Investigating Spatial Variability of the hydraulic characteristics of Sistan plain soils

Abstract:

Saturated hydraulic conductivity (Ks) is one of the most important soil physical characteristics that plays a major role in the soil hydrological behaviour. In this study, 312 surface (0-30 cm) soil samples were taken and their hydraulic characteristics were measured. Also, soil texture and bulk density was measured in 2080 surface (0-30 cm) soil samples. The results showed that the soil texture of the area varied from sandy to clay and Most of the soils in the region had medium texture. The average bulk density of the region was 1.43 $gr.cm^{-3}$. the average field capacity in all the cities of Dasht Sistan is less than 35%, which are in the class of low field capacity. The highest and lowest amount of available water was also observed in Hirmand and Zabul respectively. The coefficient of change of available water in all surface soils of Sistan Plain lands is 33.83% and it is in the range of very high variability. According to the average values of saturated hydraulic conductivity, the lowest and highest values of saturated hydraulic conductivity (Ks) of the surface soil were in Zabul (0.15 m per day) and Hirmand (0.42 m per day) respectively.

Keywords: *Field Capacity, Hydraulic Characteristics, Physical Characteristics, Sistan Plain*

بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های دشت سیستان

چکیده:

هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که نقشی عمده در رفتار هیدرولوژیکی خاک دارد. در این تحقیق، ۳۱۲ نمونه خاک سطحی نمونه‌برداری و ویژگی‌های هیدرولیکی آن‌ها اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، بافت خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک در ۲۰۸۰ نمونه خاک سطحی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بافت خاک منطقه از شنی تا رسی متغیر بود و بیش‌تر خاک‌های منطقه دارای بافت متوسط بود. میانگین جرم مخصوص ظاهری منطقه ۱/۴۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. میانگین رطوبت ظرفیت زراعی در کل شهرستان‌های دشت سیستان کم‌تر از ۳۵ درصد بود که در کلاس ظرفیت زراعی کم قرار می‌گیرند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رطوبت قابل‌استفاده گیاه نیز به‌ترتیب در شهرستان هیرمند و زابل مشاهده شد. ضریب تغییرات رطوبت قابل‌استفاده در کل خاک‌های سطحی اراضی کشاورزی دشت سیستان ۳۳/۸۳ درصد و در محدوده تغییرپذیری خیلی زیاد قرار داشت. با توجه به مقادیر میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی به‌ترتیب مربوط به زابل (۰/۱۵ متر در روز) و هیرمند (۰/۴۲ متر در روز) بود.

کلید واژه‌ها: *ظرفیت زراعی، ویژگی‌های هیدرولیکی، ویژگی‌های فیزیکی، و دشت سیستان*

مقدمه:

روابط آب‌وخاک به قدری پیچیده هستند که حتی پیشرفته‌ترین مدل‌های ریاضی نیز قادر به شبیه‌سازی آن‌ها نمی‌باشند. آگاهی از این روابط در مسائل مختلف آبیاری و زهکشی، تعیین نیاز آبی گیاهان، مقدار آب موجود در خاک، کنترل شوری، مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری و غیره بسیار اهمیت دارد. ازاین‌رو، با توجه به برنامه‌های مدیریت آبشویی، اصلاح خاک و برنامه‌ریزی آبیاری برای اراضی دشت سیستان، مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های دشت سیستان اهمیت زیادی دارد. نکته مهم و قابل‌توجه این است که اندازه‌گیری حدود ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم، رطوبت اشباع و هدایت هیدرولیکی خاک زمان‌بر و پرهزینه بوده و نیاز به دقت فراوان دارد، تا جایی که بسیاری از محققین بر این باورند که برای جلوگیری از اتلاف زمان و هزینه، این ویژگی‌ها را با استفاده از نرم‌افزارها یا توابع انتقالی موجود، برآورد کنند.

نفوذپذیری نیز از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک است که کمی‌کردن آن برای بسیاری از مطالعات مانند مدل‌سازی بارش و رواناب، طراحی سیستم‌های آبیاری، بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی زمان‌بندی آبیاری دشت سیستان ضروری است. برآورد نفوذپذیری در زمینه ارزیابی انتقال املاح و مسائل زیست‌محیطی، تعیین روش، دور و مدت مناسب آبیاری به منظور جلوگیری از هدررفت آب کاربرد دارد. خاک‌هایی که دارای محدودیت نفوذپذیری هستند، بخش کم‌تری از باران را در خود نفوذ داده و در نتیجه رواناب و رسوب بیش‌تری تولید می‌کنند. از

ویراستاری شاد

آنجا که نفوذپذیری تابع ویژگی‌های خاک بوده و این ویژگی‌ها، بین خاک‌ها یکسان نبوده، از این‌رو میزان نفوذپذیری خاک‌های مختلف، متفاوت است.

