



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ شهریور ۲۷ تا ۲۵



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



بررسی برخی از شاخص‌های خاک-آب-انرژی-غذا در سیستم تولید گندم و جو در شبکه آبیاری دشت قزوین

مهرزاد محمص مستشاری^{۱*}، مهدی یونسی^۲، افشین یوسف گمرکچی^۳

- ۱- دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران؛ * mm_mohasses@yahoo.com
- ۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران؛

چکیده

در سال‌های اخیر، رویکرد نکسوس به عنوان چارچوبی بین‌رشته‌ای برای تحلیل و مدیریت هم‌زمان منابع آب، انرژی و غذا مورد توجه قرار گرفته است، اما نقش تعیین‌کننده خاک در این میان کمتر برجسته شده است. در این پژوهش، با ترکیب فناوری سنجش از دور (لندست ۸)، زمین‌آمار و داده‌های زمینی (بافت خاک و ماده آلی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر و عمق آب زیرزمینی) و با به‌کارگیری تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و بررسی بارگذاری مؤلفه‌ها، سهم هر پارامتر در تبیین واریانس کل شناسایی و وزن هر لایه مشخص شد. در نهایت با استفاده از شبکه‌بندی مورد نظر شاخص همبست خاک-آب-انرژی-غذا در سیستم تولید گندم و جو در شبکه آبیاری دشت قزوین (سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹) محاسبه شد. نتایج بیانگر آن بود که نقشه همبست، ابزاری عملیاتی برای اولویت‌بندی مناطق بحرانی و تدوین راهبردهای بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی و ارتقای کیفیت خاک فراهم می‌سازد. این مطالعه نشان می‌دهد یکپارچه‌سازی سنجش از دور، زمین‌آمار و تحلیل نکسوس، مسیر مؤثری برای مدیریت پایدار منابع در کشاورزی است.

واژگان کلیدی: بیلان انرژی سطح، زمین‌آمار، سنجش از دور، عملکرد محصول، همبست خاک-آب-انرژی-غذا.

مقدمه

در سال‌های اخیر، مفهوم نکسوس (Nexus) به‌عنوان رویکردی بین‌رشته‌ای برای تحلیل و مدیریت پایدار منابع آب، انرژی و غذا مطرح شده و توجه جهانی را به خود جلب کرده است (Norouzi & Kalantari, 2020). با این حال، بسیاری از مطالعات اولیه، نقش بنیادی خاک را در این میان نادیده گرفته‌اند. در حالی که خاک، به‌ویژه از طریق کربن آلی خاک (SOC)، نه تنها در تولید غذا و حفظ رطوبت و حاصلخیزی زمین نقش دارد، بلکه بر چرخه‌های آبی و انرژی نیز تأثیرگذار است. بنابراین، تحلیل نکسوس بدون در نظر گرفتن کیفیت و سلامت خاک، تصویری ناقص از پایداری منابع ترسیم خواهد کرد (Lal et al., 2017).

یکی از چالش‌های اصلی پیش روی پژوهشگران و برنامه‌ریزان، یافتن منابع داده‌ای مناسب و در دسترس است که بتواند نیازهای مدل‌سازی در مقیاس‌های ملی تا جهانی را تأمین کند. در این زمینه، Lodge و همکاران (۲۰۲۵) به‌صورت سیستماتیک چهار دسته اصلی از داده‌های جهانی را شناسایی کرده‌اند: سنجش از دور ماهواره‌ای (Remote Sensing)، بازتحلیل‌های جوی (Reanalysis)، شبکه‌های مشاهدات جهانی (Global Observation Networks) و مدل‌های سطح زمین (Land Surface Models). این دسته‌بندی سلسله‌مراتبی داده‌ها (Data Hierarchies) به پژوهشگران امکان می‌دهد تا بسته به مقیاس فضایی و هدف مدل، از داده‌های مناسب استفاده کنند: داده‌های ماهواره‌ای برای پوشش سراسری و مقایسه بلندمدت، بازتحلیل‌ها برای پیوستگی زمانی، شبکه‌های مشاهدات برای ارزیابی صحت مدل‌ها و در نهایت مدل‌های سطح زمین برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیکی در لایه‌های خاک و پوشش گیاهی (Lodge et al., 2025).

