مدل‌سازی تغییرات شوری خاک با استفاده از روش‌های نقشه‌برداری رقومی خاک و زمین آمار در منطقه زهک

محمدرضا پهلوان راد[۱]، خداداد دهمرده [۱] و غلامعلی کیخا[۱]
[۱]بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران؛
pahlavanrad@gmail.com

چکیده

شوری خاک یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید در اراضی دشت سیستان می‌باشد. در این تحقیق تعداد ۴۶۰ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر با فواصل ۷۵۰ متری در سطح ۴۱۰۰۰ هکتار از اراضی زهک دشت سیستان برداشت و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شد. ۳۶۱ نمونه برای آموزش و ۹۹ نمونه برای اعتبارسنجی مستقل استفاده شدند. روش‌های زمین آمار به عنوان روش مرسوم و روش جدید درختان تصمیم‌گیری تصادفی جهت تولید نقشه‌های شوری خاک مقایسه شدند. نتایج نشان داد که مقدار تغییرات شوری خاک در اراضی شهرستان زهک از کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر تا بیشتر از ۳۲ دسی زیمنس بر متر متغیر است. نتایج مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و خطای میانگین برای داده‌های آموزش و تست نشان داد که روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی نسبت به روش زمین‌آمار اندکی برتری داشت. استفاده از سایر متغیرهای کمکی مانند باندهای مختلف تصاویر ماهواره و ترکیب آنها که در این مطالعه استفاده نشده است در روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی می‌تواند نقشه تولیدی را بهبود بخشد.

واژه های کلیدی: اراضی مسطح، کریجینگ، نقشه‌برداری رقومی خاک، عدم قطعیت.

مقدمه

وجود نقشه‌های خاک از نیازهای اساسی در مطالعات علوم زمین می‌باشد و از منابع عمده اطلاعات برای مدیریت اراضی، منابع طبیعی و محیط زیست هستند. روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای تهیه نقشه خصوصیات خاک بکار می‌روند که می‌توان به زمین‌آمار، شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم اشاره کرد.

مدل زمین‌آمار: از اواسط قرن بیستم شاخه‌ای از علم آمار به نام زمین‌آمار پا به عرصه علوم نهاد که امکان پردازش داده‌ها و توصیف مکانی آنها را به وجود آورد. در زمین‌آمار وابستگی مکانی پارامترهای اندازه‌گیری شده به وسیله نیم-تغییرنمارسم می‌شود. نیم‌تغییرنما، تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیّر خاص را نشان داده و از ابزارهای اساسی زمین‌آمار برای بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک است (Isaaks and Srivastava, 1989). سکوتی اسکوئی و همکاران (۱۳۸۶) پراکنش شوری خاک را با استفاده از روش زمین‌آمار مورد ارزیابی قرار دادند و مشاهده کردند که روش کریجینگ دقت بالائی در برآورد شوری در نقاطی که نمونه‌برداری نشده است دارد.

