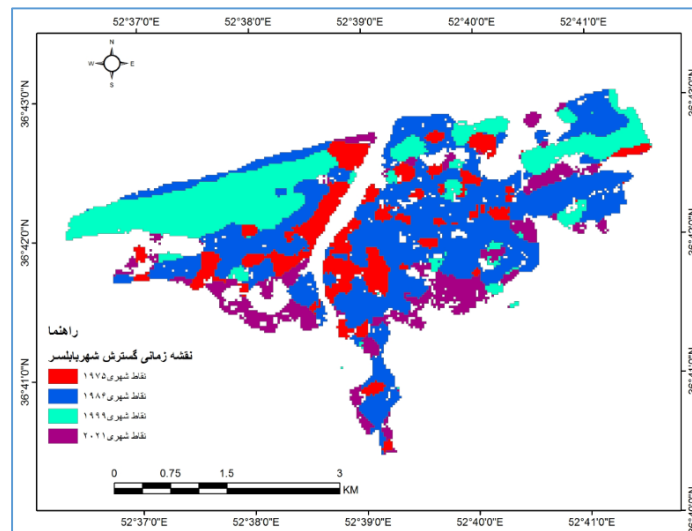


منبع: نگارندگان

شکل ۱۹. نقشه تولید شده سال ۱۹۷۵ و نقشه چند زمانه گویا شده شهر بابلسر سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۱

بعد از طبقه‌بندی و تولید چهار نقشهٔ تاریخ مختلف منطقه مورد مطالعه، در نرم‌افزار ENVI نقشه‌ها فراخوانی و کلاس شهر از آن‌ها استخراج و یک نقشهٔ طبقه‌بندی شده تولید و اطلاعات یک نقشهٔ چند زمانه که مساحت شهر را در چهار تاریخ نشان بدهد، معرفی و نقشه نهایی چند زمانه شهر بابلسر از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۱ تولید گردید (شکل ۲۰). با توجه به نقشهٔ تولید شده، در سال ۱۹۷۵ بیشتر نقاط شهری در قسمت شرق رودخانه بابل رود تمرکز داشته، در قسمت غرب رودخانه بابل رود ساخت و سال‌ها در خیابان شریعتی و کتی‌بن متمرکز بوده و ساخت و سال‌ها فاصلهٔ زیادی از دریا و سواحل داشته و ساخت و سازی صورت نگرفته بود. با توجه به نقشهٔ سال ۱۹۸۶، گسترش شهر از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۶ در قسمت‌های شرقی شهر بابلسر گسترش یافته و تراکم خانه‌ها بیشتر شده است، در قسمت شمال غربی شهر بابلسر ساخت و سازهایی در پارکینگ و سواحل مشاهده می‌گردد و شهرک‌های جدیدی در غرب بابلسر ایجاد شد، احداث شهرک‌ها باعث از بین رفتن تپه‌های ماسهٔ ساحلی شد. نقشهٔ سال ۱۹۹۹ نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز ساخت و سال‌ها از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۹ در قسمت غرب بابلسر ایجاد شد، قسمت‌های شرقی تمرکز ساخت و سال‌ها کمتر بوده است، در این بازه زمانی دوباره شهرک‌های جدیدی در این ناحیه ایجاد شد. میزان رشد و گسترش شهرک‌های جدید در قسمت‌های غربی و شمال غربی بابلسر بیشتر بوده است. با توجه به نقشه سال ۲۰۲۱، نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۱ در قسمت‌های سواحل شمال غربی و شمال شرقی میزان ساخت و سال‌ها بیشتر شده و بیشترین سال‌ها مربوط به جنوب غربی و جنوب شرقی شهر بابلسر تمرکز داشته و بقیه نقاط مانند قسمت‌های مرکزی ساخت سال‌ها حالت عادی داشته است. بعد از تولید نقشه چند زمانی شهر بابلسر، جهت کاهش نویزها، الگوریتم‌هایی انجام و نقشه گویا شده شهر بابلسر که مقدار نویزها کمتر است، تولید گردید (شکل ۱۹). با استفاده از شیب فایل شهر بابلسر فرایند برش انجام و نقشه چند زمانه شهر بابلسر تهیه شد (شکل ۲۰). با توجه به نقشه تولید شده فرایند گسترش و توسعه فیزیکی شهر بابلسر در بازه زمانی سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۱ را به‌خوبی نشان می‌دهد. به‌طوری که در سال ۱۳۵۵ مساحت شهر بابلسر ۷۶۷/۴۴ هکتار و در سال ۱۳۶۵ به ۱۱۷۳ هکتار افزایش یافته و ۴/۳۳ درصد مساحت شهر افزایش یافته است. در سال ۱۳۷۸ مساحت شهر ۱۳۵۴ هکتار افزایش و رشد