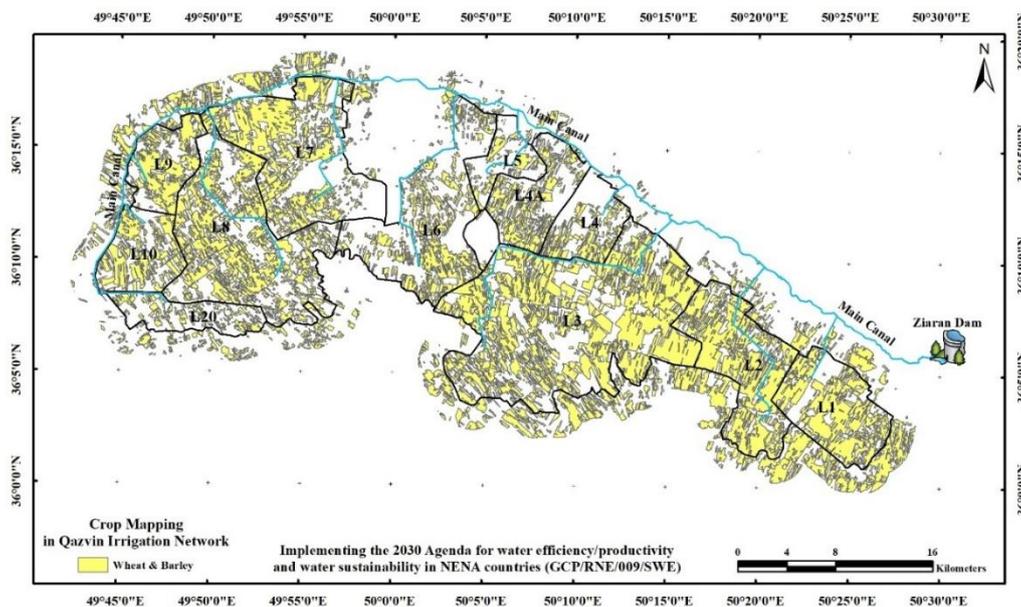
با وجود این پیشرفت‌ها، کمبود داده‌های مربوط به برخی متغیرهای کلیدی مانند جریان آب سطحی (streamflow)، داده‌های سرعت باد و شاخص‌های مرتبط با انرژی آبی به‌وضوح احساس می‌شود. این کاستی می‌تواند منجر به خطا در برآورد کمیت و کیفیت منابع در مدل‌های WEFN شود و نیاز به ترکیب داده‌های محلی یا توسعه محصولات جدید سنجش‌ازدور را آشکار می‌سازد (Lodge et al., 2025). برای رفع این محدودیت‌ها، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران و نهادهای تأمین‌کننده داده، روی تقویت شبکه‌های مشاهدات زمینی و توسعه بازتحلیل‌های تخصصی برای متغیرهای کم‌دسترس تمرکز کنند. همچنین، به‌منظور بهبود قابلیت مقایسه مدل‌ها و تسریع فرایند مدل‌سازی، تدوین راهنمایی‌های استاندارد در خصوص کیفیت، دقت مکانی-زمانی و قالب داده‌ها ضروری است. این اقدامات می‌تواند به افزایش دقت پیش‌بینی‌ها در مطالعات SWEFN کمک کرده و زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های هوشمند و هماهنگ بین‌بخشی شود.

García و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از رویکرد همبست آب، غذا و انرژی به بررسی اثرات اجرایی کردن سیاست توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار در اسپانیا پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد با وجود کاهش ۲۳ درصدی در مصرف آب، به دلیل افزایش تقاضای انرژی و افزایش ۵۲ درصدی هزینه اجرا و نگهداری سامانه‌ها، کشاورزان با مشکلات جدی روبه‌رو شدند. Degirmencioglu و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای پایداری سیستم تولید محصول در حوزه گدیز ترکیه را ارزیابی کردند. آنها با استفاده از رویکرد جامع سیستم‌های آب، انرژی و غذا، به تحلیل وضعیت فعلی و توسعه سناریوهای آینده‌نگر، از جمله تغییر آب و هوا، شهرنشینی، تغییرات منابع آب و پیشرفت‌های تکنولوژیکی در زمینه تولید کشاورزی در این حوزه پرداختند. نتایج نشان داد کاهش دسترسی به زمین زراعی در اثر شهرنشینی و کاهش منابع آب به دلیل تغییر آب و هوا اجتناب‌ناپذیر است. همچنین حفظ پایداری سطوح کنونی تولید کشاورزی مستلزم توجه جدی به انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی و شیوه‌های جدید کشاورزی مانند کاشت مستقیم برای کاهش مصرف انرژی و سیستم‌های آبیاری قطره‌ای برای صرفه‌جویی در مصرف آب است. Liu و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای پایداری کشاورزی منطقه آبیاری چمنگکوان چین را براساس پیوند آب، انرژی و غذا ارزیابی کردند. نتایج نشان داد پایداری کشاورزی در سال‌های ۲۰۰۶ - ۲۰۱۲ در حد متوسط و در سال‌های ۲۰۱۲ - ۲۰۱۵ در حد زیاد بوده است. Kamrani و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای به بررسی چارچوب عملکرد برای سیستم‌های توزیع آب کشاورزی در ایران بر اساس دیدگاه پیوند آب، انرژی و غذا پرداختند. نتایج نشان داد ارتقا عملکرد سیستم دستی توزیع آب به سیستم کنترل خودکار، بهترین نتیجه را از منظر شاخص‌های پیوند در بر خواهد داشت. آنها از مدل شبکه بیزین برای ارائه یک رویکرد احتمالی استفاده کردند که می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیرندگان در ارزیابی عملکرد سیستم بر اساس دیدگاه پیوند آب، انرژی و غذا کمک کند. نتایج پژوهش نشان دادند چارچوب توسعه یافته می‌تواند به عنوان یک مدل پشتیبانی تصمیم برای اولویت بندی گزینه‌های مدرن‌سازی سیستم‌های توزیع آب کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