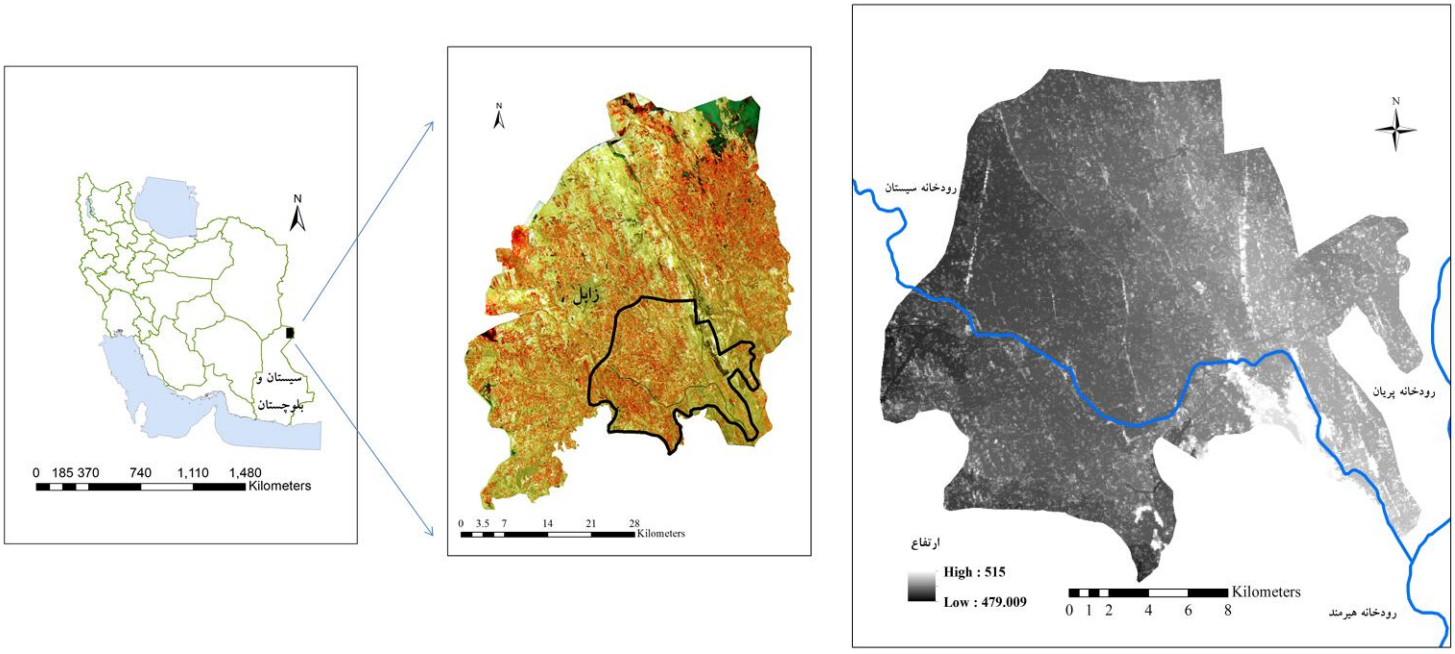
مدل درختان تصمیم گیری تصادفی (RF[۱]): مدل درختان تصمیم گیری تصادفی (RF[۲]) یک مدل با کارکرد پیچیده و تقریبا جدید در مطالعات خاک، توسعه یافته از مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی (CART[۳]) می‌باشد. لایب و همکاران (Ließ et al., 2012) روش‌های درختان تصمیم گیری تصادفی و درخت رگرسیون(RT[۴])را برای پیش بینی توزیع بافت خاک

[1] Random Forest
[2] Random Forest
[3] Classification and regression trees
[4] Regression tree

استفاده کرده و مشاهده کردند که روش درختان تصمیم گیری تصادفی دارای دقت بالاتری نسبت به درخت رگرسیون بود. et Pahlavan Rad al., 2014 روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی را روش مناسبی برای به‌روزرسانی نقشه‌های خاک و تخمین کلاس‌های خاک و در استان گلستان یافتند. Were et al., 2015 از روش‌های مختلف تهیه نقشه رقومی خاک را برای نقشه‌برداری ذخیره کربن آلی خاک، استفاده و نتایج آن‌ها دقت بالای نقشه‌های تهیه شده با روش RF را نشان داد. تحقیق حاضر جهت ارزیابی دو مدل زمین‌آمار و مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی ، برای تخمین شوری خاک در نقاط فاقد نمونه-برداری، در اراضی شهرستان زهک دشت سیستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه دارای مساحت حدود ۴۱۰۰۰ هکتار، در اراضی شهرستان زهک دشت سیستان، و در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است (شکل ۱). منبع آب منطقه مورد مطالعه، رودخانه هیرمند بوده که از کوههای هندوکوش در افغانستان سرچشمه می‌گیرد و پس از ۱۱۰۰ کیلومتر به دشت سیستان در ایران می‌رسد. مواد مادری منطقه به‌طور عمده رسوبات آبرفتی رودخانه هیرمند هستند. رژیم رطوبتی منطقه اریدیک و رژیم حرارتی آن مورد هایپرترمیک است. میانگین بارندگی سالیانه حدود ۵۵ میلیمتر و میانگین تبخیر سالیانه حدود ۴۵۰۰ میلیمتر است. از لحاظ شیب، منطقه تقریبا" مسطح و با شیب ۲-۱ درصد می باشد. نمونه‌برداری با فواصل ۷۵۰ متری در عمق ۳۰-۰ سانتیمتر و به تعداد ۴۶۰ نمونه انجام شد و پس از ارسال به آزمایشگاه و عبور از الک دو میلیمتری، هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌های برداشت شده تعیین گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