مساحت شهر ۱/۴۴ درصد بوده است، در سال ۱۴۰۰ مساحت شهر بابلسر به ۱۷۷۴ هکتار افزایش یافت که نسبت به سال ۱۳۵۵ میزان ۱۰۰۶/۵۶ هکتار به مساحت شهر اضافه شده است در این مدت میزان ساخت و سال‌ها و تراکم آن به صورت افقی و عمودی (در مناطقی بخصوص نخست وزیری، بلوار ساحلی و شهرک‌ها) افزایش داشته است.



منبع: نگارندگان

شکل ۲۰. نقشه چند زمانه شهر بابلسر

نتیجه گیری

نظارت بر تغییر سطح زمین یا رشد مناطق شهری نیازمند تصاویری از زمان‌های مختلف است. توانایی جمع‌آوری تصاویر از یک منطقه از سطح زمین در دوره‌های مختلف، یکی از مهم‌ترین عناصر برای استفاده از داده‌های سنجش از دور است. ویژگی‌های طیفی ممکن است در طول زمان تغییر کنند و این تغییرات را می‌توان با جمع‌آوری و مقایسه تصاویر چند زمانه شناسایی کرد. با تصویربرداری به‌طور مداوم در زمان‌های مختلف، ما قادر به نظارت بر تغییراتی که در سطح زمین به صورت طبیعی یا انسانی رخ می‌دهد هستیم. اطلاعات از تصاویر چندگانه که طی یک دوره زمانی گرفته شده است، به‌عنوان اطلاعات چند زمانه نامیده می‌شود. با تجزیه و تحلیل‌های چند زمانه، سنجش از دور چشم‌انداز منحصر به فردی از نحوه توسعه شهرها ارائه می‌دهد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی روند تغییرات توسعه فیزیکی شهر بابلسر از طریق تصاویر ماهواره لند ست و تولید نقشه چند زمانه شهر طی مدت ۴۶ سال گذشته بوده است. شهر بابلسر با دارا بودن جاذبه‌های طبیعی، صنعتی، اقتصادی، گردشگری و دانشگاهی استان مازندران، طی سال‌های اخیر رشد بسیاری داشته است. این روند منجر به ساخت و سازهای بدون برنامه، تغییرات زیاد در ساختار فضایی - کالبدی شهر و گسترش آن در نوار ساحلی و زمین‌های کشاورزی اطراف آن شده است. با توجه به نقشه چند زمانه شماره ۲۰، در سال ۱۹۷۵ بیشتر ساخت و سال‌ها در قسمت شرق رودخانه بابل رود تمرکز داشته و پراکندگی خانه‌ها در این قسمت بیشتر بوده است، در قسمت غرب رودخانه بابل رود ساخت و سال‌ها در خیابان شریعتی و کتی‌بن متمرکز بوده و ساخت و سال‌ها فاصله زیادی از دریا و ساحل

