

برآورد حقایق زیستی باغستان سنتی شهر قزوین با استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور

افشین یوسف گمرکچی^۱، مهدی اکبری^{۲*}، مهدی یونسی^۳

۱. دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران.
۲. دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. akbari_m43@yahoo.com
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. mahdiyounesi@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۴/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۲

چکیده

باغستان سنتی پیرامونی شهر قزوین از نظر زیست‌محیطی، فضای سبز شهری، قطب اقتصادی، تولید محصولات باغی و مهم‌تر از همه میراث فرهنگی بیش از یک هزار ساله آن دارای اهمیت بسزایی هستند. با توجه به اهمیت تاریخی باغ‌های سنتی، تأمین و شناسایی حقایق زیستی آن از مهم‌ترین موارد در خصوص حفظ و نگهداری باغ‌ها محسوب می‌شود. این در حالی است که به دلیل واقع شدن باغ‌های سنتی در حاشیه شهر و تغییرات آبدی در رودخانه‌های تغذیه‌کننده باغ‌ها و انحراف جریان سیلاب به خارج از شهر در سالیان اخیر بحث تأمین نیاز آبی باغ‌های سنتی از منابع جایگزین مطرح بوده است. در این تحقیق از قابلیت‌های سنجش از دور به منظور برآورد حقایق زیستی باغ‌های سنتی شهر قزوین استفاده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل تراکم پوشش گیاهی بر اساس شاخص پوشش گیاهی NDVI نشان داد تراکم پوشش گیاهی در مناطق مختلف باغ‌های سنتی یکسان نبوده و اختلاف چشمگیری بین مناطق مختلف باغستان وجود داشته است. برآورد تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از الگوریتم SEBAL نشان داد بیشترین مقادیر تبخیر و تعرق در مناطق جنوبی باغستان، در بازه ۸ تا ۱۰ میلی‌متر در روز بوده و بر اساس نقشه توزیع مکانی مقادیر تبخیر و تعرق روزانه (مستخرج از الگوریتم بیلان انرژی)، حداکثر حقایق ماهانه به منظور حفظ وضعیت موجود باغ‌های سنتی، ۷/۷ میلیون مترمکعب است.

کلیدواژه

الگوریتم سبال، سنجش از دور، شاخص پوشش گیاهی، نیاز آبی.

۱. سرآغاز

واقع‌اند. به‌طور نمونه می‌توان به باغ‌های سنتی پیرامونی شهر قزوین اشاره کرد. باغستان‌های سنتی قزوین که عمر آن‌ها را تا ۱۴۰۰ سال می‌دانند یکی از نمونه‌های بهره‌گیری بهینه از طبیعت است. احداث باغستان‌های سنتی پیرامون شهر قزوین نشان می‌دهد که انسان آن روز، روش زندگی مسالمت‌آمیز با طبیعت را بیش از هر زمان دیگر به‌خوبی می‌دانسته و توسعه پایدار را هرچند با روندی کند، دنبال

باغستان‌های سنتی را می‌توان نمونه‌ای از برنامه توسعه پایدار انسان‌ها در دوران گذشته دانست. توسعه‌ای که تاکنون روی پای خویش ایستاده و اکنون به‌عنوان نماد ارزشمند طبیعت و بوم‌شناختی در مناطق مختلف اقلیمی ایران خودنمایی می‌کند. باغ‌های بومی یا باغستان‌های سنتی، باغ‌هایی هستند که بیشتر در بیرون حصار شهر

تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مطالعاتی مشهد اقدام کردند. نتایج تحقیق بیانگر آن است که تصاویر سنجنده مودیس و الگوریتم SEBAL قادر هستند مقدار تبخیر و تعرق واقعی را در مقیاس روزانه در زیر حوضه آبریز مشهد به خوبی برآورد کنند. علاوه بر آن سنجنش از دور، نقش مؤثری را در تحلیل وضعیت، سطح و تراکم، تعیین نیاز آبی و شناخت عرصه‌های آسیب‌پذیر در مطالعات وضعیت پوشش گیاهی یک منطقه ایفا می‌کند (شکوهی‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۵؛ کاظمی‌نیا، ۱۳۹۶؛ ناطقی و همکاران، ۱۳۹۶؛ عسکری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷).

Bellvert و همکاران (۲۰۱۸)، تغییرات زمانی و مکانی نیاز آبی باغ‌های پسته و بادام را طی یک دوره رشد با ترکیب مدل تبخیر تعرق و داده‌های حاصل از سنجنش دور در دره مرکزی کالیفرنیا برآورد کردند. نتایج تحقیق نشان داد حداکثر تبخیر و تعرق روزانه درختان بادام و پسته در محدوده مطالعاتی به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۷۴ میلی‌متر بر روز بوده است. Silva و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی حقایق زیستی محدوده‌ای متشکل از کشاورزی فاریاب، دیم، پوشش جنگلی و فضای سبز شهری در جنوب غربی برزیل را با استفاده از الگوریتم SEBAL برآورد کردند. نتایج تحقیق تطابق خوب خروجی‌های الگوریتم SEBAL با پهن مانیت را نشان داد به طوری که خطای موجود در روش SEBAL کمتر یا مساوی یک میلی‌متر در روز بود. Elnmer و همکاران (۲۰۱۹)، اقدام به برآورد تبخیر و تعرق دلتای نیل با استفاده از الگوریتم SEBAL کردند. با مقایسه نتایج حاصل از این الگوریتم روی ۲۴ تصویر ماهواره لندست ۸ با روش پهن مانیت، محققان تخمین تبخیر و تعرق روزانه و فصلی الگوریتم SEBAL را از لحاظ توزیع مکانی و زمانی مناسب معرفی کردند به طوری که $R^2 = 97/83$ به دست آمد. همچنین در این تحقیق از داده‌های الگوریتم SEBAL در تخمین بیلان آبی و راندمان حوضه استفاده کردند. Abuzar و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ حقایق

کرده است (اخوی‌زادگان، ۱۳۸۱). از جمله ویژگی‌های باغ‌های سنتی، کاشت مختلط، عرف‌ها و سنت‌های مربوط به تقسیم‌بندی باغستان‌ها، تقسیم آب و مالکیت‌ها است. باغستان‌های سنتی با چند هدف شکل گرفته‌اند. نخستین منظور از احداث این باغستان‌ها به‌طور مسلم بهره‌گیری مستقیم و اقتصادی از این باغستان‌ها بوده است. دومین علت احداث باغستان‌ها ایجاد محیط زنده و سبز در اطراف شهرها بوده است. این محیط سبز عمدتاً شهرها را چون نگینی در برگرفته و باعث شده بود تا شهرها به‌عنوان جزیره‌های خوش آب و هوا حتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (همانند اصفهان، شیراز و قزوین) مطرح شوند. سومین علت احداث باغستان‌های سنتی مهار سیلاب‌های بالادست و جلوگیری از آسیب سیل به مزارع و روستاهای پایین دست بوده است.