زمین آمار:

تجزیه و تحلیل ساختار مکانی داده‌ها و رسم نیم‌تغییرنما با استفاده از ArcGIS 10.3 انجام گردید. پس از بررسی داده‌ها و مناسب بودن آنها برای آنالیز زمین‌آماری، انواع مختلف مدل‌های نیم‌تغییر نما شامل کروی، گوسی، نمایی و خطی وهمچنین روش‌های مختلف میانیابی شامل معکوس فاصله، پلی نومیال عام، پلی نومیال موضعی و کریجینگ‌ها برازش و بهترین مدل‌ها بر اساس کمترین ریشه میانگین مربعات خطا و خطای میانگین انتخاب شدند.

روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی:

در استفاده از تکنیک درختان تصمیم‌گیری تصادفی از روش نقشه‌برداری رقومی خاک (DSM[5]) استفاده شد. نقشه-برداری رقومی خاک شامل روش‌ها و مدل‌هایی است که بین توزیع خاک (کلاس‌ها یا خصوصیات خاک) و داده‌هایی که به آسانی و با قیمت ارزان از طریق روش‌های سنجش‌ازدور، تصاویر و عکس‌های ماهواره‌ای و داده‌های ژئومورفومتری بدست می-آیند و تحت عنوان متغیرهای کمکی محیطی[6] نامیده می‌شوند ارتباط برقرار می‌کند.

از مدل ارتفاعی رقومی (DEM[7]) با بزرگ‌نمایی ۳۰ متر خصوصیات مختلف زمین شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیمرخ، شاخص خیسی، شاخص توپوگرافی LS (حاصل‌ضرب طول شیب و جهت شیب) و سطح پایه شبکه کانال‌ها با استفاده از نرم افزار SAGA استخراج گردیدند. از تصاویر ماهواره لندست 8 ETM+، شاخص پوشش گیاهی(NDVI[8]) و شاخص شوری (NDSI[9])، استخراج و در مدل سازی استفاده شد.

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (۱)$$

$$NDSI = \frac{Red-NIR}{Red+NIR} \quad (۲)$$

در این معادله NIR و Red مقادیر انعکاس امواج مادون قرمز نزدیک و قرمز هستند.

لایه‌های مختلف متغیرهای تولید شده با پیکسل‌های ۳۰ متر مربعی و مقادیر مختلف شوری خاک وارد نرم افزار R 3.2.5 (۲۰۱۶)گردید و مدل درختان تصمیم گیری تصادفی اجرا گردید. در مدل‌های نهایی از متغیرهایی که اهمیت بیشتری داشتند، استفاده شدند. در مدل RF تعداد درختان در جنگل و تعداد متغیرهای محیطی در گره هر درخت توسط کاربر مشخص می‌شود و مناسب‌ترین مقدار این دو پارامتر با روش سعی و خطا جهت بدست آوردن کمترین مقدار خطا بدست آمد.

مقایسه زمین‌آمار و درختان تصمیم‌گیری تصادفی:

به منظور ارزیابی دقت مدل‌ها ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (بیان‌گر دقت میانگین پیش‌بینی می‌باشد و شدت خطا منتظره را نشان می‌دهد) و خطای میانگین (ME) (برای تعیین اریب و تمایل به کم یا بیش برآورد) برای داده‌های آموزش و تست محاسبه گردید.

$$ME = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[z(x_i) - z^*(x_i)] \quad (۳)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}[z(x_i) - z^*(x_i)]^2}{N}\right]^{1/2} \quad (٤)$$

که $z^*(x_i)$ بیان‌گر مقادیر تخمینی، $z(x_i)$ مقادیر واقعی متغیرها و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل آماری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در محدوده مطالعاتی در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج این جدول میانگین شوری خاک در اراضی مورد مطالعه ۱۷/۳ دسی زیمنس بر متر با حداقل شوری ۰/۷ و حداکثر ۱۱۷ دسی زیمنس بر متر بود که نشان می‌دهد اراضی مورد مطالعه تحت تاثیر شوری قرار دارند. در دشت سیستان