(پارکینگ‌ها) داشتند و ساخت و سازی صورت نگرفته بود، در این سال مساحت شهر بابلسر ۷۶۷/۴۴ هکتار بود. نقشه سال ۱۹۸۶ شهر بابلسر نشان می‌دهد که گسترش شهر در بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۶ در قسمت‌های شرقی شهر بابلسر صورت گرفته و تراکم خانه‌ها بیشتر شد، در قسمت شمال غربی و شمال شرقی شهر بابلسر ساخت و سازهایی در پارکینگ‌ها و سواحل احداث و شهرک‌های جدیدی در غرب بابلسر ایجاد شد. در قسمت‌های جنوبی شهر ساخت سال‌ها صورت گرفته و باعث گسترش شهر شده بود، مساحت شهر بابلسر در این سال به ۱۱۷۳ هکتار رسیده بود و نسبت به سال ۱۹۷۶ به میزان ۴۰۵/۵۶ هکتار بر مساحت شهر اضافه شد. در این بازه زمانی متأسفانه ساخت و سازها به طرف مناطق ساحلی گسترش داشته که اراضی ساحلی به دلیل توانمندی‌های اقتصادی، گردشگری از امتیازات بالایی برخوردار هستند، از بین بردن تپه‌های ماسه‌ای در مناطق ساحلی، پیشروی ساخت و سازها به طرف دریا و عدم رعایت ساخت و سازهای دائمی در ارتفاع ۲۴- متر و احداث بیمارستان و تأسیسات زیربنایی در ارتفاع ۲۲- متر، در طول سال‌های اخیر شرایط نامساعد آسیب‌پذیری منطقه ساحلی شهر بابلسر را افزایش داده است. لذا لازم است مسئولین شهری با توجه به قانون حریم دریای خزر، هرگونه ساخت و سازها را در ارتفاع ذکر شده ممانعت نمایند. نقشه سال ۱۹۹۹ نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز ساخت و سازها از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۹ در قسمت غرب و شمال غربی شهر بابلسر گسترش داشته، تراکم خانه‌ها بیشتر شده و شهرک‌های جدیدی ایجاد و روند توسعه شهری در این منطقه نسبت به مناطق دیگر بیشتر شد. مساحت شهر بابلسر در این بازه زمانی به میزان ۲۰۰ هکتار افزایش و به ۱۳۵۴ هکتار رسیده بود. با توجه به نقشه زمانی سال ۲۰۲۱، از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۱ در قسمت‌های سواحل شمال غربی و شمال شرقی میزان ساخت و سازها بیشتر شده و بیشترین سال‌ها مربوط به جنوب شرقی و جنوب غربی شهر بابلسر تمرکز داشته و بقیه نقاط مانند قسمت‌های مرکزی ساخت سال‌ها حالت عادی داشته است، مساحت شهر بابلسر در سال ۲۰۲۱ به ۱۷۷۴ هکتار رسیده است. نتایج این پژوهش نشان داده است وسعت نواحی سکونتگاهی شهر بابلسر در طی دوره ۴۶ ساله، ۱۰۰۶/۵۶ هکتار افزایش داشته است که با پژوهش کریمی و همکاران (۱۳۹۶) زمین‌های زارعی اطراف شهر بابلسر به زیرساخت و سازهای شهری رفته است، با پژوهش رحیم‌پور و رضایی مقدم (۱۴۰۰)، کلاس کاربری مناطق ساخته شده در طول دوره آماری مورد مطالعه روند افزایشی داشته است و با پژوهش و رامش و همکاران (۱۴۰۱) و ابراهیمی و ملکی (۱۴۰۲)، ساخت اراضی ساخته شده و وسعت نواحی سکونتگاهی افزایش داشته است، مطابقت دارد. در این مدت میزان ساخت و سازها و تراکم آن به صورت افقی و عمودی (در مناطقی نخست وزیری، بلوار ساحلی و شهرک‌ها) افزایش یافت، همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که شهر بابلسر، نمی‌تواند به صورت گسترده توسعه یابد، چرا که با محدودیت‌های فیزیکی توسعه شهری مانند دریا، رودخانه، وجود زمین‌های شالیزاری و باغ‌های حاصلخیز در روند توسعه شهری مواجه است. نقشه تولید شده سال ۲۰۲۱ میلادی نشان داد که توسعه فیزیکی شهر بابلسر، یکی در داخل شهر که با تخصیص تراکم ساختمانی به صورت عمودی انجام شد، دومین مکان برای توسعه فیزیکی شهر، قسمت‌های جنوب شرقی و جنوب غربی است. نتایج پژوهش فوق نشان داد که دسترسی رایگان به تصاویر ماهواره لند ست و نرم‌افزارهای کاربردی، سنجش از دور به عنوان بهترین گزینه برای پایش و توسعه شهری در بازه‌های

