

اسد الحق



مدیریت تحصیلات تکمیلی

دانشکده آب و خاک

گروه آب

رساله جهت اخذ دوره دکتری تخصصی در رشته مهندسی آبیاری و زهکشی

عنوان:

تهیه نقشه رقومی مقدار آب در دسترس خاک و ارزیابی عدم قطعیت مرتبط با
آن در دشت سیستان

اساتید راهنما:

دکتر معصومه دلبری

دکتر فرزاد حسن پور

اساتید مشاور:

دکتر ناصر دوات گر

دکتر محمد جمشیدی

دکتر پیمان افراسیاب

پژوهشگر:

فاطمه کیخایی

تابستان 1402

چکیده

آگاهی از وضعیت آب قابل دسترس گیاه در خاک (TAW) برای برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت بهینه مصرف آب در مزرعه لازم است. این پژوهش با هدف مدل‌سازی رقومی آب قابل دسترس خاک با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین جنگل تصادفی (RF)، مدل کریجینگ معمولی (OK) و نیز روش شبیه‌سازی زمین‌آمار متوالی گوسی (SGS) برای تخمین و تعیین آستانه مرزی مقدار TAW انجام شد. پژوهش در وسعتی حدود 147 هزار هکتار از اراضی دشت سیستان در بازه زمانی 1398-1400 با برداشت 200 نمونه خاک از عمق 0-30 سانتی‌متری خاک و 18 متغیر محیطی مستخرج از تصاویر ماهواره لندست 8، مشتقات اولیه و ثانویه مدل رقومی ارتفاع، داده‌های اقلیم اجرا گردید. برای انتخاب متغیرهای کمکی از الگوریتم نظارت شده باروتا به همراه نظر کارشناسان استفاده شد. از تابع (Random Forest) و بسته (Caret) در محیط نرم افزار R برای مدل‌سازی براساس 75 درصد داده‌ها در مرحله واسنجی و 25 درصد برای اعتبارسنجی استفاده شد و عدم قطعیت نقشه‌های نهایی با دو روش بوتسراپ (Bootstrapping) و کا-مرتبه (K-Fold) کمی‌سازی گردید. TAW به روش SGS با 200 نقشه با احتمال وقوع یکسان پس از استانداردسازی داده‌ها با نرم افزار Sgems شبیه‌سازی شد و نقشه‌های تخمین نوع E، واریانس متناظر آن و نقشه‌های احتمال حد مرزی TAW رسم شد. نتایج نشان داد متغیرهای محیطی MSAVI، MRVBF، Plan Curvature و SAVI توسط مدل جنگل تصادفی به عنوان متغیرهای برتر در برآورد TAW انتخاب شدند و متغیرهای مستخرج از مدل رقومی ارتفاع ارتباط بهتری نسبت به متغیرهای مستخرج از تصاویر ماهواره ای با TAW داشتند. بیشترین مقدار TAW در غرب و شمال شرق دشت با بافت سنگین‌تر مشاهده شد. نتایج اعتبارسنجی مدل OK بیانگر ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) کمتر از 34 و اریبی (Bias) 0/65 درصد می‌باشد و در مدل RF مقادیر NRMSE و Bias به ترتیب برابر 37 و 0/088 حاصل شد. دقت پایین در هر دو روش و نیز مقدار 3 درصد دقت پایین‌تر روش RF نسبت به روش OK می‌تواند به دلیل مسطح بودن دشت، ناکافی بودن متغیرهای کمکی و نامتعادل بودن کلاس‌های بافت خاک در این دشت سیلابی با فرسایش بادی شدید باشد. فاصله تخمین 90 درصد (PI) در روش بوتسراپ در محدوده 0/4 تا 2/28 و در روش کا-مرتبه 0/05 تا 1/28 درصد وزنی بوده و نشان می‌دهد روش کا-مرتبه دارای عدم قطعیت باریکتری است. نقشه‌های شبیه‌سازی به روش SGS نشان داد که مقدار واریانس TAW براساس نمودار بازتولید برابر 8/1 (درصد وزنی) بدست‌آمد و نقشه تخمین نوع E و واریانس شرطی متناظر آن، هر دو از یک الگو پیروی می‌کنند و واریانس متناظر شرطی کاملاً وابسته به مقادیر TAW است. به طور کلی نقشه‌های تولید شده به روش شبیه‌سازی SGS می‌توانند برای شبیه‌سازی توزیع مکانی TAW و تعیین عدم قطعیت مرتبط با آن در نواحی مشابه با دشت سیستان به کار روند.