شریفی مقدم و همکاران (۱۳۹۸) کاربست پیوند آب، غذا، انرژی در مدیریت منابع آب کشاورزی در حوزه آبخیز شازند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مقدار شاخص پیوند آب، انرژی، غذا برای محصولات کشاورزی حوزه آبخیز شازند بین ۰/۱۷ تا ۰/۷۹ بوده است. در بین محصولات کشاورزی بادام بیشترین مقدار (۰/۷۹) و سیب زمین و جغندر قند (۰/۱۷) کمترین مقدار شاخص ترکیبی آب-غذا-انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج پژوهش نشان داد که شاخص آب-غذا-انرژی می‌تواند در تعیین الگوی کشت بهینه و با هدف کاهش میزان مصرف آب و انرژی و افزایش میزان بهره‌وری آب و انرژی مورد استفاده قرار گیرد. مسائلی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی روش‌های مختلف آبیاری با استفاده از رویکرد همبست آب، انرژی، غذا و کربن در سطح حوزه آبریز زاینده رود پرداختند. نتایج بررسی روش‌های آبیاری در سال ۱۳۹۹ نشان داد که با تغییر روش آبیاری کنونی به آبیاری قطره‌ای و بارانی در اثر کاهش آب مصرفی (به ترتیب ۱۷ و ۴/۸۴ درصد) وضعیت حوضه بهبود یافته، اما در روش بارانی انرژی بیشتری جهت آبیاری نیاز است. بنابراین امتیاز شاخص همبست آب، انرژی، غذا و گازهای گلخانه‌ای به ترتیب برای هر یک از روش‌های آبیاری قطره‌ای، بارانی و وضعیت کنونی آبیاری برابر، ۰/۸۶، ۰/۳۱ و ۰/۴۷ بوده است. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های زمینی (بافت خاک و مواد آلی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) و عمق آب زیرزمینی) و داده‌های ماهواره‌ای (لندست ۸) به بررسی همبست خاک-آب-انرژی-غذا در سیستم تولید گندم و جو در شبکه آبیاری دشت قزوین در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی مزارع گندم و جو به دست آمده از پروژه Crop Mapping FAO در اراضی تحت کشت شبکه آبیاری دشت قزوین صورت گرفته است (Nazari, 2020). مساحت خالص اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری دشت قزوین، ۶۰ هزار هکتار است. آب این شبکه در حال حاضر از سد مخزنی طالقان، چاه‌های تلفیقی در سطح شبکه و چاه‌های شخصی تأمین می‌شود.



شکل ۱- مزارع گندم و جو به دست آمده از پروژه Crop Mapping

با توجه به شکل ۱، فقط از مزارع داخل شبکه آبیاری استفاده شد و برای محاسبه همبست یک شبکه‌بندی ۱ هکتاری (۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر) تولید شد که همه داده‌ها در این شبکه قرار گرفته و بتوان نتایج را به صورت یکنواخت ارائه کرد. به همین منظور با استفاده از تصاویر لندست ۸ و به کمک الگوریتم سیال (Allen et al., 2002) و مدل باستیانس (Bastiaanssen & Ali, 2003)، مقدار بیلان انرژی سطح و عملکرد محصول در سامانه گوگل ارث انجین محاسبه شدند (یونسی، ۱۴۰۰). همچنین داده‌های بافت خاک (Sand, Silt, Clay)، مواد آلی و آب زیرزمینی که به صورت نقطه‌ای هستند با استفاده از روش زمین آمار تبدیل به یک نقشه رستری شدند تا بتوان از آن‌ها استفاده نمود.