زمانی طولانی مدت به کاربرد و همچنین یافته‌های پژوهش از طریق سنجش از دور می‌تواند جهت توسعه آتی برای شهر بابلسر برنامه‌ریزی کرد.

منابع

- ۱- ابراهیمی، اعظم، ملکی، سعید، (۱۴۰۲): ارزیابی روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: شهر هندیجان، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال بیست و یکم، شماره ۷۲، صص ۱۶۶-۱۷۷.
- ۲- احمدی، حسن، فیض‌نیا، سادات، (۱۳۷۸): سازندهای دوره کواترنر، انتشارات دانشگاه تهران، صص ۵۵۷.
- ۳- اسماعیلی، رضا، یوسفی روشن، محمدرضا، (۱۳۹۱): نقش لند فرم‌های ژئومورفیک در توزیع فضایی شهرها در جلگه مازندران، اولین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، خانه اندیشمندان علوم انسانی، صص ۱۶-۱۸.
- ۴- ایمانی هرسینی، جلیل، کابلی، محمد، فقهی، جهانگیر، طاهرزاده؛ علی، (۱۳۹۶): مدل‌سازی روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف و شبکه خودکار (مطالعه موردی استان همدان)، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره نوزدهم، بهار ۹۶، شماره یک، صص ۱۱۹-۱۲۹.
- ۵- احد نژاد روشتی، محسن و حسینی، سید احمد، (۱۳۹۰): ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۸۹-۱۳۶۳)، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال دوم، شماره چهارم، بهار.
- ۶- حسین اف، ف، م، وکیل اوا، آ، ز و حسن اوا، آ، (۱۳۸۲): برنامه‌ریزی و ساخت شهرهای کوچک، ترجمه غلامرضا خسروی‌ان، چاپ اول، تبریز، نشر فروزش.
- ۷- حیدریان، پیمان، رنگرن، کاظم، ملکی، سعید، تقی زاده، ایوب. (۱۳۹۳): تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و LCM با رویکرد مدل‌سازی توسعه شهری، (مطالعه موردی: شهر تهران) مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۵، شماره ۷، صص ۸۷-۱۰۰.
- ۸- دانلود تصاویر ماهواره‌ای لند ست ۸، لند ست ۵ و لند ست ۲ از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov>
- ۹- دنیائی‌داریان، مجتبی؛ ریاحی، وحید، (۱۴۰۰): بررسی و تحلیل فضایی مکانی تغییرات کاربری اراضی کشاورزی (نمونه موردی: شهرستان آذرشهر)، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۳، شماره ۴، صص ۱۸۳-۲۰۰.
- ۱۰- رحیم‌پور، توحید؛ رضایی مقدم، محمدحسین، (۱۴۰۰): پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سری زمانی لند ست (مطالعه موردی: حوضه آبریز فیروزق، شهرستان خوی)، کنفرانس ملی فن‌آوری‌ها و کاربردهای نوین ژئوماتیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۱۱- علایی طالقانی، محمود، (۱۳۸۱): ژئومورفولوژی ایران، تهران، نشر قومس.
- ۱۲- فیضی‌زاده، بختیار، عزیزی، حسین و ولی زاده کامران، خلیل، (۱۳۸۶): استخراج کاربری‌های شهرستان ملکان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ لند ست ۷، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۱ شماره ۲، صص ۷۵-۹۳.
- ۱۳- قرخلو، مهدی؛ داودی، محمد؛ زندوی، سید مجدالدین و جرجانی، حسن علی، (۱۳۹۰): مکان‌یابی مناطق بهینه توسعه فیزیکی شهر بابلسر بر مبنای شاخص‌های طبیعی، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۳، تابستان، صص ۹۹-۱۲۲.