نتایج بررسی تحقیق‌های مختلف نشان می‌دهد، استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور به دلیل قابلیت‌هایی همچون دید وسیع و یکپارچه، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، تنوع اشکال داده‌ها، رقومی بودن داده‌ها، فراهم آوردن داده‌های بهنگام و یکپارچه، وسیع و سهل الوصول بودن داده‌ها، دسترسی سریع به نقاط دور افتاده و دقت بالای آن‌ها، توان استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان در حوزه آب و محیط‌زیست را داراست (Aynew, 2003; Timmermans et al, 2007; Sun et al, 2011; Giorgos et al, 2017). اکبری (۱۳۸۳) در تحقیقی برای بهبود مدیریت آبیاری مزارع، از مدل SWAP با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای⁺ AVHRR ETM لندست و ASTER در منطقه‌ای واقع در استان اصفهان استفاده کرد. وی با استفاده از تصاویر لندست و الگوریتم SEBAL، به تهیه نقشه تبخیر و تعرق اقدام کرد. بر اساس برآوردهای تبخیر و تعرق روزانه، سطوح کشت شاداب از مناطقی که با تنش آبی مواجه شده‌اند تفکیک شد. همچنین ثنایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از

کرد. یوسف گمرکچی (۱۳۹۷) تبخیر و تعرق باغ‌های سنتی شهر قزوین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برآورد کرد. با توجه به اهمیت تاریخی باغ‌های سنتی، تأمین و شناسایی حقایق زیستی آن از مهم‌ترین موارد در خصوص حفظ و نگهداری باغ‌ها محسوب می‌شود. این در حالی است که به دلیل واقع شدن باغ‌های سنتی در حاشیه شهر و تغییرات آبدی در رودخانه‌های تغذیه‌کننده باغ‌ها و انحراف جریان سیلاب به خارج از شهر طی سالیان اخیر بحث تأمین نیاز آبی باغ‌های سنتی از منابع جایگزین مطرح بوده است. از این رو نخستین گام به منظور حفظ و احیای باغ‌های مذکور، برآورد نیاز آبی آن است. در این راستا و با توجه به الگوی کشت نامنظم باغ‌های مذکور، برآورد نیاز آبی باغ‌های سنتی با استفاده از امکانات سنجش از دور مدنظر قرار گرفته و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و به کارگیری الگوریتم بیلان انرژی، میزان تقریبی حقایق زیستی باغ‌ها تعیین خواهد شد.

۲. مواد و روش بررسی

۲.۱. منطقه مطالعاتی

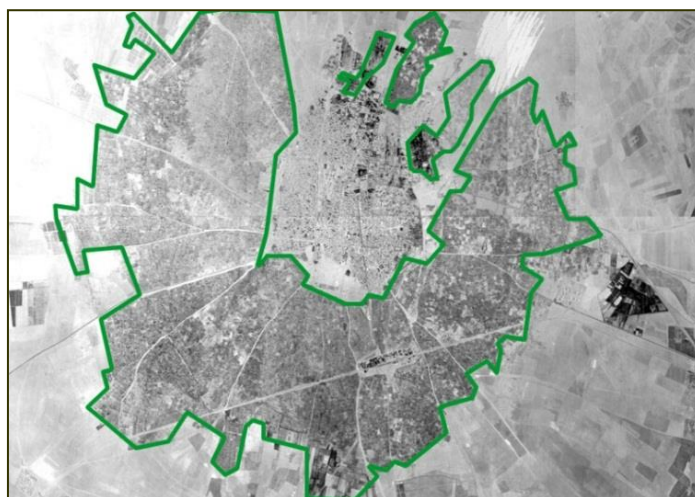
باغ‌های سنتی شهر قزوین در سه جهت شرق، جنوب و غرب این شهر گسترده شده‌اند که در گذشته‌ای نه‌چندان دور (کمتر از نیم‌قرن)، مساحتی بیش از ۳۰۰۰ هکتار باغ‌های مثمر را شامل می‌شد. (اخوی زادگان، ۱۳۸۱). در سطح خرد، تمامی باغستان‌های سنتی قزوین با حقایق از چهار رودخانه فصلی به نام‌های ارنجک، بازار، زویار، دلیچای و رودخانه‌ای سیلابی به نام وشتق (وشته) در زمستان و بهار به صورت غرقاب آبیاری شده است. آبیاری باغ‌های سنتی عمدتاً در دو نوبت (سه نوبت در دوره‌های پرآبی) در سال، یکی در زمستان و دیگری در بهار صورت می‌گرفته است. به دلیل توسعه شهر قزوین و مشکلات بهره‌برداری و عدم توجه کافی به آن‌ها، مساحت باغ‌های سنتی پیرامون شهر قزوین در سال‌های اخیر رو به کاهش گذاشته است. به نحوی که مساحت باغستان‌های مثمر در

زیستی درختان میوه کهن در یک منطقه جنوبی استرالیا را برآورد کردند. آن‌ها در این تحقیق حداکثر حقایق مورد نیاز باغ‌های مذکور را طی سه سال (۲۰۱۴-۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶-۲۰۱۷) بر اساس رابطه بین تبخیر و تعرق و شاخص پوشش گیاهی بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد حقایق زیستی ۷۵ درصد از سطوح باغ‌های مورد مطالعه در طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۵، ۶۸ درصد در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۶ و ۸۰ درصد در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۷ تأمین شده است. Akhtar و همکاران (۲۰۱۹)، حقایق زیستی پوشش گیاهی محدوده حوضه آبریز رودخانه کابل رود در کشور افغانستان را با استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور بر اساس الگوریتم تعادل انرژی سطح، برآورد کردند. نتایج تحقیق بیانگر آن است که بخش‌های جنوبی حوضه آبریز با مساحتی حدود ۹ درصد از کل عرصه حوضه آبریز رودخانه کابل رود با تنش شدید آبی مواجهه بوده و نیاز آبی آن به دلیل عدم وجود الگوی بهینه توزیع آب در سطح حوضه تأمین نشده است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد بیش از ۹۸ درصد منابع آبی موجود در محدوده مطالعاتی در بخش کشاورزی به مصرف رسیده است.

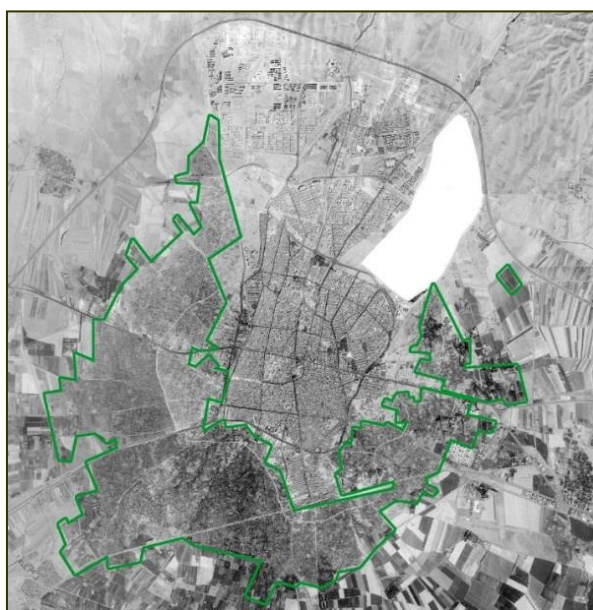
اخوی زادگان (۱۳۸۱) در تحقیقی وضعیت موجود باغ‌های سنتی شهر قزوین را بررسی کرد. وی ۹ علت بیرونی و ۱۳ علت درونی را عامل تخریب باغستان معرفی کرد. در این تحقیق مهم‌ترین مسائل و مشکلات باغستان سنتی شهر قزوین مواردی همچون: تأمین آب، نا امنی، هزینه‌های جاری کشاورزی، ضعف یا نبود نظام مدیریتی باغستان‌ها، دسترسی به باغستان و... نام برده شده است. همچنین از جمله راهکارهای پیشنهادی برای حل مسائل موجود نیز: برنامه تأمین آب، تملک قسمتی از باغستان، بازسازی ساختار تولید، احداث جاده‌های دسترسی، مکانیزه کردن عملیات باغبانی، ترویج کشت محصولات سودآور، ایجاد امنیت، ساماندهی، اصلاح و مرمت انهار آبیاری سنتی عنوان شده است. جوادیان‌زاده (۱۳۹۱) مدل بهینه تخصیص و توزیع آب برای باغ‌های سنتی شهر قزوین را بررسی

قزوین دارای ارقام گوناگونی از گیاهان مثمر و غیر مثمر هستند. ارقام گیاهان موجود در این باغ‌ها شامل درختان دانه‌دار (سیب سفید، سرخ و ابلق، گلابی، به)، درختان هسته‌دار (آلوچه، آلبالو، آلو، زردآلو)، درختان خشکباری (پسته، بادام، سنجد، گردو، فندق، توت)، گیاهان جالیزی (هندوانه، خیار، کدو، کلم) و انگور است. ارقام غیرمثمر نیز عمدتاً شامل گیاهان پرچینی و حاشیه‌ای مانند تبریزی، سپیدار، سماق، نارون، گل زرد، بید، نسترن است.