پیشینه پژوهش

ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها به طور عمده به مقدار، اندازه و پایداری خاکدانه‌ها در آب بستگی دارد (Gadouri et al., 2017). اثر تخریبی سدیم آب آبیاری بر تخریب ساختمان و منافذ موجود در خاک از طریق تورم کانی‌های رسی و از هم پاشیدن خاکدانه اتفاق می‌افتد. این فرآیندها باعث کاهش اندازه و پیوستگی منافذ خاک می‌گردند (Marchuk, 2013) ولی اثر SAR بر پراکنش ذرات و تخریب ساختمان خاک به مقدار EC نیز بستگی دارد و مقدار شوری تعیین‌کننده حد بحرانی تخریب ساختمان خاک توسط سدیمی می‌باشد (Weil et al., 2016). بطورکلی تورم و سدیمی شدن خاک سبب انسداد خرج و فرج و کانال‌ها و مجاری شده که منجر به کاهش حرکت آب در خاک و هم‌چنین کاهش نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی می‌گردد (Rezaei et al., 2020).

پژوهش پهلوان‌راد (۱۳۸۷) با بررسی وضعیت و پراکنش مکانی نفوذپذیری خاک سطحی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در۲۲۷۰۰۰ هکتار از اراضی دشت سیستان نشان داد که بیش‌ترین مقدار نفوذپذیری خاک مربوط به مناطق جنوب شرقی بود که مقدار ماسه بیش‌تری داشت. کم‌ترین مقادیر هم مربوط به قسمت‌های شمالی بود که نزدیک تالاب هامون قرار داشت و مقدار رس بیش‌تری داشت. هم‌چنین نقشه تهیه شده با مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی در مقایسه با مدل زمین‌آمار دارای صحت بیش‌تری بود و با واقعیات میدانی مطابقت بیش‌تری داشت و فرآیندهای توزیع نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در دشت سیستان به‌علت سیلابی بودن پیچیده بود. Weil et al., (2016) اظهار کردند که سدیم اثرات نامناسبی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک خواهد داشت و با ایجاد سله سطحی و پراکندگی سبب کاهش نفوذپذیری می‌گردد. احمدی و همکاران (۱۳۹۶)، هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks)، لایه سطحی خاک با بافت لوم و لوم‌شنی دشت سیستان را پهنه‌بندی کردند. پژوهش آن‌ها در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل (مزرعه سد سیستان) به مساحت حدود ۱۰۰ هکتار انجام شد. برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع سطحی، آزمایش نفوذ بیرکن در ۱۱۳ نقطه مشخص به فاصله تقریبی ۸۰ متر در گستره مزرعه انجام دادند. بررسی هم‌بستگی پیرسون بین درصد اجزای بافت خاک و Ks نشان داد که در منطقه موردمطالعه، در هر سه الگوریتم محاسباتی آزمایش بیرکن، درصد شن با هدایت هیدرولیکی اشباع هم‌بستگی مثبت و درصد رس و سیلت هم‌بستگی منفی داشت.

Vaezi et al., (2014) در پژوهشی نشان داد که کاهش مواد آلی باعث افزایش چگالی ظاهری و کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش پایداری خاکدانه‌ای و موجب کاهش میزان هدایت هیدرولیکی خاک شد. Eck et al., (2016) در پژوهشی نشان دادند خاکدانه‌ها با ایجاد منافذ درشت که در انتقال آب خاک نقش دارند، بر هدایت هیدرولیکی اشباع اثر می‌گذارند.

تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) طی تحقیقی نتایج نشان دادند که افزایش EC، موجب هم‌آوری ذرات رُک شده به‌طوری‌که برخی منافذ جدید را در خاک ایجاد کرده بود و در نتیجه ظرفیت نگهداشت آب در خاک افزایش داشت. افزایش SAR سبب پراکنش ذرات ریز خاک گردیده ولی با تبدیل برخی منافذ درشت و متوسط به منافذ ریز، مقدار آب نگهداری شده در مکش‌های ماتریک بالا افزایش داشت؛ اما مقدار آب قابل‌استفاده خاک برای گیاه تغییرات معنی‌داری نداشت هم‌چنین افزایش SAR و کاهش شوری خاک به‌طور مستقیم با کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع مرتبط بود.