الگوریتم بیلان انرژی سطح (SEBAL) به کمک تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

که در آن، λET ^۱: شار گرمای نهان (W/m^2)، R_n ^۲: شار تابش خالص سطح (W/m^2)، G ^۳: شار گرمای خاک (W/m^2)، H ^۴: شار گرمای محسوس (W/m^2) است. شار تابش خالص سطح (R_n) بیانگر انرژی تابشی واقعی موجود در سطح است. مدل باستانسن برای برآورد عملکرد محصول از یک مدل ترکیبی، شامل مدل مانیتیت برای محاسبه تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (APAR)، مدل استفورد برای تعیین راندمان مصرف نور (LUE) و الگوریتم بیلان انرژی سطح (SEBAL) استفاده شد. در این راستا مقدار عملکرد محصول از رابطه (۵) قابل محاسبه است (Bastianssen and Ali, 2003).

$$Y_{act} = \frac{h_{ind} \times B_{act}^{tot}}{1 - m_{oi}} \quad (5)$$

که در آن، Y_{act} ^۵: عملکرد واقعی محصول (kg/m^2)، B_{act}^{tot} ^۶: زیست توده کل (kg/m^2)، h_{ind} ^۷: شاخص برداشت محصول (درصد)، m_{oi} ^۸: مقدار رطوبت محصول در زمان برداشت (درصد) است.

کریجینگ یکی از روش‌های درون‌یابی و برآورد در زمین آمار است که براساس مدل برازش داده شده به واریوگرام و نمونه‌های اندازه‌گیری شده، نقاط نمونه‌برداری نشده را برآورد کند. انواع مختلفی از کریجینگ وجود دارد که عمومی‌ترین روش آن کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging) است که به صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود (Webster & Oliver, 2000).

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (6)$$

که در آن، $\hat{z}(X_0)$: مقدار پیش‌بینی شده در موقعیت X_0 ، $\hat{z}(X_i)$: مقدار پیش‌بینی شده در موقعیت X_i ، λ_i : ضریب وزنی محل اندازه‌گیری شده، n : تعداد محل‌های داخل همسایگی است که برای درون‌یابی جستجو شده‌اند.

سمی واریوگرام یا نیم‌تغییرنما رکن اصلی و قلب زمین آمار است که ساختار ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را نشان می‌دهد و به صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود (Webster & Oliver, 2000).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (7)$$

که در آن $\gamma(h)$: نیمه واریانس، h : فاصله تأخیر، Z : پارامتر ویژگی خاک، $N(h)$: تعداد جفت مکان‌هایی است که با فاصله تأخیر h از یکدیگر جدا شده‌اند، $Z(X_i)$ و $Z(X_i+h)$: مقادیر Z در موقعیت‌های X_i و X_i+h هستند.

ساختار مکانی واریوگرام یا توصیف وابستگی فضایی مقادیر نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه (Nugget/Sill Ratio) تعریف می‌شود. اگر این مقدار کمتر از $0/25$ باشد ساختار مکانی قوی، اگر بین $0/25$ تا $0/75$ باشد ساختار مکانی متوسط و اگر بیشتر از $0/75$ باشد نشان دهنده ساختار مکانی ضعیف است (Cambardella et al. 1994).

برای محاسبه همبست خاک-آب-انرژی-غذا نقشه‌ها باید نرمال باشند تا بتوان از آن‌ها استفاده کرد بنابراین از روش Z-Score که از رابطه (۸) محاسبه می‌شود، استفاده شد.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (8)$$

که در آن، Z : مقدار نرمال شده، x : مقدار عددی هر پیکسل، μ : میانگین نقشه، σ : انحراف از معیار نقشه است. سپس اطلاعات هر نقشه نرمال شده به کمک شبکه‌بندی ۱ هکتاری استخراج شد و با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA^۹) که یکی از روش‌های آماری چندمتغیره پرکاربرد در کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی الگوهای پنهان در بین متغیرهاست