سال‌های اخیر به زیر ۳۰۰۰ هکتار رسیده و بخشی از باغ‌ها به صورت متروکه و غیرقابل بهره‌برداری شده‌اند. روند تخریب باغستان‌های سنتی شهر قزوین با استفاده از عکس‌های هوایی، در دو شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. این مجموعه باغ‌ها اکنون به سه بخش سبز، نیمه سبز و خشک تقسیم می‌شوند و بخش‌های عمده سرسبز آن‌ها در نقاط جنوبی شهر قزوین قرار گرفته و مابقی به سوی خشکی و نابودی پیش رفته است. باغ‌های سنتی



شکل ۱. عکس هوایی از محدوده باغ‌های سنتی شهر قزوین (سال ۱۳۴۷)



شکل ۲. عکس هوایی از محدوده باغ‌های سنتی شهر قزوین (سال ۱۳۷۹)

تصاویر لندست ۳۰ متر بوده و عرض نوار پوششی توسط هر تصویر ۱۸۵ کیلومتر است. علت انتخاب تصاویر ماهواره‌ای اشاره شده، بالا بودن دقت مکانی و در دسترس بودن تصاویر مذکور بود. تصاویر انتخاب شده در روزهای بدون ابر و گردوغبار بودند. لیکن ویژگی مهم تصاویر مورد استفاده آن است که در زمان حداکثر نیاز آبی باستان به تأمین آب، بوده است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده به منظور برآورد حقایق زیستی و تحلیل وضعیت پوشش گیاهی باغ‌های سنتی در تاریخ‌های ۲۰۱۳/۰۶/۱۹، ۲۰۱۳/۰۷/۲۱، ۲۰۱۴/۰۷/۲۴، ۲۰۱۴/۰۶/۲۵ و ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ میلادی برای منطقه مورد مطالعه بوده است. با توجه به آنکه تصاویر خام سنجنش از دور همیشه دارای خطایی در هندسه (خطاهای هندسی) و همچنین مقادیر ثبت شده برای پیکسل‌ها (خطاهای رادیومتریکی) هستند. عملیات مربوط به پیش پردازش، پردازش، انجام تصحیحات و محاسبات باندهای تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ENVI صورت گرفت. برای اجرای الگوریتم SEBAL نیازمند رطوبت هوا برای به دست آوردن دمای نقطه شبنم و سرعت باد در محدوده مورد مطالعه هستیم که این اطلاعات نیز از ایستگاه سینوپتیک قزوین تأمین شده است.

شاخص پوشش گیاهی NDVI

برای تحلیل وضعیت پوشش گیاهی در محدوده باغ‌های سنتی از شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده شده است. این شاخص از مشهورترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که در بیشتر تحقیقات و بررسی‌های ماهواره‌ای برای تعیین شدت و ضعف پوشش گیاهی استفاده شده است. در این شاخص محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک و قرمز به‌کار گرفته شده و توسط رابطه ۱ تشریح می‌شود (Pôças et al., 2013).

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (1)$$

که در آن، ρ_3 و ρ_4 به ترتیب بارتاب طیفی باندهای شماره ۳ و ۴ ماهواره لندست هستند. دامنه تغییرات این شاخص

۲.۲. روش‌شناسی تحقیق

امروزه تحقیقات بسیاری برای استخراج تبخیر و تعرق توزیع شده مکانی در مقیاس‌های بزرگ با استفاده از توازن انرژی سطحی و داده‌های سنجنش از دور انجام شده است. این تکنیک‌ها اطلاعات مکانی از سطح زمین را با اندازه‌گیری تابش‌های الکترومغناطیسی بازتاب یا ساطع شده، فراهم می‌کنند. اندازه‌گیری باندهای حرارتی، مادون قرمز و مرئی سنجنش از دور به‌عنوان داده‌های ورودی برای پارامتری کردن مؤلفه‌های موازنه انرژی در محاسبه تبخیر و تعرق هستند. این روش شامل تعیین متغیرهای سطحی زمین مثل دمای سطحی، آلبیدو، شاخص پوشش گیاهی و گسیلمندی است (Weligepolage, 2005). در این تحقیق حقایق زیستی در باغ‌های سنتی شهر قزوین با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور و الگوریتم SEBAL برآورد شده است زیرا SEBAL روشی بینابینی است که از روابط تجربی و نیز از پارامترهای فیزیکی به‌طور هم‌زمان استفاده می‌کند (Terreza, 2006). اجزاء الگوریتم SEBAL بیشتر روابط تجربی بوده و نیاز کمتری به اطلاعات زمینی دارد. مدل شامل یک تعداد گام‌های محاسباتی برای پردازش تصویر، محاسبه نهایی تبخیر و تعرق بعلاوه تبادلات انرژی میان زمین و اتمسفر است (Kinoti et al., 2010). در الگوریتم SEBAL با استفاده از ثبت بازتاب‌های حاصل از تشعشعات خورشیدی که به‌وسیله حسگرهای ماهواره‌ای صورت می‌پذیرد و استفاده از روابط آئروپنایمیکی، مقدار باقیمانده انرژی حاصل به‌عنوان انرژی لازم برای وقوع فرایند تبخیر و تعرق محاسبه و به دنبال آن مقدار تبخیر و تعرق در لحظه گذر ماهواره به دست خواهد آمد.

استخراج، آماده‌سازی و پردازش تصاویر

در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. تصاویر ماهواره لندست در Path=۱۶۵ و Row=۳۵ داده‌های ورودی اصلی هستند. تفکیک‌پذیری مکانی

$$R_n = R_{ns} + R_{nl} \quad (۳)$$

که در آن:

$$R_{ns} = R_{s\downarrow} - R_{s\uparrow} = (1 - \alpha) R_{s\downarrow} \quad (۴)$$

و

$$R_{nl} = R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow} - (1 - \epsilon_0) \cdot R_{l\downarrow} \quad (۵)$$

که در آن؛ R_{ns} تابش خالص موج کوتاه (Wm^{-2})، R_{nl} تابش خالص موج بلند (Wm^{-2})، $R_{s\downarrow}$ تابش موج کوتاه ورودی (Wm^{-2})، $R_{s\uparrow}$ تابش موج کوتاه خروجی (Wm^{-2})، $R_{l\downarrow}$ تابش موج بلند ورودی انتشار یافته از جو (Wm^{-2})، $R_{l\uparrow}$ تابش موج بلند خروجی منتشر شده از سطح زمین (Wm^{-2})، α آلبدوی سطح برای تابش موج کوتاه و ϵ_0 گسیلمندی حرارتی سطح هستند (گسیلمندی یک شیء عبارت است از نسبت انرژی بازتابیده شده با شیء تابیده شده در دمایی معین به انرژی تابش شده از جسمی سیاه در همان دما).

بنابراین تابش خالص لحظه‌ای در واحد سطح به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$R_n = R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow} - (1 - \epsilon_0) \cdot R_{l\downarrow} + (1 - \alpha) R_{s\downarrow} \quad (۶)$$

شار گرمای خاک (G):

شار گرمای خاک (G) با استفاده از رابطه تجربی ارائه شده توسط (Bastiaanssen, 2000) محاسبه می‌شود (رابطه ۷).

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \quad (۷)$$
 که در آن؛ T_s دمای سطحی (درجه سانتی‌گراد)، α آلبدوی سطحی و NDVI شاخص پوشش گیاهی است. مقدار G با ضرب کردن نسبت فوق در R_n به دست می‌آید.

شار گرمای محسوس (H):

در روش سبال برای برآورد شار گرمای محسوس، نخست دو پیکسل آستانه انتخاب می‌شوند. یکی از این پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود مربوط به منطقه‌ای کاملاً پوشیده از گیاه و آبیاری شده است، دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر و تعرقی معادل تبخیر و تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد زمین

بین ۱ و ۱- است. بر این اساس مناطق با پوشش گیاهی متراکم دارای بازتاب بیشتری در طیف مادون قرمز بوده و مقادیر این مناطق در تصویر NDVI بزرگ‌تر از صفر است. به منظور تحلیل وضعیت پوشش گیاهی باغستان نخست حدود آستانه برای پوشش باغ‌های سنتی در نظر گرفته شد. حد آستانه و تراکم پوشش گیاهی در جدول ۱ ذکر شده است (اکبری، ۱۳۹۲).