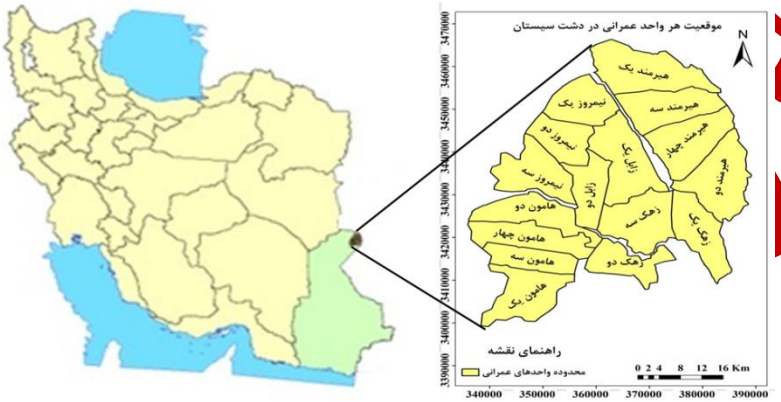
شعبانی و همکاران (۱۳۹۸) طی تحقیقی در اراضی دانشگاه زنجان به‌منظور تخمین روند تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های مختلف خاک، نشان دادند که بیش‌ترین ضریب تغییرات به ویژگی هدایت هیدرولیکی اشباع ۴۳/۲۸ درصد و کم‌ترین آن به جرم مخصوص ظاهری ۵/۵۳ درصد تعلق داشت. کلاس هم‌بستگی مکانی برای ویژگی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، متوسط و برای سایر ویژگی‌های مورد مطالعه، قوی بود. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی حاکی از آن بود که با افزایش درصد رس از جنوب به شمال منطقه، مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش و مقادیر آب قابل‌استفاده در خاک افزایش داشت.

مدل سازی نشده

Abou Hossien et al., (2022) با بررسی تأثیر عمق خاک‌ورزی عمیق بر برخی از خواص خاک شور در خاک رسی شور نشان دادند که با افزایش عمق خاک‌ورزی تخلخل کل و هدایت هیدرولیکی افزایش و هدایت الکتریکی و pH داشت. Mahmoud et al., (2017) نیز طی پژوهشی در مصر نشان داد که خاک‌ورزی عمیق خاک شور باعث افزایش قابل‌توجه هدایت هیدرولیکی خاک شد.
شوری و سدیم شدن خاک می‌تواند آسیب شدیدی به ساختار خاک وارد کند که پیامدهای مهمی برای کشاورزی آبی دارد. با توجه به برنامه‌های مدیریت آبشویی، اصلاح خاک و برنامه‌ریزی آبیاری برای اراضی دشت سیستان، این پژوهش با هدف مطالعه ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های دشت سیستان و بررسی تغییرات مکانی آنها انجام شد.

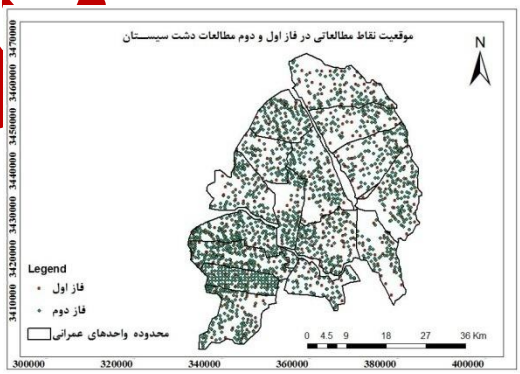
روش‌شناسی پژوهش:

مطالعه حاضر در اراضی شهرستان‌های واقع در دشت سیستان شامل زهک، هامون، هیرمند، نیمروز و زابل به وسعت ۴۶۰۰۰ هکتار و در قالب ۱۶ ناحیه عمرانی (شکل ۱) انجام شد.



شکل ۱– موقعیت واحدهای عمرانی در دشت سیستان

نمونه‌برداری در دو فاز انجام شد. در فاز نخست، در ۳۱۲ موقعیت از گروه‌های هم آب با توزیع جغرافیایی به نسبت یکنواخت نمونه‌برداری شد. در فاز دوم، از سایر گروه‌های هم‌آب (در مجموع به تعداد ۱۰۸۰ موقعیت) از خاک سطحی (۳۰ ۰ سانتیمتر) نمونه مرکب تهیه شد. موقعیت منطقه مطالعه شده و نقاط نمونه‌برداری شده در فاز اول و دوم در شکل ۲ نشان داده شد.