¹ Latent Heat Flux

² Net Surface Radiation

³ Soil Heat Flux

⁴ Sensible Heat Flux

⁵ Actual Yield

⁶ Total Actual Biomass

⁷ Harvest Index

⁸ Water Content of the Crop During the Harvest

⁹ Principal Component Analysis

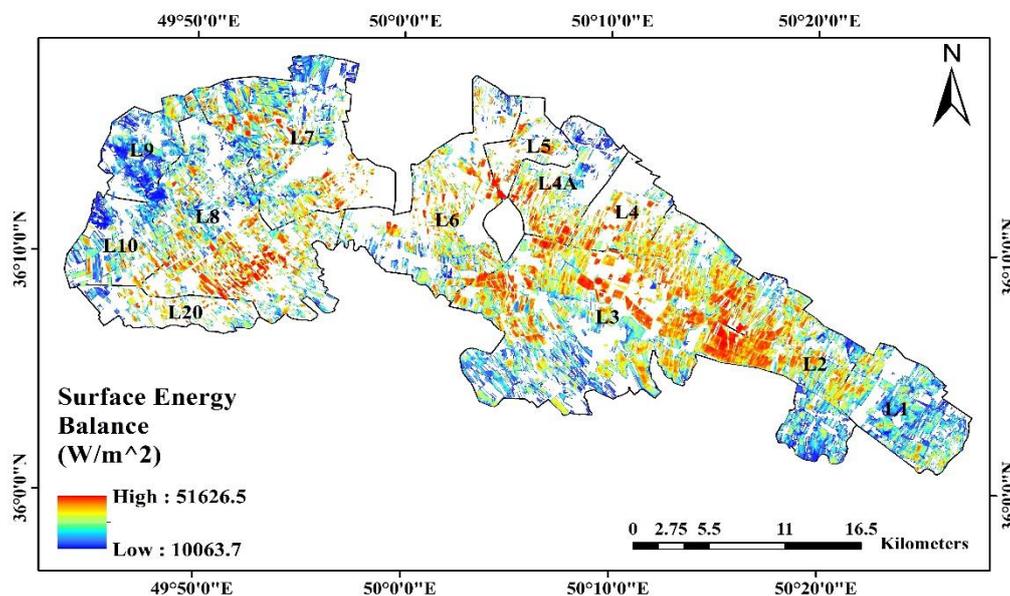
(Jolliffe & Cadima, 2016)، وزن‌دهی شدند. سپس با استفاده از رابطه (۹) مقدار همبست خاک-آب-انرژی-غذا در شبکه آبیاری دشت قزوین محاسبه شد.

$$SWEFNI = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (9)$$

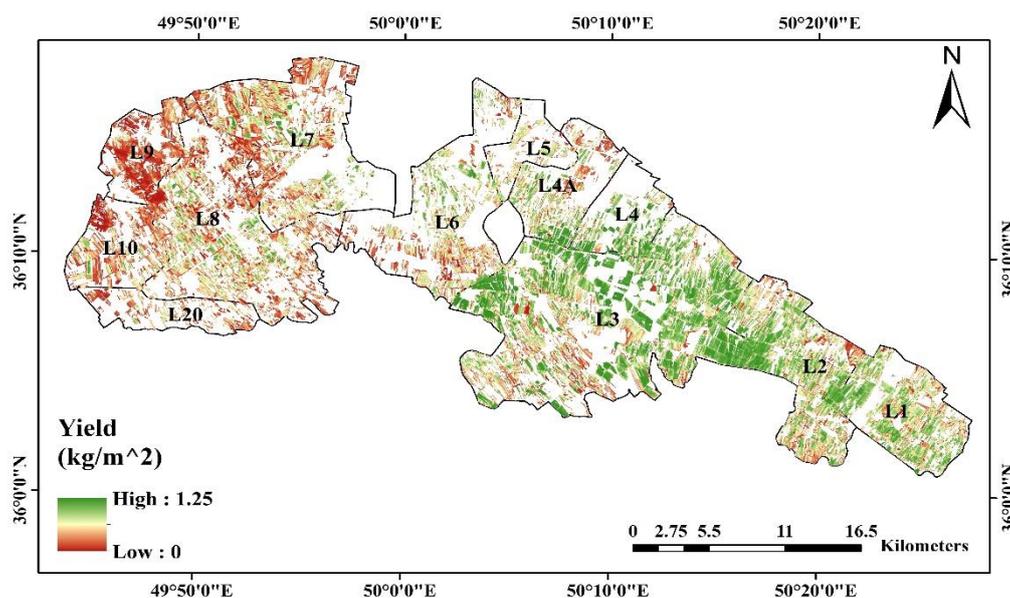
که در آن، SWEFNI: شاخص همبست خاک-آب-انرژی-غذا، w_i : وزن هر لایه، x_i : لایه مورد نظر است.

نتایج و بحث

همانطور که ذکر شد، هدف اصلی این پژوهش بررسی همبست خاک-آب-انرژی-غذا در سیستم تولید گندم و جو در شبکه آبیاری دشت قزوین است. میانگین تاریخ کشت گندم و جو در شبکه آبیاری دشت قزوین اواسط مهرماه بوده و تاریخ برداشت نیز اوایل تیرماه است. بنابراین تاریخ تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده از October سال ۲۰۱۹ تا July سال ۲۰۲۰ (۱۶ تصویر) بود. برای محاسبه بیلان انرژی سطح در فصل کشت از مجموع تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۲ و ۳ نقشه‌های محاسبه شده بیلان انرژی سطح و عملکرد محصول به ترتیب آورده شده است.