جدول ۱. حد آستانه NDVI و تراکم پوشش گیاهی

تراکم	ضعیف	متوسط	متراکم
NDVI	۰٫۳-۰٫۴	۰٫۴-۰٫۶	۰٫۶<

گام‌های محاسباتی روش بیلان انرژی

روش SEBAL شامل ۲۵ معادله است که تبخیر و تعرق واقعی و دیگر اجزای بیلان انرژی در سطح زمین را محاسبه می‌کند. در این روش اجزای بیلان انرژی محاسبه شده و میزان تبخیر و تعرق به عنوان مقدار باقیمانده معادله بیلان تعیین می‌شود (رابطه ۲).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (۲)$$

که در آن؛ R_n چگالی شار تابش خالص در سطح زمین (Wm^{-2})، G شار گرمای خاک (Wm^{-2})، H شار گرمای محسوس (Wm^{-2}) و λET شار گرمای نهان (Wm^{-2}) است که می‌تواند به کمک گرمای نهان تبخیر آب λ (Jkg^{-1}) به مقادیر ET برحسب ($mmday^{-1}$) تبدیل شود. برای اجرای SEBAL، به اطلاعات بازتابندگی^۱ تصاویر در باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی و نیز تابش باند مادون قرمز حرارتی نیاز است.

تابش خالص (Rn):

تابش خالص در شرایط بدون ابر از بیلان تابش میان تابش خالص موج بلند و تابش خالص موج کوتاه در سطح زمین به دست می‌آید (رابطه ۳).

تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته (ET_{24}):

اغلب مقادیر روزانه تبخیر و تعرق (ET_{24}) در مقایسه با مقادیر لحظه‌ای کاربرد بیشتری دارند. SEBAL مقدار ET_{24} را با فرض اینکه ET_r لحظه‌ای، شبیه به میانگین ET_r در طول ۲۴ ساعت است، محاسبه می‌کند. مقدار ET_{24} (Allen *et al*, 2002).

$$ET_{24} = ET_r \times ET_{r-24} \quad (11)$$

ET_{r-24} مجموع ET_r طی ۲۴ ساعت برای همان روز تصویر است که با جمع کردن مقادیر ساعتی ET_r با یکدیگر در روز گذر ماهواره به دست آمده است.

۳. نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل تراکم پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه که با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI انجام گرفت نشان داد تراکم پوشش گیاهی در مناطق مختلف باغ‌های سنتی یکسان نبوده و اختلاف قابل توجهی بین تراکم پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی موجود است. نمای تراکم پوشش گیاهی محاسبه شده از اطلاعات ماهواره لندست در تاریخ ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ میلادی در شکل ۳ نشان داده شده است. تصاویر پردازش شده ماهواره لندست در تاریخ‌های ۲۰۱۳/۰۶/۱۹، ۲۰۱۳/۰۷/۲۱، ۲۰۱۴/۰۷/۲۱، ۲۰۱۴/۰۷/۲۴ و ۲۰۱۵/۰۶/۲۵ نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد.

نتایج کلی تصاویر پردازش شده حاکی از آن است که بخش متراکم باغ‌های سنتی در بخش جنوبی شهر قزوین متمرکز شده لیکن میانگین شاخص پوشش گیاهی در باغ‌های سنتی (بر اساس آستانه تراکم پوشش گیاهی) در محدوده متوسط و ضعیف ارزیابی می‌شود. در برآورد حقایق زیستی همان‌گونه که اشاره شد شرایط آبیاری باغ‌های سنتی شهر قزوین به صورت ویژه‌ای است.

بدون پوشش گیاهی و خشک است. بنابراین مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می‌شود. در روش سیال طبق رابطه ۲ و بر اساس مقادیر تبخیر و تعرق دو پیکسل مذکور، شار گرمای محسوس در این دو پیکسل محاسبه شده و سپس مقدار شار گرمای محسوس سایر پیکسل‌ها تخمین زده می‌شود. مقدار شار گرمای محسوس به صورت رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \quad (8)$$

که در آن؛ ρ چگالی هوا (kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا (1004 J/kg/K)، dT اختلاف دما ($T_1 - T_2$) میان دو ارتفاع (Z_1 و Z_2) بر حسب (K) و r_{ah} مقاومت آئرو دینامیکی به انتقال گرما (s/m).

پس از محاسبه انرژی نهان تبخیر، بخش تبخیری پارامتر دیگری است که با استفاده از موارد اشاره شده در گام بعد محاسبه می‌گردد.

تبخیر و تعرق لحظه‌ای (ET_{inst}):

تبخیر و تعرق لحظه‌ای (ET_{inst}) با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

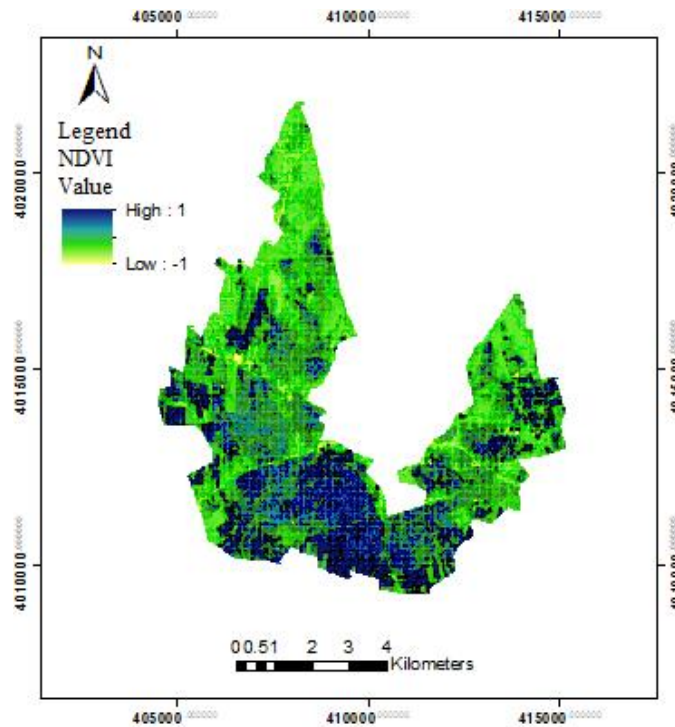
$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (9)$$

که در آن؛ ET_{inst} مقدار تبخیر و تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، λ گرمای نهان تبخیر (J/Kg) و عدد ۳۶۰۰ برای تبدیل زمان از ثانیه به ساعت است.

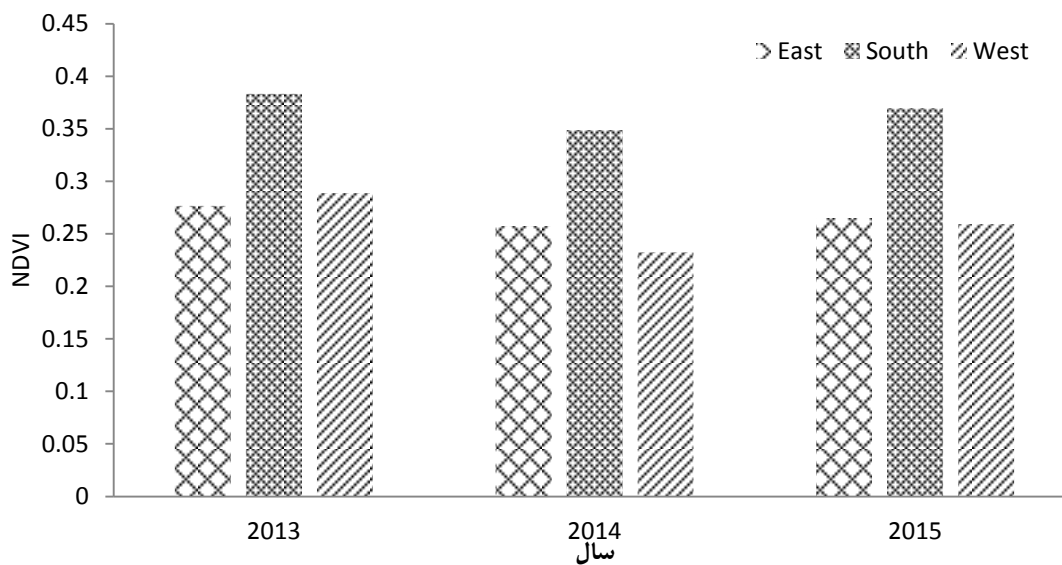
کسر تبخیر و تعرق مرجع (ET_r/F):