کلمات کلیدی: آب قابل دسترس خاک، ظرفیت زراعی خاک، نقطه پژمردگی خاک، متغیرهای محیطی،

کریجینگ معمولی، جنگل تصادفی، شبیه‌سازی

Abstract :

Understanding Total Available Water (TAW) in soil is critical for effective irrigation planning and optimizing water management in agricultural fields. This study aimed to model available soil water using Random Forest (RF) machine learning, Ordinary Kriging (OK), and Gaussian Sequential Geostatistical Simulation (SGS) to estimate TAW and establish its threshold values. The research was conducted across approximately 147,000 hectares of the Sistan Plain during 2018–2020. Soil samples were collected from a depth of 0–30 cm, with 200 samples in total, and 18 environmental variables derived from Landsat 8 satellite imagery, digital elevation model (DEM) derivatives, and climate data were used. To select covariates, Baruta's supervised algorithm was employed alongside expert opinions. Modeling was performed using the Random Forest function and the Caret package in R, with 75% of the data used for calibration and 25% for validation. Uncertainty in the final maps was quantified using Bootstrapping and Q-rank (K-Fold) methods. TAW was simulated using the SGS method with 200 maps generated with equal probability, following data standardization in SGeMS software. E-type estimation maps, corresponding variance maps, and TAW probability maps were produced. The results indicated that the environmental variables MRVBF, MSAVI, Plan Curvature, and SAVI were the most significant predictors of TAW in the Random Forest model. DEM-derived variables showed a stronger correlation with TAW than satellite-derived variables. The highest TAW values were observed in the western and northeastern parts of the plain, where soils had heavier textures. Validation of the OK model demonstrated a normalized root mean square error (nRMSE) of less than 34% and a bias of 0.65%. In contrast, the RF model had nRMSE and bias values of 37% and 0.088%, respectively. The slightly lower accuracy of the RF model (by 3%) compared to the OK model could be attributed to the flatness of the plain, insufficient auxiliary variables, and the imbalanced soil texture classes in this floodplain, which experiences severe wind erosion. The 90% prediction interval (PI) derived from the Bootstrap method ranged from 0.4% to 2.28%, while the weighted-order method yielded a narrower range of 0.05% to 1.28%, indicating that the weighted-order method offered lower uncertainty. Simulation maps produced using the SGS method showed that the TAW variance, based on the reproduction chart, was 1.8 (wt%). Both the E-type estimation map and its corresponding conditional variance map followed similar patterns, with the conditional variance being closely tied to TAW values. Overall, the maps generated by the SGS simulation method effectively modeled the spatial distribution of TAW and its associated uncertainty in regions similar to the Sistan Plain.

Keywords: soil available water, filed capacity, wilting point, environmental variables, normal kriging, random forest. Simulation



Faculty of Water and Soil

Dissertation for the doctoral course in irrigation and drainage engineering

Title:

Preparing a digital map of the amount of water available in the soil
and assessing the uncertainty related to it in the Sistan plain

Supervisors:

Dr. Masoume Delbari

Dr. Farzad Hasanpour

Consultant professors:

Dr. Naserdavatgar

Dr. Mohammad Jamshidi

Dr. Peyman Afrasiab

Researcher:

Fatemeh keykhaei

Summer 2022