[5] Digital Soil Mapping
[6] Environmental covariates
[7] Digital elevation model
[8] Normalized difference vegetation index
[9] Salinity index

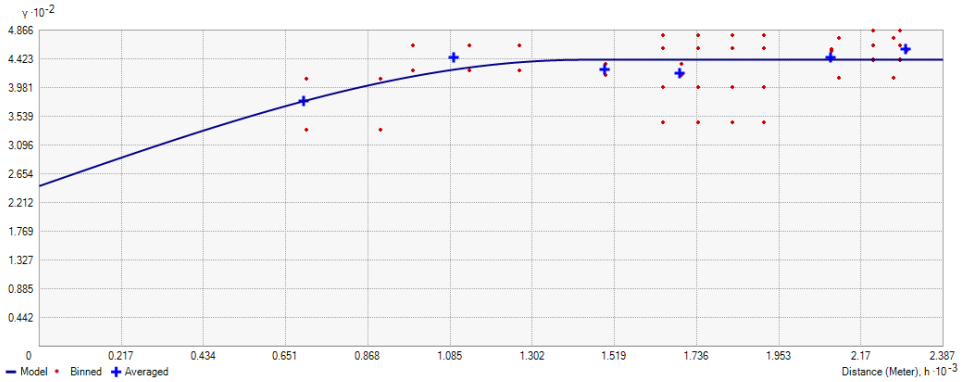
عواملی نظیر تبخیر زیاد (۴۵۰۰ میلیمتر در سال)، بالا بودن سطح ایستایی در زمان‌های ترسالی، وزش بادهای موسمی موسوم به بادهای ۱۲۰ روزه، وجود لایه محدود کننده در نزدیکی سطح زمین و عدم تطابق شیب لایه محدود کننده با شیب زمین در محدوده دشت سیستان، تراوش پذیری بسیار ضعیف خاکهای سطحی از عوامل از عوامل مهم موثر در شور و قلیائی شدن اراضی محسوب می گردد. در ۱۸ سال گذشته به دلیل خشکسالی در منطقه و رها شدن اراضی مقدار شوری خاک افزایش یافته است.

جدول۱- آماره‌های توصیفی هدایت الکتریکی خاک

تعداد	واحد	میانگین	انحراف معیار	میانه	حداقل	حداکثر	چولگی	افراشتگی
٤٦٠	$ds\ m^{-1}$	۱۷/۳	۲۲/۷	٦/٥	۰/۷	۱۱۷	۱/۹٥	٦/۸

اجرای مدل زمین آمار:

با انجام سعی و خطا بین روش‌های مختلف بهترین مدل میانیابی، روش کریجینگ معمولی با نیم‌تغییر نمای کروی بدست آمد (شکل ۲) که دارای کمترین میانگین مربعات خطا (۲۲/۹) بود. دیانی و همکاران (۱۳۹۱) در پهنه‌بندی شوری و سدیمی بودن اراضی غرب کارون مشاهده کردند که شوری و رس خاک هر دو دارای واریوگرام کروی بوده و بهترین روش میانیابی، روش کریجینگ بود.