کسر تبخیر و تعرق مرجع به صورت نسبت تبخیر و تعرق لحظه‌ای (ET_{inst}) محاسبه شده برای هر پیکسل (mm/hr) به تبخیر و تعرق مرجع (ET_r) محاسبه شده از داده‌های هواشناسی (mm/hr) برای زمان تصویر بر اساس معادله پنمن-مانتیت محاسبه شده است (رابطه ۱۰).

$$ET_r/F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (10)$$



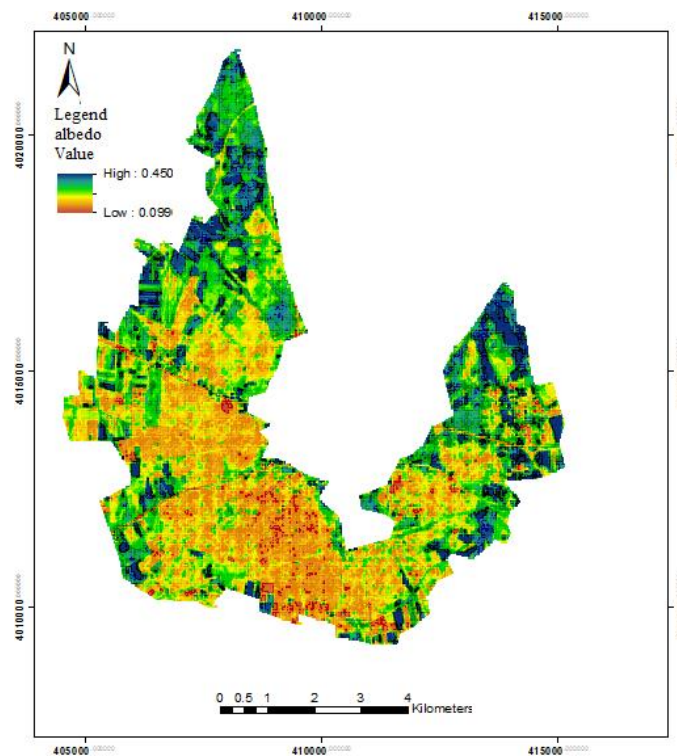
شکل ۳. نمای تراکم کشت در سطح باغ‌های سنتی شهر قزوین در سال ۲۰۱۵



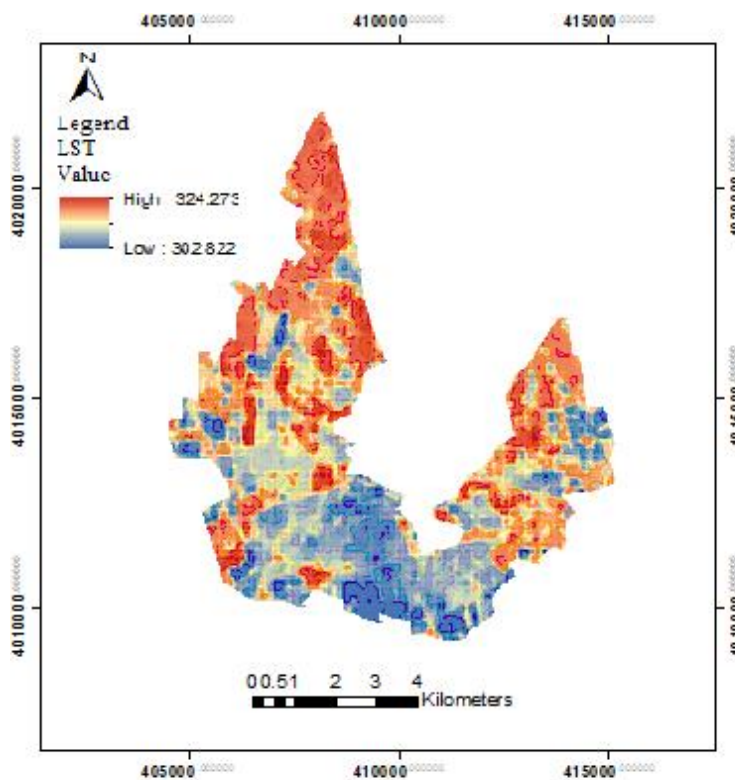
شکل ۴. میانگین شاخص پوشش گیاهی در سطح باغ‌های سنتی شهر قزوین

باغ‌های سنتی برآورد شده است. به دلیل حجم بالای خروجی‌ها تنها به روند به دست آمدن تصویر حاوی مقادیر تبخیر و تعرق در تاریخ ۲۷/۰۷/۲۰۱۵ اشاره شده است. به این ترتیب که شکل ۵ مقادیر آلبیدوی سطحی زمین را نشان می‌دهد.

این امر بدان معنا است که آبیاری باغ‌های مذکور عمدتاً به صورت محدود و در فصل بهار با استفاده از سیلاب بهاره انجام می‌گرفته است. لیکن در سال‌های اخیر به دلیل کاهش آورد و تغییر مسیر رودخانه‌های فصلی منتهی به باغستان، نیاز به منابع آبی تکمیلی برای حفظ باغستان مشهود است از این رو در تحقیق حاضر حداکثر نیاز آبی



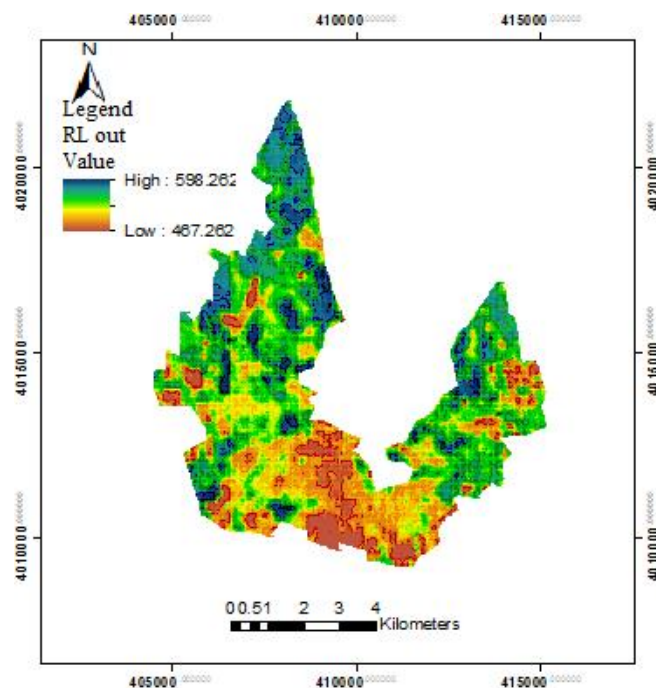
شکل ۵. مقادیر آلبیدوی سطحی زمین در تاریخ ۲۰۱۵/۰۷/۲۷