شکل ۲– موقعیت محدوده مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری شده در دشت سیستان

پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه، ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به روش صفحات فشاری(آریا و میرخانی، ۱۳۹۴)، مقدار آهک خاک با روش خنثی‌سازی اسید، کربن آلی خاک با روش والکی و بلاک، نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع برای خاک‌های سبک با روش بار ثابت و خاک‌های سنگین بافت با روش بار افتان اندازه‌گیری شد (آریا و میرخانی، ۱۳۹۴). از آنجا

پذیرفته شده

که اندازه‌گیری حدود ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، و هدایت هیدرولیکی خاک زمان‌بر و پرهزینه بوده و نیاز به دقت فراوان دارد لذا این ویژگی‌ها برای ۳۱۲ نمونه خاک سطحی فاز اول مطالعات دشت سیستان اندازه‌گیری شدند.

مهم‌ترین آماره‌های توصیفی دربرگیرنده کمینه، بیشینه، میانه، میانگین، شاخص‌های پراکنش و شکل توزیع (واریانس، چولگی، کشیدگی و ضریب تغییرات) به کمک نرم‌افزار SPSS (version, 18) مشخص شدند. هم‌چنین چگونگی توزیع داده‌ها (نرمال بودن یا عدم پیروی توزیع داده‌ها از الگوی نرمال) با استفاده از آزمون معنی‌داری چولگی و کشیدگی بررسی و داده‌هایی که از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کردند، با تبدیل لگاریتمی نرمال شدند. پس از تبدیل داده‌های غیرنرمال به نرمال، ناهمسان‌گردی و پارامترهای تغییرنما متغیرها تعیین و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و GS^+ و روش کریجینگ نقشه‌های متغیرهای مطالعه شده برای واحدهای عمرانی مختلف تهیه شد.

به‌منظور ارزیابی صحت و دقت روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی و وزن‌دهی عکس فاصله در برآورد ویژگی‌ها در نقاط نمونه‌برداری شده از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطای برآورد نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (R^2) و میانگین اُریب خطا (MBE) استفاده شد. این آماره‌ها (روابط ۱، ۲ و ۳) عبارت‌اند از:

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\varphi_m - \varphi_p)^2}{2}}}{\bar{\varphi}_m}$$ (رابطه ۱)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(\varphi_m - \varphi_p)^2}{\sum_{i=1}^{n}(\varphi_m - \bar{\varphi}_m)^2}$$ (رابطه ۲)

$$MBE = bia = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i) - Z(x_i)]$$ (رابطه ۳)

که در آن؛ $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد ویژگی موردنظر در نقطه‌ی x_i، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده ویژگی در نقطه x_i، $\bar{Z}$ مقدار میانگین متغیر و n تعداد نقاط می‌باشد.

یافته های پژوهش

مقادیر میانگین ویژگی‌های فیزیکی و هدایت الکتریکی خاک در شهرستان‌های دشت سیستان در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در منطقه سیستان بافت خاک زهک سبک‌تر و نیمروز سنگین‌تر بود. از نظر شوری خاک نیز خاک زابل شوری کم، هامون و هیرمند دارای شوری متوسط و زهک شوری نسبتاً زیاد و خاک نیمروز دارای شوری زیاد بود.

جدول ۱- مقادیر میانگین ویژگی‌های فیزیکی و هدایت الکتریکی خاک در شهرستان‌های دشت سیستان

شهرستان	رس %	شن %	سیلت %	جرم مخصوص ظاهری $gr.cm^{-3}$	آب قابل‌استفاده %	هدایت هیدرولیکی اشباع $m.day^{-1}$	EC $dS.m^{-1}$
زهک	۱۲/۷۰	۵۴/۶۲	۳۲/۶۳	۱/۴۸	۱۲/۱۱	۰/۳۰	۸/۵۴
هامون	۱۴/۷۶	۴۰/۵۳	۴۴/۷۴	۱/۴۲	۱۵/۰۵	۰/۲۱	۵/۵۷
هیرمند	۱۷/۱۹	۳۵/۱۰	۴۷/۰۱	۱/۴۰	۱۶/۰۸	۰/۴۲	۴/۶۰
زابل	۱۶/۷۸	۴۳/۲۳	۳۹/۹۷	۱/۴۸	۱۴/۲۷	۰/۱۵	۳/۳۰