شکل ۲- نقشه بیلان انرژی سطح گندم و جو



شکل ۳- نقشه عملکرد محصول گندم و جو

برای بررسی فضای متغیرهای نقطه‌ای از روش زمین آمار و تکنیک کریجینگ معمولی استفاده شد. مدل‌های مختلف واریوگرام شامل دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی به هر متغیر برازش داده شد و بهترین مدل براساس کمترین مقدار RMSE انتخاب شد. در جدول ۱، نتایج آماری مدل زمین آمار برای هر متغیر ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات واریوگرام و مدل برازش شده

نام پارامتر	مدل برازش شده	دامنه تأثیر (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	نسبت ساختاری	RMSE	ME
ماسه (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)	نمایی	۲۶۲۴۸	۵۱/۳۴	۲۲۰/۷۷	۰/۲۳ (قوی)	۱۲/۹۶۵	-۰/۴۲۲
سیلت (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)	نمایی	۱۷۰۷۶	۰/۰۰	۸۳/۱۱	۰/۰۰ (قوی)	۸/۳۵۱	۰/۱۰۶
رس (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)	نمایی	۳۴۱۶۶	۵۰/۱۵	۸۹/۳۶	۰/۵۶ (متوسط)	۸/۹۳۰	۰/۱۹۳
مواد آلی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)	دایره‌ای	۱۳۲۱۵	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۴۲ (متوسط)	۰/۳۱۸	-۰/۰۰۲
عمق سطح ایستایی	نمایی	۵۷۵۶۹	۳۲۷/۱۸	۱۴۵۴/۶۸	۰/۲۲ (قوی)	۲۵/۱۷۸	-۰/۱۵۵

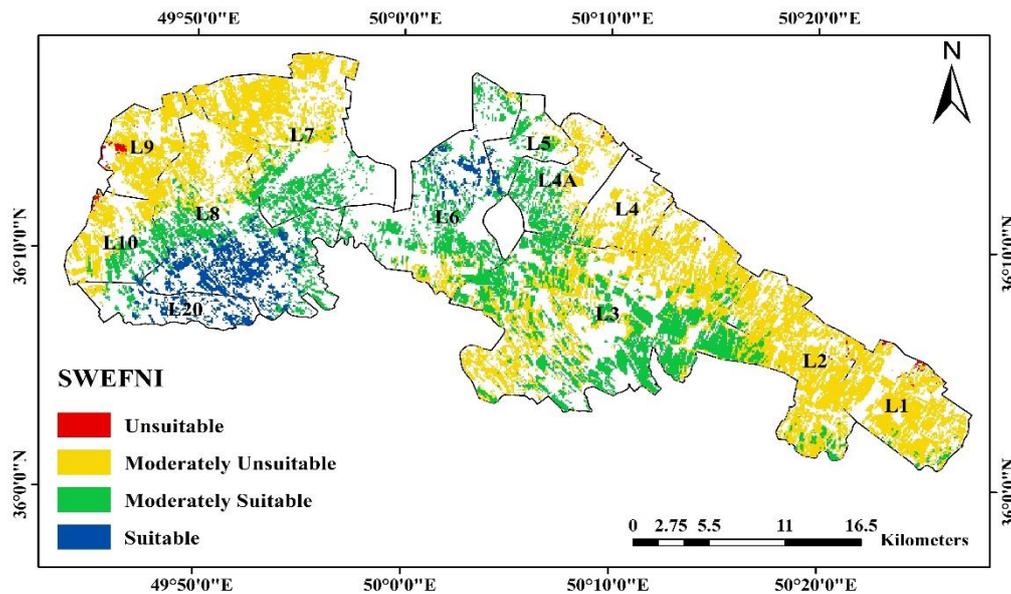
در این پژوهش، روش PCA برای بررسی هم‌زمان متغیرهای همبست خاک-آب-انرژی-غذا استفاده شد. بارگذاری مؤلفه‌ها (Factor Loadings) و میزان سهم هر مؤلفه در تبیین واریانس کل به شناسایی متغیرهای کلیدی و وزن هر لایه منجر شد. وزن هر لایه از تقسیم بارگذاری مؤلفه‌های هر لایه بر مجموع قدرمطلق تمامی لایه‌ها محاسبه شد. در جدول ۲، نتایج وزن‌دهی لایه‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۲- وزن‌دهی لایه‌ها