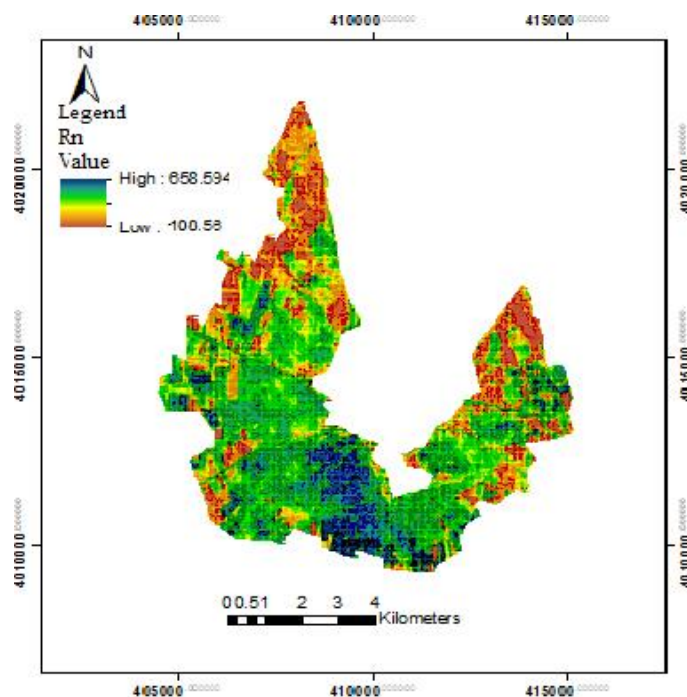
شکل ۶. مقادیر دمای سطح زمین در تاریخ ۲۰۱۵/۰۷/۲۷

در شکل‌های ۸ تا ۱۰ مقادیر تابش خالص، شار محسوس و تبخیر و تعرق لحظه‌ای نشان داده شده است.

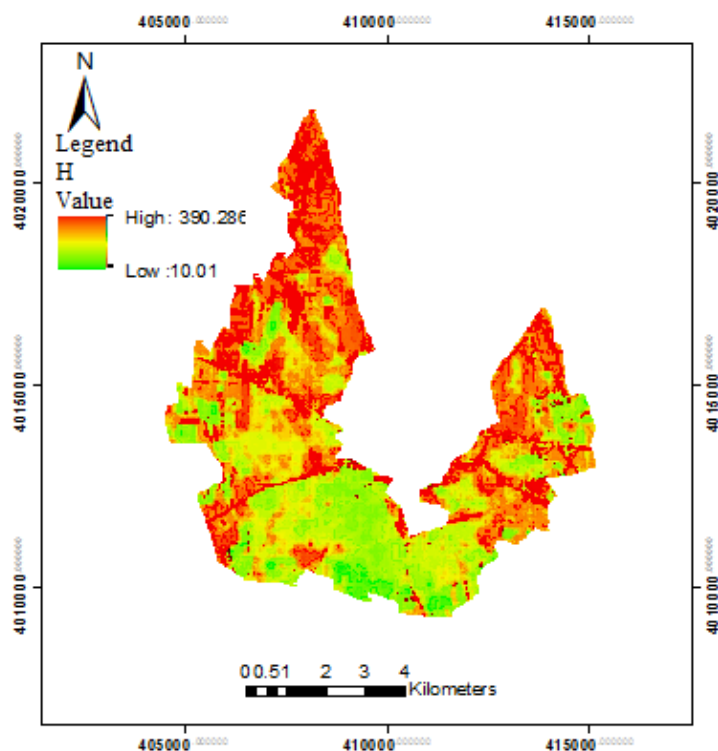
همچنین در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب مقادیر دمای سطح زمین برآورد شده با سنجنده و تابش طول موج بلند خروجی از سطح زمین نشان داده شده است.



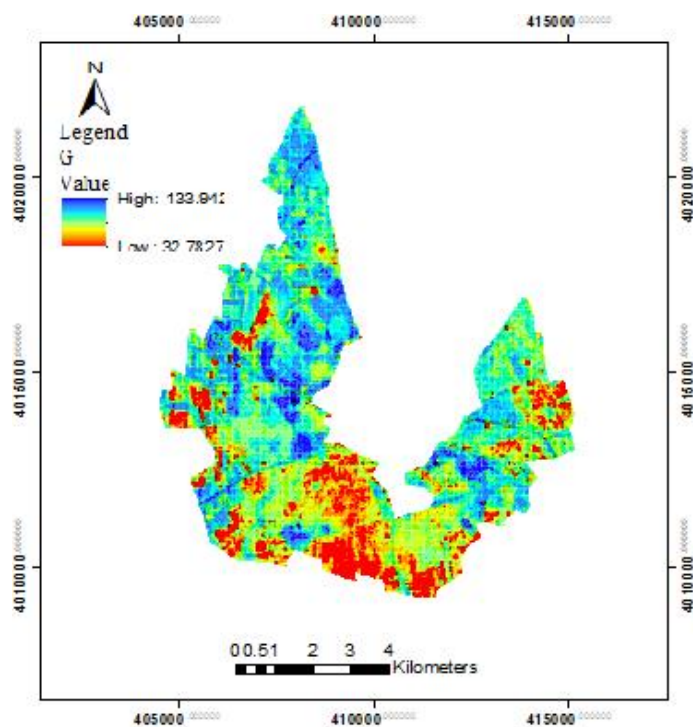
شکل ۷. مقادیر تابش طول موج بلند خروجی از سطح زمین در تاریخ ۲۷/۰۷/۲۰۱۵



شکل ۸. مقادیر برآورد شده تابش خالص خورشید در تاریخ ۲۷/۰۷/۲۰۱۵



شکل ۹. مقادیر شار محسوس هوا در تاریخ ۲۰۱۵/۰۷/۲۷

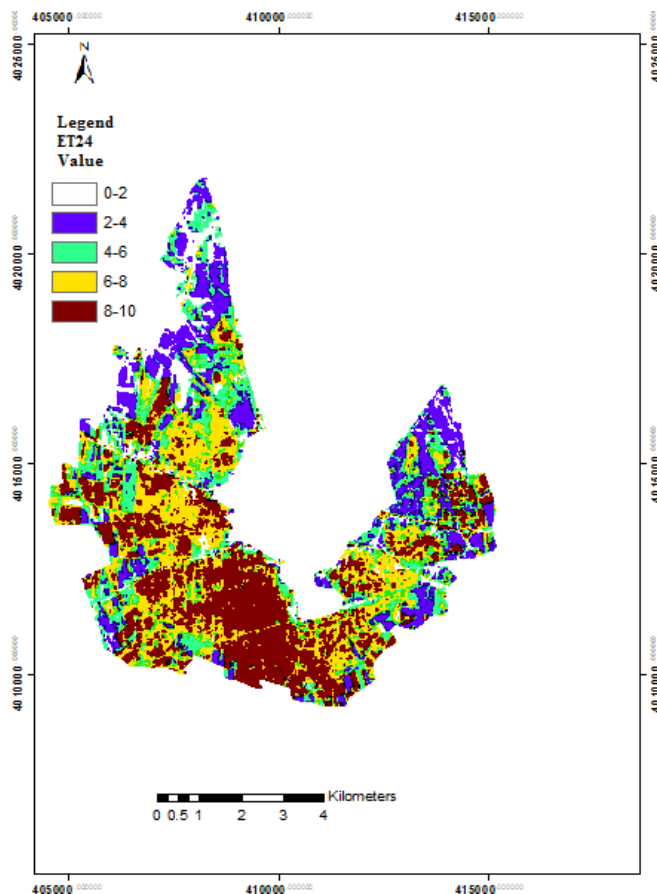


شکل ۱۰. مقادیر شار گرمایی خاک در تاریخ ۲۰۱۵/۰۷/۲۷

نرم‌افزار ENVI حقایق زیستی باغ‌های سستی در ماه بحرانی تأمین آب در محدوده باغ‌های سستی برآورد شده است (جدول ۲).