ویراستاری نشده

نیمروز	۲۰/۴۷	۳۲/۶۵	۴۶/۹۱	۱/۴۰	۱۵/۰۸	۰/۲۳	۲۰/۷
کل	۱۶/۱۰	۴۱/۵۰	۴۲/۴۳	۱/۴۳	۱۴/۷۲	۰/۲۳	

رطوبت قابل‌استفاده

آماره‌های توصیفی مربوط به رطوبت قابل‌استفاده در شهرستان‌های دشت سیستان در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رطوبت قابل‌استفاده گیاه به‌ترتیب در شهرستان هیرمند و زابل مشاهده شد. ضریب تغییرات رطوبت قابل-استفاده در کل خاک‌های سطحی سرزمین‌های دشت سیستان ۳۳/۸۳ درصد بوده که در محدوده تغییرپذیری خیلی زیاد قرار دارد. این نکته دور از انتظار نیست زیرا ضریب تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم که عناصر تعریف کننده این متغیر می-باشند نیز به ترتیب با ۳۴/۳۷ درصد و ۵۸/۵۲ درصد بود و در گروه تغییرپذیری خیلی زیاد قرار دارد.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی مربوط به رطوبت قابل‌استفاده (٪) در شهرستان‌های دشت سیستان.

شهرستان	تعداد	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	افراشتگی	کمینه	بیشینه
زهک	۶۰	۱۲/۱۱	۱۲/۹۴	۳/۸۷	-۰/۰۴۷	-۱/۰۳	۱/۸۵	۲۱/۵۸
هامون	۶۱	۱۵/۰۵	۱۵/۶	۳/۸۷	۰/۱۶۷	۰/۳۲۲	۳/۰۳	۲۶/۲۱
هیرمند	۹۶	۱۶/۰۸	۱۶/۸۴	۴/۲۴	۰/۴۷۷	۰/۸۶۹	۲/۴۳	۲۸/۶۸
زابل	۳۵	۴/۲۷	۱۴/۴۸	۲/۹۷	۰/۱۵۷	-۰/۶۰۳	۶/۶۴	۲۱/۰۷
نیمروز	۵۰	۱۵/۰۸	۱۵/۴۲	۳/۱۵	۰/۸۴	۰/۹۹۴	۶/۶۹	۲۴/۴۹
کل	۳۱۲	۱۳/۷۲	۱۵/۲۱	۴/۹۸	۰/۳۷۶	۰/۶۲۱	۸۵/۱	۲۸/۶۸

جدول ۳ ضرایب هم‌بستگی پیرسون خطی بین رطوبت‌های ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و آب قابل‌استفاده گیاه و دیگر ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد. بیش‌ترین هم‌بستگی این ضرایب رطوبتی با شن، سیلت و رس است. با افزایش درصد ذرات شن و با کاهش درصد ذرات رس و سیلت مقادیر ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و رطوبت قابل‌استفاده خاک کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، سبک شدن بافت و تراکم بیشتر خاک، رطوبت خاک در همه مکش‌های بررسی شده کاهش نشان می‌دهد. افزایش مقدار رس در خاک باعث بالا رفتن منافذ ریز شده و ظرفیت نگهداری آب در خاک را زیاد می‌کند. با افزایش جرم مخصوص ظاهری به‌علت کاهش تخلخل کل، رطوبت ظرفیت مزرعه کاهش می‌یابد. با افزایش میزان شن در خاک به علت افزایش منافذ درشت، میزان آب ثقلی افزایش و رطوبت در ظرفیت مزرعه کاهش می‌یابد. تأثیر کربن آلی بر رطوبت ظرفیت زراعی معنی‌دار نشد. در دشت سیستان، کربن آلی، تأثیر معنی‌داری بر هیچ‌یک از رطوبت‌های خاک نداشت. این موضوع احتمالاً به این دلیل مقادیر پایین کربن آلی و دامنه تغییرات آن نسبت به متغیرهای مستقل دیگر می‌باشد.