نام لایه	بارگذاری مؤلفه‌ها	وزن لایه
بیان انرژی سطح	۰/۱۲۲	۰/۰۳۰۴
عملکرد محصول	۰/۳۸۰	۰/۰۹۴۶
مواد آلی	-۰/۷۳۰	۰/۱۸۱۷
رس	-۰/۸۳۰	۰/۲۰۶۵
ماسه	۰/۹۶۰	۰/۲۳۸۸
سیلت	-۰/۷۷۸	۰/۱۹۳۶
عمق سطح ایستایی	-۰/۲۱۹	۰/۰۵۴۴

به‌منظور درک بهتر ارتباطات میان منابع پایه تولید کشاورزی، یعنی خاک، آب، انرژی و غذا، نقشه‌ای یکپارچه با عنوان نقشه همبست خاک-آب-انرژی-غذا (SWEFN) تهیه گردید. این نقشه، نتیجه تلفیق داده‌های چندمنبعی در محیط GIS است و هدف از آن شناسایی مناطق سازگار و ناسازگار با بررسی برخی از ویژگی‌های خاک، آب، انرژی و غذا در شبکه آبیاری دشت قزوین است.

در این تحلیل شاخص‌هایی منتخب برای هر مؤلفه با استفاده از روش‌های تحلیلی و زمین آمار به شکل نقشه‌های رستری هم مقیاس درآورده شدند. سپس این لایه‌ها با روشی تلفیقی ترکیب شدند تا نقشه نهایی به دست آید که هم‌راستایی مکانی هر چهار مؤلفه را در منطقه نشان دهد. شکل ۴، نقشه همبست خاک-آب-انرژی-غذا گندم و جو را در شبکه آبیاری دشت قزوین نشان می‌دهد. نقشه همبست به‌عنوان یک ابزار تحلیلی قدرتمند، می‌تواند در شناسایی مناطق بحرانی، اولویت‌بندی مدیریت منابع و برنامه‌ریزی بهینه در مقیاس محلی تا منطقه‌ای نقش مؤثری ایفا کند.



شکل ۴- نقشه همبست خاک-آب-انرژی- غذا گندم و جو در شبکه آبیاری دشت قزوین

در این تحلیل شاخص‌هایی منتخب برای هر هر مؤلفه با استفاده از روش‌های تحلیلی و زمین آمار به شکل نقشه‌های رستری هم مقیاس درآورده شدند. سپس این لایه‌ها با روشی تلفیقی ترکیب شدند تا نقشه نهایی به دست آید که هم‌راستایی مکانی هر چهار مؤلفه را در منطقه نشان دهد. شکل ۴، نقشه همبست خاک-آب-انرژی-غذا گندم و جو را در شبکه آبیاری دشت قزوین نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تصاویر لندست ۸ و الگوریتم‌های SEBAL و مدل Bastiaanssen، بیلان انرژی سطح و عملکرد محصول در شبکه آبیاری مورد مطالعه در سامانه گوگل ارث انجین محاسبه شد. سپس با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار، متغیرهای خاک شامل بافت، ماده آلی و عمق آب زیرزمینی به لایه‌های رستری پیوسته تبدیل و واریوگرام‌های بهینه برای هر یک برآورد گردید. با تلفیق شاخص‌های خاک-آب-انرژی-غذا از طریق ترکیب وزنی در GIS، نقشه همبست SWEF Nexus تهیه شد که الگوهای فضایی تعامل میان منابع را به روشنی نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن بود که نواحی با رنگ آبی و سبز را می‌توان به‌عنوان مناطق با هماهنگی بالا و پتانسیل مدیریت بهینه منابع شناسایی کرد. برعکس، نواحی با رنگ قرمز و زرد نیازمند بازنگری در شیوه‌های مصرف و تخصیص منابع است. این نقشه، ابزار ارزشمندی برای تصمیم‌گیران فراهم می‌کند تا با تمرکز بر نقاط بحرانی، راهبردهای بهره‌وری آب، انرژی و بهبود کیفیت خاک را اولویت‌بندی نمایند. در یک رویکرد کلی، یکپارچه‌سازی فناوری‌های سنجش از دور، زمین‌آمار و تحلیل نکسوس، راهکاری مؤثر برای مدیریت پایدار منابع در کشاورزی به‌شمار می‌آید.