بر این اساس مقادیر تبخیر و تعرق روزانه در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

بر اساس نقشه توزیع مکانی مقادیر تبخیر و تعرق روزانه (مستخرج از الگوریتم بیلان انرژی) و قابلیت‌های



شکل ۱۱. مقادیر ET24 (mm/day) در تاریخ ۲۰۱۵/۰۷/۲۷

جدول ۲. برآورد حقایق زیستی باغ‌های سستی شهر قزوین در تاریخ ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ (۱۳۹۴/۵/۵)

نیاز آبی روزانه (میلی متر بر روز)	مساحت محدوده (هکتار)	درصد مساحت محدوده تحت پوشش (درصد)	حقایق ماهانه مورد نیاز (مترمکعب)
۲-۰	۳۶/۸	۱/۱	۱۱۴۱۱/۱
۴-۲	۳۹۷/۸	۱۱/۷	۳۶۹۹۵۴/۰
۶-۴	۱۱۴/۸	۳/۴	۱۷۷۸۶۲/۵
۸-۶	۱۲۲۰/۲	۳۵/۹	۲۶۴۷۸۷۷/۴
۱۰-۸	۱۶۳۴/۰	۴۸/۰	۴۵۵۸۷۲۰/۵
جمع	۳۴۰۳/۵	۱۰۰	۷۷۶۵۸۲۵/۵

جدول ۳. متوسط آبدهی ماهانه و سالانه رودخانه‌های مشرف به باغستان سنتی شهر قزوین (برحسب میلیون مترمکعب)

مجموع سالانه	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	رودخانه
۱۸/۶۵	۰/۰۶	۰/۴۱	۰/۲۸	۰/۸۸	۳/۴۱	۵/۷۷	۳/۸۶	۱/۳۸	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۵۸	۰/۱۳	باراجین
۱۲/۸۵	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۱۹	۰/۶۱	۲/۳۵	۳/۹۷	۲/۶۶	۰/۹۵	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۴۰	۰/۰۹	بازار
۴/۷۳	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۸۷	۱/۴۶	۰/۹۸	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۳	وشته
۸/۸۸	۰/۰۳	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۴۲	۱/۶۳	۲/۷۵	۱/۸۴	۰/۶۶	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۲۷	۰/۰۶	زویار
۳۲/۱۳	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۴۸	۱/۵۲	۵/۸۸	۹/۹۳	۶/۶۵	۲/۳۷	۱/۵۵	۱/۷۱	۱/۰۰	۰/۲۲	دلپچای

به ۱/۶۹ میلیون مترمکعب رسیده است. این امر در حالی است که حقایق زیستی باغ‌های سنتی به منظور حفظ وضعیت موجود در حدود ۷/۷ میلیون مترمکعب در یک ماه گرم سال برآورد شده است. نکته حائز اهمیت آن است که مقدار ۷/۷ میلیون مترمکعب نیاز آبی ماهانه بدون احتساب راندمان کاربرد آب لحاظ شده که با احتساب بازده روش‌های معمول آبیاری در سطح باغستان (بازده آبیاری سطحی ۴۵ درصد) به حدود ۱۷ میلیون مترمکعب آب در فصول گرم سال به منظور تأمین ماهانه حقایق زیستی باغستان و حفظ وضعیت موجود پوشش گیاهی نیاز است. از این رو به منظور حفظ زیست‌بوم باغستان سنتی لازم است در ماه‌های گرم سال که بیشترین مقادیر نیاز آبی به وقوع می‌پیوندد از منابع جایگزین دیگری همانند چاه‌ها، کانال انتقال آب شبکه آبیاری قزوین و ... حداقل حقایق زیستی باغستان تأمین شد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی سطح و تراکم پوشش گیاهی در محدوده باغستان سنتی شهر قزوین نشان داد، به‌رغم آنکه عرصه باغستان سنتی در چند سال اخیر ثابت باقی مانده، مساحت باغستان سبز و نیمه سبز (از نظر حد آستانه تراکم پوشش گیاهی) به شدت کاهش داشته است. نقشه توزیع مکانی شاخص پوشش گیاهی در محدوده باغ‌های سنتی نشان داد تغییرات شاخص تراکم پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه بسیار متغیر است. به عبارتی بر اساس نقشه شاخص

بر این اساس حداقل مقادیر آب خالص مورد نیاز (حقایق زیستی) باغ‌های سنتی به منظور حفظ وضعیت موجود باغ‌ها در حدود ۷/۷ میلیون مترمکعب در یک ماه گرم سال برآورد شده است. نکته حائز اهمیت آن است که در سالیان گذشته به دلیل عبور سیلاب بهار از داخل شهر و هدایت سیلاب به داخل باغستان‌ها دو تا سه نوبت آبیاری سنگین در باغ‌ها انجام می‌گرفته است. لیکن در وضعیت موجود، باغ‌های سنتی به دلیل مواردی که قبلاً اشاره شد امکان آبیاری بخش عمده‌ای از باغ‌های محیا نشده و بر همین اساس محدوده تراکم باغستان رو به کاهش گذاشته است. به منظور برآورد آبدهی رودخانه‌های مشرف به باغستان سنتی، از اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری باراجین به عنوان ایستگاه مبنا استفاده شده است. با توجه به آنکه در دیگر رودخانه‌های مورد بررسی ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد (با فرض یکسان بودن رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبریز بالادست ایستگاه باراجین با دیگر حوضه‌های آبریز مورد مطالعه)، با استفاده از روش نسبت مساحت‌ها سری زمانی دبی ماهانه رودخانه‌ها شبیه سازی شده است (یوسف گمرکچی، ۱۳۹۷). در جدول ۳ متوسط آبدهی ماهانه رودخانه‌های مشرف به باغ‌های سنتی شهر قزوین نشان داده شده است.

برآورد آبدهی رودخانه‌های مشرف به باغستان سنتی شهر قزوین نشان دهنده آن است که در ماه‌های گرم سال (تیر، مرداد و شهریور) آبدهی رودخانه‌ها به شدت کاهش یافته به نحوی که در مرداد ماه مجموع آبدهی رودخانه‌ها

و مدیریت جامع عرصه فضای سبز بسیار مهم و اثربخش خواهد بود. نتایج اطلاعات ماهواره‌ای مورد استفاده نشان داد در صورتی که در انتخاب زمان تصاویر مورد استفاده دقت لازم به عمل آید، با استفاده از اطلاعات سنجش از دور می‌توان فاکتورهایی همانند طبقه‌بندی و تراکم پوشش گیاهی و میزان نیاز آبی را تجزیه و تحلیل کرد که در تحقیقات متعددی این امر تأیید شده است (Grosso et al., 2018; Kundu 2018; Jiang et al., 2010; James et al., 2009 et al., 2018;

۵. پیشنهادات

استفاده از روش‌های مبتنی بر قابلیت‌های سنجش از دور در مناطق وسیع، دارای تنوع پوشش گیاهی و الگوی کشت نامنظم، راهکاری به‌منظور برآورد حقایق زیستی، نیاز آبی و پایش مستمر وضعیت پوشش گیاهی است. این در حالی است که روش‌های معمول برآورد نیاز آبی در برخی موارد به دلیل عدم وجود اطلاعات کامل از مراحل حساس رشد برخی گونه‌های گیاهی (علی‌الخصوص گونه‌های غیر متمرکز فضای سبز و گونه‌های گیاهان دارویی که تحقیقات کمتری در خصوص برآورد نیاز آبی آن انجام گرفته)، تحلیل اثر سن و سطح سایه‌انداز درختان کهن در مقادیر نیاز آبی و ... استفاده از روش‌های مبتنی بر الگوریتم بیلان انرژی می‌تواند بسیار مؤثر و راهگشا باشد.