جدول ۳- هم‌بستگی خطی پیرسون بین رطوبت‌های ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و مقدار قابل‌استفاده گیاه و دیگر ویژگی‌های خاک

ویژگی	EC	sand	clay	silt	SAR	BD	OC
ظرفیت زراعی	۰/۴۱**	-۰/۹۱۹**	۰/۷۷۷**	۰/۷۵۹**	۰/۴۲۳**	-۰/۳۷۸**	۰/۱۷۲
پژمردگی دائم	۰/۲۲*	-۰/۵۲**	۰/۸۸۶**	۰/۳۸۹**	۰/۲۹*	-۰/۵۷**	۰/۱۱۴
آب قابل‌استفاده گیاه	۰/۳۳**	-۰/۸۵**	۰/۷۲**	۰/۷۳**	۰/۳۳۵**	-۰/۳۹**	۰/۱۲

**: هم‌بستگی در سطح یک درصد معنی‌دار است. *: هم‌بستگی در سطح پنج درصد معنی‌دار است.

ویراستاری نشده

کمبود میزان کربن آلی، تغییر بافت و تخریب ساختمان خاک در اثر بالا بودن غلظت سدیم ازجمله عواملی هستند که می‌توانند منجربه تغییر توزیع خلل و فرج خاک و کاهش نگه‌داری رطوبت خاک در دشت سیستان گردند. مواد آلی در حفظ پایداری ساختمان خاک، کمک به نفوذ آب و هوا، بهبود نگه‌داشت آب‌وخاک و کاهش فرسایش بسیار مهم می‌باشد. در دشت سیستان هدررفت کربن آلی خاک به دلائل متعددی ازجمله زراعت پیوسته تعداد محدودی از گیاه (گندم و جو) و رعایت ننمودن تناوب زراعی، برداشتن کامل کاه بعد از برداشت محصول برای چرای دام و هم‌چنین کاهش ورود کربن آلی به خاک به‌دلیل ویژگی‌های اقلیمی (کاهش بارندگی، گرمای بیش از حد و رشد ناکافی پوشش گیاهی) زیاد است که معمولاً به تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک منجر می‌شود. کاهش مواد آلی باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری، کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش پایداری ساختمان خاک شده و میزان نگهداشت آب در خاک کاهش می‌یابد.

نقاط رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک‌های بررسی شده با هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم خاک رابطه مثبت و معنی‌دار داشتند. در خاک‌های شور و قلیا، به‌دلیل تخریب ساختمان خاک، خلل و فرج ریز افزایش یافته و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب در یک مکش خاص نسبت به خاک غیر شور افزایش می‌یابد. اما، با افزایش شوری و قلیائیت، پتانسیل اسمزی خاک و در نتیجه پتانسیل آب کل خاک افزایش یافته و در نتیجه برای تخلیه رطوبت خاک نیاز به مکش بیش‌تری وجود دارد. شکوهی‌فر و همکاران(۱۳۹۴) نشان دادند که در یک خاک لومی‌شنی افزایش شوری موجب کاهش تخلخل خاک، آب قابل‌استفاده گیاه و هدایت هیدرولیکی اشباع شد.

مؤلفه‌های مدل نیم‌تغییرنمای برازش یافته بر رطوبت قابل‌استفاده گیاه در خاک‌های سطحی دشت سیستان نشان می‌دهد (جدول ۴) که رطوبت قابل‌استفاده گیاه دارای ساختار مکانی تقریباً ضعیف است که بیش‌تر ناشی از تأثیر عوامل ذاتی خاک از جمله فرآیندهای خاک‌سازی مانند مواد مادری، اقلیم و شور یا قلیا بودن خاک است.

جدول ۴- مؤلفه‌های مدل نیم تغییر نمای برازش یافته بر رطوبت قابل‌استفاده گیاه (٪) در خاک‌های سطحی دشت سیستان

ویژگی خاک	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	حد آستانه (C_0+C)	دامنه تأثیر (متر)	$C_0/(C_0+C)$ (%)	R^2	RSS
رطوبت قابل‌استفاده	نمایی	۱۹	۲۵/۷	۱۳۵۰۰	۷۴	۰/۹۶۳	۰/۲۸۸