فهرست منابع

شریفی مقدم، ا.، صادقی، ح.ر.، دلاور، م.، ضرغامی، م. (۱۳۹۸). کاربرد پیوند آب-غذا-انرژی در مدیریت منابع آب کشاورزی در حوزه آبخیز شازند. چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ارومیه، ایران.
مسائلی، ح.، گوهری، س.ع.، شایان نژاد، م. (۱۴۰۱). ارزیابی روش‌های مختلف آبیاری با استفاده از رویکرد همبست آب، انرژی، غذا و کربن. مدیریت آب و آبیاری. ۱۲ (۳): ۵۲۵-۵۱۱.
یونسی، م. (۱۴۰۰). امکان‌سنجی استفاده از فرآیند اعمال آبیاری دقیق در بهبود شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در محصول گندم. رساله کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

Allen, R., Tasumi, M., and Trezza, R. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) Advanced Training and User's Manual. Idaho Implementation, Version 1.0.

Bastiaanssen, W.G.M., and Ali, S. 2003. A New Crop Yield Forecasting Model Based on Satellite Measurements Applied Across the Indus Basin, Pakistan. Agriculture, Ecosystems and Environment; 94: 321-340.

- Cambardella, C., Moorman, T., Parkin, T., Karlen, D., Novak, J., Turco, R. & Konopka, A. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501-1511
- Degirmencioglu, A., Mohtar, R.H., Daher, B.T., Ozgunaltay-Ertugrul, G. and Ertugrul, O. (2019). Assessing the sustainability of crop production in the Gediz basin, Turkey: A water, energy, and food nexus approach. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(4):2511-2522.
- García, I.F., García, A.M., Díaz, J.A.R., Barrios, P.M., & Poyato, E.C. (2018). *Water energy nexus in irrigated areas. lessons from real case studies*. London: Academic Press.
- Jolliffe, I. & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of The Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065):20150202.
- Kamrani, K., Roozbahani, A. and Shahdany, S.M.H. (2020). Using Bayesian networks to evaluate how agricultural water distribution systems handle the water-food-energy nexus. *Agricultural Water Management*, 239:106265.
- Lal, R., Mohtar, R., Assi, A., Ray, R., Baybil, H., Jahan, M. (2017). Soil as a Basic Nexus Tool: Soils at the Center of the Food–Energy–Water Nexus. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 4, 117,129.
- Liu, C., Zhang, Z., Liu, S., Liu, Q., Feng, B. and Tanzer, J. (2019). Evaluating Agricultural Sustainability Based on the Water–Energy–Food Nexus in the Chenmengquan Irrigation District of China. *Sustainability*, 11(19):.5350.
- Lodge, J., Dansie, A., Johnson, F. (2025). A review of globally available data sources for modelling the Water-Energy-Food Nexus. *Earth-Science Reviews*, 243, 104485.
- Nazari., B. (2020). Crop Mapping in Qazvin irrigation Network. Water productivity efficiency, and sustainability in the NENA Countries. Food and Agriculture Organization. ([Results | Water efficiency, productivity and sustainability in the NENA regions \(WEPS-NENA\) | Food and Agriculture Organization of the United Nations](#))
- Norouzi, N., Kalantari, G. (2020). The sun food-water-energy nexus governance model a case study for Iran. *Water-Energy Nexus*, 3, 72-80.
- Webster, R. & Oliver, M.A. (2000). *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley press, 271 p.

Investigation of Selected Soil–Water–Energy–Food Indicators in the Wheat and Barley Production System of the Qazvin Plain Irrigation Network

Mehrazad Mohases Mostashari^{1*}, Mahdi Younesi², Afshin Uossef Gomrokchi³

- 1- Associate Professor, Soil and Water Research Department, Agricultural Research and Education Center of Qazvin Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Qazvin, Iran.
- 2- PhD Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
- 3- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural Research and Education Center of Qazvin Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Qazvin, Iran.

Abstract

In recent years, the nexus approach has emerged as an interdisciplinary framework for the simultaneous analysis and management of water, energy, and food resources, yet the pivotal role of soil remains underemphasized. In this study, we integrated remote sensing (Landsat 8), geostatistics, and in situ data (soil texture and organic matter at 0–30 cm depth, and groundwater depth), and employed Principal Component Analysis (PCA) to determine each variable's contribution to total variance and derive layer weights. Finally, using a hectare-scale grid, we computed the soil–water–energy–food nexus index for wheat and barley fields in the Qazvin Plain irrigation network (2019–2020). The results indicate that the resulting nexus map is a practical tool for prioritizing critical areas and devising strategies to optimize water and energy use and improve soil quality. This study demonstrates that integrating remote sensing, geostatistics, and nexus analysis offers an effective pathway for sustainable agricultural resource management.

Keywords: Crop Yield, Geostatistics, Remote Sensing, Soil-Water-Energy-Food Nexus, Surface Energy Balance.