شکل ۲. نیم تغییر نمای هدایت الکتریکی خاک

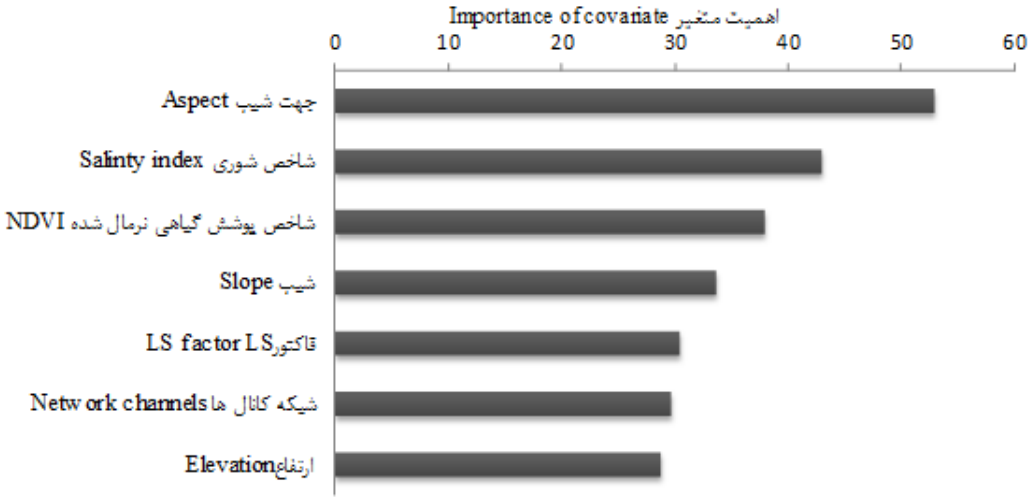
جدول ۲- پارامترهای نیم تغییرنمای هدایت الکتریکی خاک در منطقه مورد مطالعه

مدل	دامنه (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	درصد وابستگی مکانی	کلاس وابستگی مکانی
کروی	۱۴۳۶	۲۴۷	۱۹۳	۵۶	متوسط

اجرای مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی:

بهترین مدل، با روش سعی و خطا با ایجاد۵۰۰۰ درخت و استفاده از هفت متغیر به‌دست آمد. این متغیرها دارای اهمیت بیشتری در تخمین شوری خاک بودند که شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، سطح پایه شبکه کانال‌ها، شاخص LS، شاخص پوشش گیاهی و شاخص شوری بودند. سایر متغیرها تاثیر کمی در مدل سازی داشتند، از این رو، در مدل نهایی از این هفت متغیر استفاده شد.

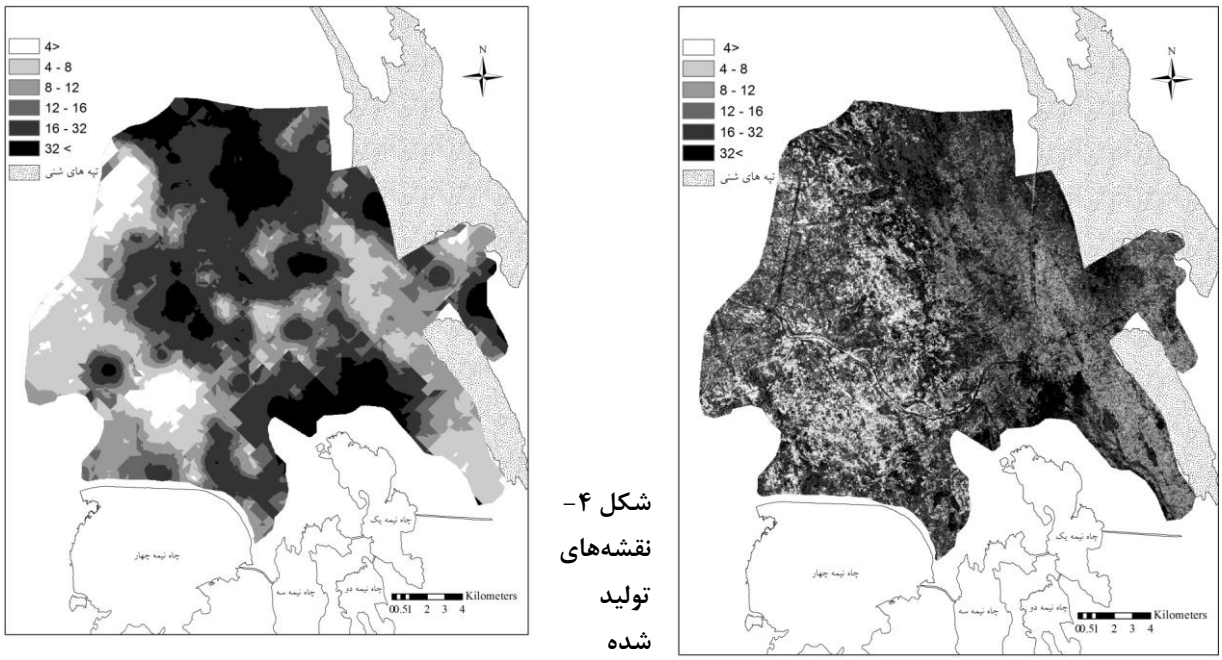
اهمیت متغیرها: نتایج نشان داد که جهت شیب، شاخص شوری، شاخص پوشش گیاهی و شیب دارای بیشترین اهمیت در تخمین نقشه تولیدی بودند (شکل ۳). شاخص شوری به عنوان یک متغیر اهمیت زیادی در تخمین نقشه شوری خاک داشته است. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) به عنوان یکی از متغیرهای مهم در تخمین شوری خاک بود. در مناطقی که شوری خاک کمتر بوده است رشد گیاه بیشتر بوده و درنتیجه پوشش گیاهی بهتری ایجاد شده است و توانسته است در پیش‌بینی شوری خاک اهمیت بیشتری پیدا کند. همچنین آبیاری اراضی برای کشت در اراضی تحت پوشش گیاهی منجر به کاهش شوری خاک شده است. جهت شیب و شیب از دیگر متغیرهای مهم در مدل‌سازی بودند و نشان داد که در جهات مختلف شیب شوری خاک متفاوت است و شیب اندک اراضی (٪ ۲-۱) در تغییرات شوری تاثیر دارد. تقی‌زاده مهرجردی و Taghizadeh-Mehrjardi, et al., 2015 شاخص خیسی و ژئومورفولوژی را به عنوان متغیرها در تخمین شوری خاک در منطقه اردکان یزد معرفی کردند. Wang et al., 2016 در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک دریافتند که شاخص پوشش گیاهی و جهت شیب از متغیرهای مهم در توزیع مکانی کربن آلی خاک هستند.