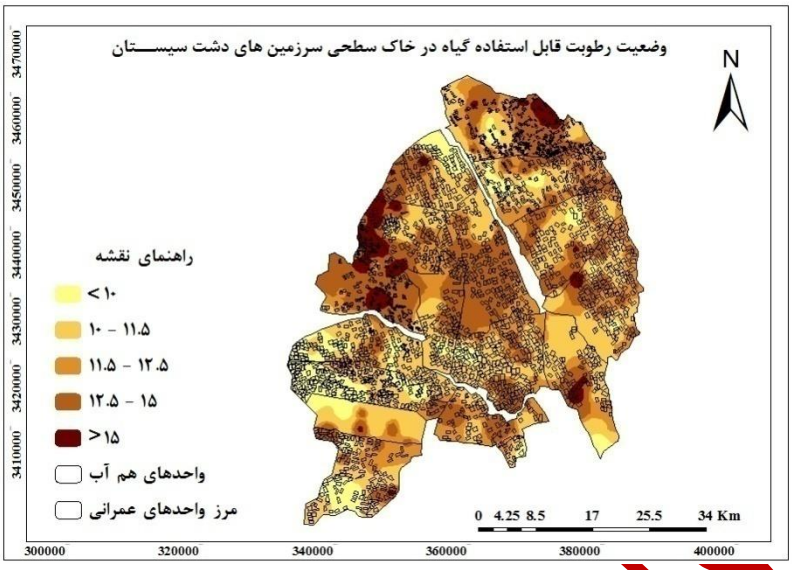
پس از تجزیه و تحلیل تغییرنما، با توجه به هم‌بستگی مکانی به نسبت ضعیف این متغیر، مدل وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) با دقت و صحت بالاتر و خطای کم‌تر برای میان‌یابی و پهنه‌بندی داده‌ها به کمک GIS استفاده شد. جدول ۵ آماره‌های ارزیابی صحت آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۵- آماره‌های ارزیابی صحت برآورد رطوبت قابل‌استفاده گیاه (٪) با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله

رطوبت نقطه پژمردگی دائم	NRMSE	R^2	MBE
IDW	۲۴/۱	۰/۶۹	۰/۱۸

شکل ۳ وضعیت رطوبت قابل‌استفاده گیاه در اراضی دشت سیستان را نشان می‌دهد. مقدار آب قابل‌استفاده در شرق و شمال و مرکز دشت بیش‌تر از دیگر مناطق می‌باشد. بر اساس مساحت هر کلاس رطوبت قابل‌استفاده گیاه در واحدهای هم‌آب (جدول ۶)، بیش ترین درصد از واحدهای هم‌آب (۳۶ درصد) در کلاس رطوبتی ۱۱/۵-۱۰ درصد که متعلق به کلاس لوم‌شنی و رسی است، قرار می‌گیرند. پس از آن کلاس رطوبتی ۱۵-۱۲/۵ درصد (لوم‌شنی ریز، رسی‌سیلتی)، کلاس ۱۲/۵-۱۱/۵ درصد (رسی)، کم‌تر از ده درصد (شن و شن لومی) و بیش‌تر از ۱۵ درصد (سیلت‌لوم و لوم‌رسی‌سیلتی) قرار دارند.

پذیرفته شده



شکل ۳- وضعیت رطوبت قابل‌استفاده گیاه (٪) در خاک سطحی سرزمین‌های دشت سیستان

جدول ۶- مساحت هر کلاس رطوبت حجمی قابل‌استفاده گیاه (٪) در واحدهای هم‌آب (هکتار) در دشت سیستان

مقدار رطوبت	مساحت واحد هم‌آب (هکتار)	درصد در واحد هم‌آب
<۱۰	۵۶۹۴/۹	۱۱/۵۸
۱۱-۱۰/۵	۱۷۹۵۳/۷	۳۶/۵
۱۱/۱۲-۵/۵	۱۱۲۶۷/۱	۲۲/۹
۱۲/۱۵-۵	۱۲۷۲۶/۲	۲۵/۹
>۱۵	۱۵۳۸/۲	۳/۱۳
کل	۴۹۱۸۰/۲۸	۱۰۰

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی

جدول ۷ آماره‌های مربوط به هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های سطحی شهرستان‌های دشت سیستان را نشان می‌دهد.

جدول ۷- آماره‌های مربوط به هدایت هیدرولیکی اشباع (متر در روز) در شهرستان‌های دشت سیستان.