- ۱۴- کریمی، شیماء، میرزاعلی، محمد، موسی زاده، حسین، قیاسی، سمیرا، تبریزی، امید، (۱۳۹۶): آشکارسازی تغییرات فیزیکی شهر با استفاده از تصاویر LandsatETM و مدل زنجیره‌ای MARKOV یک مطالعه در شهر اردبیل، فصلنامه علمی پژوهشی (جغرافیا) برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال هفتم، شماره ۲، بهار، صص ۱۷۵-۱۸۹.
- ۱۵- لطفی، صدیقه، مهدیان بهنمیری، معصومه و مهدی، علی، (۱۳۹۳): تحلیلی بر روند کالبدی شهر و اثرات آن در کیفیت محیط‌زیست شهری، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال دوازدهم، شماره بیست و دوم، بهار و تابستان، صص. ۱۰۵-۱۲۸.
- ۱۶- لطفعلی‌زاده لاهرودی، علی، (۱۴۰۲): بررسی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لند ست، فصلنامه جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۶، شماره، پائیز، صص ۵۲-۶۶.
- ۱۷- مجرد؛ فیروز، حسینی فرد؛ سمیه، (۱۳۹۰): مکان‌یابی نواحی مساعد برای توسعه فیزیکی کلان‌شهر تهران بر مبنای عناصر اقلیمی و عوامل جغرافیایی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۷، شماره ۳.
- ۱۸- مشکینی، ابوالفضل، تیموری، اصغر، (۱۳۹۵): سنجش گستردگی شهری و تأثیر آن بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از RS و GIS نمونه موردی: شهر کرج طی دوره ۱۳۶۳-۱۳۹۱، مجله آرمان‌شهر، شماره ۱۷، صص. ۳۸۷-۳۵۷.
- ۱۹- ملکی؛ امجد، عزیزی؛ بیان، (۱۳۹۳): تنگناهای طبیعی توسعه فیزیکی شهر پاوه با تأکید بر عوارض ژئومورفولوژی، فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۲۷، صص ۳۷-۵۴.
- ۲۰- مرکز سنجش از دور کانادا، (۱۳۹۸): مبانی سنجش از دور کاربردی، ترجمه خلیل ولی زاده کامران و مصطفی مهدوی فرد، چاپ اول، تهران: انتشارات ماهواره.
- ۲۱- مرکز آمار ایران، (۱۳۹۵): تعداد جمعیت و خانوار به تفکیک تقسیمات کشوری بر اساس سرشماری نفوس و مسکن.
- ۲۲- مولائی‌هشجین، نصرالله، علینقی پور، مریم، (۱۳۹۹): بررسی روند تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر افزایش جمعیت طی سال‌های ۱۳۸۰ - ۱۳۹۰، مهندسی جغرافیای سرزمین، دوره چهارم، شماره ۸، صص ۲۲۵ - ۲.
- ۲۳- نگهبان، سعید، گنجائیان، حمید، ابراهیمی، عطری، امامی، کامیار. (۱۳۹۸): پایش و پیش‌بینی روند تغییرات نواحی سکونتگاهی با استفاده از تصاویر چند زمانه (مطالعه موردی: شهر سنقر)، فصلنامه فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۵، شماره ۲، تابستان، صص ۳۴۳-۳۵۴.
- ۲۴- نوائی، محسن، (۱۳۸۱): برنامه‌ریزی توسعه فضایی شهر بابلسر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، به راهنمایی دکتر رحیم مشیری، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.
- ۲۵- ورامش، سعید، محترم عنبران، سهراب، روح‌نواز، زهرا، (۱۴۰۱): ارزیابی و پایش روند گسترش فیزیکی سی‌ساله شهر اردبیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۳۱، شماره ۱۲۳، پائیز، ۱۳۹-۱۵۳.
- ۲۶- یمانی، مجتبی، مقصودی، مهران، عمونیا، حمید، (۱۳۹۵): تعیین حریم توسعه نوار ساحلی خزر با استفاده از داده‌های ژئومورفولوژیک و تغییرات تراز سطح آب دریا (مطالعه موردی: خط ساحلی بابل رود تا تالار، فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا، سال ششم، شماره ۱۹، بهار، صص ۳۳-۴۴).
- ۲۷- یوسفی روشن، محمدرضا، کردوانی، پرویز، (۱۳۹۲): نوسان سطح آب و کارایی حریم دریای خزر (خط ساحلی محدوده شهرستان بابلسر)، فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین، سال چهارم، شماره ۱۴، تابستان، صص. ۱-۱۶.
- ۲۸- یوسفی روشن، محمدرضا، عمونیا، حمید (۱۴۰۱): برآورد پوشش گیاهی شهرستان بابلسر با استفاده از شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال چهاردهم، شماره ۵۷، پائیز، صص ۱۳۹-۱۲۷.