شکل ۳: اهمیت متغیرها درتخمین هدایت الکتریکی خاک

پهنه‌بندی شوری خاک:

نقشه‌های تولید شده با دو روش در شکل ۵ ارائه شده است که نشان می‌دهد در هر دو روش بیشترین شوری خاک در قسمت جنوبی و شمالی منطقه مطالعاتی می‌باشد و کمترین مقدار شوری خاک در قسمت جنوب شرقی و غرب منطقه مطالعاتی جایی که اراضی در فاصله کمتری از رودخانه سیستان که از شاخه های منشعب رودخانه هیرمند در دشت سیستان است قرار دارند و با کمترین جریان آب در آن آبیاری می‌شوند و همچنین با چاه‌هایی که در فاصله نزدیکتری به رودخانه حفر شده آبیاری می گردد که کیفیت بهتری نسبت به سایر نقاط اراضی زهک دارند.



شکل ۴- نقشه‌های تولید شده

هدایت الکتریکی خاک با مدل‌های درختان تصمیم‌گیری تصادفی (سمت راست)و زمین‌آمار (سمت چپ)

ارزیابی مدل‌ها

مقایسه مقدار جذر میانگین مربعات خطای آزمایش در داده‌های آموزش (جدول ۳) نشان می‌دهد که روش درختان تصمیم-گیری تصادفی دارای خطای خیلی کمتری نسبت به روش زمین‌آمار است. مقدار تفاوت میانگین خطا در دو روش دارای اختلاف کمی است. مقایسه نتایج داده‌های تست نشان داد که مقدار جذر میانگین مربعات خطای دو روش با اختلاف کمی در روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی (۱۹/۵) کمتر از روش زمین‌آمار (۲۰/۳) بود. مقدار جذر میانگین مربعات خطای و میانگین خطای مطلق در روش زمین‌آمار اندکی کمتر از روش درختان تصمیم‌گیری بود (جدول ۴). بنابراین روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی دارای اندکی دقت بالاتری نسبت به روش زمین‌آمار بود. هنگل و همکاران(۲۰۱۵) مشاهده کردند که استفاده از روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی دارای دقت بیشتری در مقایسه با روش کریجینگ در پیش‌بینی خصوصیات خاک در آفریقا داشت. افزایش یافتن خطا در داده‌های تست می‌تواند به دلیل مسطح بودن اراضی منطقه باشد که متغیرهای استخراج شده از نقشه رقومی ارتفاع نتوانسته اند در حد امکان تغییرات خاک را بیان کنند. (Akramkhanov, et al., 2011) ارتباط معنی‌داری بین خصوصیات اراضی و داده‌های شوری خاک به علت کم بودن ارتفاع منطقه مشاهده نکردند