یادداشت‌ها

1. Reflectance

پوشش گیاهی منطقه جنوبی باغستان در وضعیت شاداب قرار داشته و در بخش‌های غربی و شرقی شهر قزوین مساحتی در حدود ۸۰۰ هکتار از باغستان سنتی به‌رغم حفظ کاربری اراضی، دارای پوشش گیاهی بسیار ضعیف، تنک و در برخی موارد فاقد پوشش گیاهی است. نتایج تحقیق نشان داد کمبود قابل توجهی در تأمین حقایق زیستی باغستان سنتی وجود داشته و این امر یکی از مهم‌ترین دلایل زوال باغ‌های سنتی پیرامون شهر قزوین است. از این رو لازم است به‌منظور حفظ باغ‌های سنتی، منابع آبی جایگزین برای تأمین نیاز آبی این محدوده در نظر گرفته شود. این چالش اساسی در تحقیقات انجام شده با محوریت حفظ زیست بوم باغستان سنتی، از جنبه کیفی تأکید شده است (اخوی‌زادگان، ۱۳۸۱؛ متولی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Beheshti, 2011). رویکرد به تعیین مقادیر کمی در تأمین حقایق زیستی، می‌تواند در برنامه‌ریزی پتانسیل منابع آبی جایگزین یا اصلاح شیوه مدیریت و بهره‌برداری باغستان، مؤثر واقع شود. نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات انجام شده نشان داد که فناوری‌های سنجش از دور می‌تواند نقش مؤثری در تعیین نقشه‌های به‌هنگام از سطوح فضای سبز شهری و برون شهری، تحلیل تراکم پوشش گیاهی، برآورد نیاز آبی و ارائه الگوی بهینه استفاده از منابع آب ایفا نماید. برآورد اولیه آب مورد نیاز با استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور در باغ‌های سنتی که دارای درختان کهن، تراکم پوشش گیاهی متفاوت، تنوع گونه‌های زراعی و باغی و نوع کشت نامنظم هستند از منظر مدیریت منابع آب

منابع

- اخوی‌زادگان، ع. ۱۳۸۱. گزارش طرح مطالعاتی احیاء و ساماندهی باغات سنتی قزوین، شهرداری قزوین.
- اکبری، م. ۱۳۸۳. بهبود مدیریت آبیاری مزارع با استفاده از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، مزرعه‌ای و مدل شبیه‌سازی SWAP. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- اکبری، م. ۱۳۹۲. برآورد سطح تراکم کشت با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای، مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷ (۱): ۷۷-۸۸.
- ثنایی نژاد، حسین، نوری، س. و هاشمی‌نیا، م. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مشهد، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۳): ۵۴۰-۵۴۷.

جوادیانزاده، م. ۱۳۹۱. توسعه مدل بهینه‌سازی تخصیص و توزیع آب در باغات سنتی شهر قزوین، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۸): ۲۰-۲۹.

شکوهی‌زادگان، س.، خسروی، ح.، آذرینوند، ح.، زهتابیان، غ. و رایگانی، ب. ۱۳۹۵. ارزیابی و پایش پوشش گیاهی مبتنی بر منطق فازی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: پارک ملی بوم-شیراز)، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۵ (۱۰۰): ۱۵۷-۱۶۶.

عسکری‌زاده، د.، ارزانی، ح.، جعفری، م.، بذرافشان، ج. و پرتنایس، آ. ۱۳۹۷. بررسی گذشته، حال و آینده تغییرات پوشش گیاهی مراتع البرز مرکزی در ارتباط با تغییر اقلیم، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹ (۳): ۱-۱۸.

کاظمی‌نیا، ع. ۱۳۹۶. کاربرد سنجش از دور و GIS در بررسی پوشش گیاهی، نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، ۹ (۱): ۷۵-۸۵.

متولی، ز.، اقبالی، ر. و شهسواری، ف. ۱۳۹۶. ارزیابی اقتصادی- محیط‌زیستی باغ‌های سنتی شهر قزوین. مدیریت محیط‌زیست، ۲ (۶): ۱-۸.

ناطق، س.، نوحه‌گر، ا.، احسانی، ا. و بذرافشان، ا. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات پوشش گیاهی بر اساس شاخص‌های گیاهی با استفاده از سنجش از دور، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۴ (۴): ۷۷۸-۷۹۰.

یوسف گمرکچی، ا. ۱۳۹۷. برآورد تبخیر و تعرق باغات سنتی شهر قزوین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم SEBAL. گزارش نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

Abuzar, M., Whitfield, D., Mc Allister, A. and Sheffield, k. 2019. Application of ET-NDVI-relationship approach and soil-water-balance modelling for the monitoring of irrigation performance of treed horticulture crops in a key fruit-growing district of Australia. *International Journal of Remote Sensing*. 20(12):1-19.

Akhtar, F., Awan, U.K., Tischbein, B. and Liaqat, U.W. 2018. Assessment of Irrigation Performance in Large River Basins under Data Scarce Environment—A Case of Kabul River Basin, Afghanistan. *Remote Sens*. 10 (6):10-21.

Allen, R., Waters, R., Tasumi, M., Trezza, R. and Bastiaanssen, W. 2002. SEBAL, Surface energy balance algorithms for land, Idaho Implementation. *Advanced Training and User's manual*, version 1.0.

Aynew, T. 2003. Evapotranspiration estimation thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands. *Journal of Hydrology*. 279(4): 83-93.

Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*. 229: 87-100.

Beheshti, M. 2011. Qazvin's orchards; domesticated ecosystem. *WATARID 3rd International Conference: Water, ecosystems and sustainable development in arid and semi-arid zones*. Paris.

Bellvert, J., Adeline, K., Baram, S., Pierce, L., Sanden, B.L. and Smart, D.R. 2018. Monitoring Crop Evapotranspiration and Crop Coefficients over an Almond and Pistachio Orchard throughout Remote Sensing. *Remote Sens*. 10(12):23-40.

Elnmer, A., Khadr, M., Kanae, S. and Tawfik, A. 2019. Mapping daily and seasonally evapotranspiration using remote sensing techniques over the Nile delta. *Agricultural Water Management*. 213:682-692.

Giorgos, P., Damianos, N., Giorgos, K., Marinos, M., Anastasios, M., Athanasios, R. and Diofantos, H. 2017. Using SEBAL to Investigate How Variations in Climate Impact on Crop Evapotranspiration. *Journal of Imaging*. 3 (30). Doi: 10.3390.

Grosso, C., Manoli, G., Martello, M., Chemin, Y., Pons, D., Teatini, P., Piccoli, I. and Morari, F. 2018. Mapping Maize Evapotranspiration at Field Scale Using SEBAL: A Comparison with the FAO Method and Soil-Plant Model Simulations. *Remote Sens*. 10 (9): 1452.

James, K. A., Stensrud, D. J. and Yussouf, N. 2009. Value of real-time vegetation fraction to forecasts of severe convection in high resolution models. *Wea. Forecasting*. 24: 187-210.

Jiang, L., Kogan, F. N., Guo, W., Tarpley, J. D., Mitchell, K. E., Ek, M. B., Tian, Y., Zheng, W., Zou, C. Z. and Ramsay, B.

- H.2010. Real time weekly global green vegetation fraction derived from advanced very high resolution radiometer based NOAA operational global vegetation index (GVI) system. *J. Geophys. Res.* 115, D11114. Doi:10.1029/2009JD013204.
- Kinoti, M., Zh, J., Su, T. and Woldai, N. 2010. Using satellite remote sensing to assess evapotranspiration: Case study of the upper Ewaso Ng'iro North Basin, Kenya. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* 12:100–108.
- Kundu, S., Mondal, A., Khare, D., Hain, C. and Lakshmi, V. 2018. Projecting Climate and Land Use Change Impacts on Actual Evapotranspiration for the Narmada River Basin in Central India in the Future. *Remote Sens.* 10(4): 578.
- Pôças, I., Cunha, M., Pereira, L.S. and Allen, R.G. 2013. Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* 21:159–172.
- Silva, B.B.D., Mercante, E., Boas, M.A.V., Wrublack, S.C. and Oldoni, L.V. 2018. Satellite-based ET estimation using Landsat 8 images and SEBAL model. *Revista Ciência Agronômica*, 49(2): 221-227.
- Sun, Z., Wei, B., Su, W., Shen, W., Wang, C., You, D. and Liu, Z. 2011. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. *Mathematical and Computer Modeling in agriculture.* 54(3): 1086-1092.
- Terreza, M. 2006. Evapotranspiration from a remote sensing model for water management in an irrigation system in Venezuela. *interciencia@ivic.ve interciencia*, junio, ano/vol 31: 417-423.
- Timmermans, W. J., Kustas, W. P., Anderson, M.C. and French, A.N. 2007. An intercomparison of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and the Two-Source Energy Balance (TSEB) modeling schemes. *Remote sensing Environ*, 108: 369-384.
- Weligepolage, K. 2005. Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration by satellite remote sensing, a case study in Hupselse Beek, The Netherlands. MS Thesis in Watershed Management, Conservation & River Basin Planing. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.