- 29- Dewan, Ashraf.M. And Yasushi Yamaguchib, (2009): Land Use And Land Coverchange In Greater Dhaka, Bangladesh: Using Remote Sensing Topromote Sustainable Urbanization, Applied Geography, Vol 29, Issue 3, Pp. 390-401.
- 30- Esbah, H. (2007): Land Use Trends During Rapid Urbanization Of The City Of Aydin, Turkey, Environ Manage, 39: 443-459.
- 31- Gong, P (1993): Change Detection Using Principal Component Analysis And Fuzzy Set Theory, Can, J. Remote Sensing. 19(1) 22 29.

- 32- Liue, Y. G. Zeng, X. X. Xu, L. Tian D. L. Zeng, G. M. Hu, X. J. Tang, Y. F. (2011): Impacts Of Land-Use Change On Ecosystem Service Value In Changsha, China, *J. Cent. South Univ. Technol.* 18: 420–428.
- 33- Ritse, V. Basumatary, H. Kulnu, A.S. Dutta, G. Phukan, M.M. And Hazarika, N. (2020): Monitoring Land Use Land Cover Changes In The Eastern Himalayan Landscape Of Nagaland, Northeast India. *Environmental Monitoring And Assessment*, 192 (11), Pp 1-17.
- 34- Wang, S.W. Gebru, B.M. Lamchin, M. Kayastha, R.B. And Lee, W.K. (2020): Land Use And Land Cover Change Detection And Prediction In The Kathmandu District Of Nepal Using Remote Sensing And GIS. *Sustainability*, 12(9), 3925.
<https://doi.org/10.3390/Su12093925>.
- 35- Wakode, Hemant Balwant, Klaus, Baier, Ramakar, Jha. & Raffig, Azzam, (2013): Analysis Of Urban-Growth Using Lands At TM/ETM Data And GIS- A Case Study Of Hyderabad, India. *Arabian Journal Of Geosciences*, 7(1), Pp. 109-121.
- 36- Maithani, S. R.K. Jain & M.K. Arora, 2007. An Artificial Neural Network Based Approach For Modelling Urban Spatial Growth, *ITPI Journal*, 4: Pp. 43–51.
- 37- Mansourmoghaddam, M. Roustia, I. Ghaffarian, H. & Mokhtari, M.H. (2022): B, Evaluating The Capability Of Spatial And Spectral Fusion In Land-Cover Mapping Enhancement, *Earth Observation And Geomatics Engineering*, 6(1), Pp. 161-174.
- 38- Mc Gill, Roland (1998): *Urban Management In Developing Countries*. Cities. Vol, 1.No 6.