جدول۳ : مقادیر میانگین جذر مربعات خطا و میانگین خطا برای داده‌های آموزش

پارامتر / مدل	درختان تصمیم‌گیری تصادفی	زمین‌آمار
RMSE	۱۰/۰	۲۱/۳
ME	-۰/۳	۰/۱

جدول۴ : مقادیر میانگین جذر مربعات خطا و میانگین خطا برای داده‌های تست

پارامتر / مدل	درختان تصمیم‌گیری تصادفی	زمین‌آمار
RMSE	۱۹/۵	۲۰/۳
ME	-۴/۱	-۲/۶

منابع

دیانی، م.، جعفری، س.، خلیل مقدم.، ب.، دهقانی، ا. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر شوری و سدیمی شدن خاک سطحی با استفاده از زمین‌آمار (مطالعه موردی: اراضی غرب رودخانه کارون در استان خوزستان). *پژوهش و سازندگی*. شماره ۹۴: ۸۶-۹۵.

سکوتی اسکوئی، ر؛ مهدیان، م؛ محمودی، ش، ۱۳۸۶ ،مقایسه کارایی برخی روشهای زمین آماری برای پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک، مطالعه موردی دشت ارومیه، مجله پژوهش و سازندگی، شماره۷۴ :۹۰-۹۸.

Akramkhanov, A., C. Martius, S.J. Park and J.M. Hendrickx. 2011. Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain. Geoderma, 163: 55-62.

Ließ, M., B. Glaser, and B. Huwe. 2012. Uncertainty in the spatial prediction of soil texture comparison of regression tree and random forest models. Groderma, 170: 70-79.

Minasny, B., A.B. McBratney and A.E. Hartemink. 2010. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base. Geoderma, 155: 132-139.

Pahlavan Rad, M.R., F. Khormali, N.Toomanian, C.W. Brungard, B. Komaki and P. Bogaert. 2014. Mapping and Updating Soil Series Using Random Forest and Conditioned Latin Hypercube Sampling in the Loess Soils of Northern Iran. Geoderma, (232-234): 97-106

Sreenivas, K., V.K. Dadhwal, S. Kumar, G.S. Harsha, T. Mitran, M.A. Fyzee and T. Ravisankar. 2016. Digital mapping of soil organic and inorganic carbon status in India. Geoderma, 269: 160-173.

Taghizadeh-Mehrjardi, R., F. Sarmadian, M.J. Rousta, M.H. Rahimian, M.Omid and N. Toomanian. 2015. Digital mapping of apparent electrical conductivity using regression kriging and local variogram in Ardakan region. Journal of Soil Management and Sustainable, 4(4): 1-29 (In Persian).

Wang, S ., Q. Wang, K. Adhikari, S. Jia, X. Jin, H. Liu. 2016. Spatial-Temporal Changes of Soil Organic Carbon Content in Wafangdian, China. Sustainability, 8: 1154; doi:10.3390/su8111154.

Were, K., D.T. Bui, B. Disk, and B.R. Singl. 2015. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forest for predicting soil organic carbon stocks across an afromonkane land scape. Ecological indicator, 52: 394-403

Modeling soil variations using digital soil mapping and geostatistics methods in Zahak region

M. R. Pahlavan-Rad[1], Kh. Dahmardeh[1] and Gh. A. Keykha[1]

[1]Soil and Water Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran

Abstract

Soil maps are the major sources of information for land management, natural resources and environmental. In this research, 460 soil samples were collected from 0-30 cm depth on a 750 m grid in 41000 ha from the lands of Zahak of Sistan plain and then electrical conductivity of saturation paste was measured. 361 samples were used for training and 99 for testing. geostatistical as conventional method and random forest (RF) as new technique were compared to produce soil salinity maps. The results showed that soil salinity ranges from < 4ds/ m to > 32ds/ m in Zahak county results root mean square error and mean error for the training and testing data showed that random forest method was little better than geostatistics. The use of other covariates such as the bands of satellite images and their different compositions with RF, can be produced map higher accurate map.

Keywords: Low Relief, Random Forest, Dry region, Modeling.