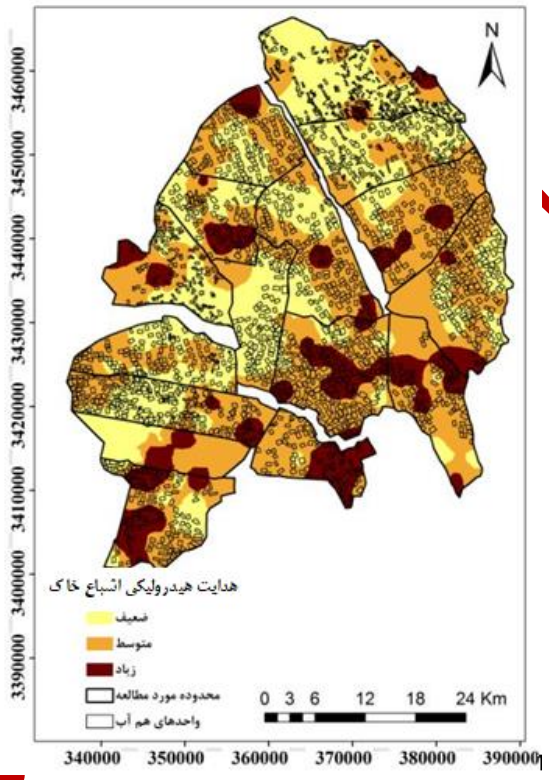
	تعداد	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	افراشتگی	کمینه	بیشینه
زهک	۶۱	۰/۳	۰/۱۱	۰/۴۶۱	۲/۴۱	۵/۵۸	۰/۰۰۰۵	۲/۰۷
هامون	۶۸	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۴۴	۴/۱۸	۲۰/۳۷	۰/۰۰۰۲	۲/۸۶
هیرمند	۹۷	۰/۴۲	۰/۰۵۷	۱/۱	۲/۵۱	۱۳/۱۴	۰/۰۰۰۴	۶/۴۹
زابل	۳۵	۰/۱۵	۰/۰۵۵	۰/۳۲	۲/۵	۱۰/۲۱	۰/۰۰۱۹	۲/۵۱
نیمروز	۵۱	۰/۲۳	۰/۰۶۲	۰/۵۸	۳/۲۵	۸/۸۹	۰/۰۰۰۹	۴/۸۶
کل	۳۱۲	۰/۲۳	۰/۰۶۱	۰/۶۱	۶/۴	۵۰/۶	۰/۰۰۰۲	۶/۴۹

بر اساس مقادیر میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌ترتیب مربوط به زابل (۰/۱۵ متر در روز) و هیرمند (۰/۴۲ متر در روز) می‌باشد. بیش‌ترین ضریب آبگذری سطحی مربوط به نمونه خاکی با میانگین سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) ۴ درصد رس، ۱۱ درصد سیلت و ۸۵ درصد شن است. انتظار می‌رود چنین خاکی به‌دلیل مقادیر زیاد شن و به تبع آن خلل و فرج درشت، هدایت هیدرولیکی زیادی داشته باشد. هم‌چنین، کم‌ترین مقدار هدایت هیدرولیکی ذکر شده نیز متعلق به خاکی با بافت لوم‌رسی (میانگین ۳۰ سانتی‌متر خاک سطحی: رس ۲۶ درصد، سیلت ۴۸ درصد و شن ۲۶ درصد) است.

ویرایش اولیه

نتایج پژوهش محمودآبادی و مظاهری (۱۳۹۱) نشان داد که در شرایط مزرعه‌ای با افزایش ۶ و ۱۴ برابری رس و سیلت نفوذپذیری نهایی به ترتیب ۵ و ۳۸ برابر کاهش یافت و در مقابل با افزایش ۸ برابری مقدار شن، مقدار نفوذپذیری نهایی افزایش ۱۵ برابری را نشان داد.

میانگین هدایت هیدرولیکی خاک سطحی در شهرستان زهک ۰/۳ متر در روز است. این رقم با میانگین کلاس بافتی خاک منطقه که لوم تا لوم‌شنی می‌باشد مطابقت دارد. میانگین هدایت هیدرولیکی خاک سطحی در شهرستان هامون ۰/۲۱ متر در روز بود. میانگین کلاس بافتی خاک در منطقه هامون که لوم و سیلتی لوم است مطابقت دارد. نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی در شکل ۵ ارائه شده است. بر این اساس، مناطق جنوبی و تا حدی شرقی دارای ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع بیش‌تری نسبت به بقیه مناطق هستند. در این مناطق درصد شن بالاتری نیز دیده شد.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی هیدرولیکی اشباع خاک در دشت سیستان

جدول ۸ نیز مساحت واحدهای هم‌آب در هر کلاس هدایت هیدرولیکی اشباع را نشان می‌دهد. در حقیقت از یک سو ماده آلی خاک با قدرت نگه‌دارندگی مانع از حرکت آب خاک شده و هدایت هیدرولیکی خاک را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر با بهبود ساختمان خاک و افزایش مقدار تخلخل خاک سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود. Nemes et al., (2005) این اثر متقابل ماده آلی خاک را برای محدوده وسیعی از نمونه خاک‌های با بافت مختلف مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که نهایتاً با افزایش مقدار ماده آلی خاک هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد. Walczak et al., (2021) هم‌چنین ادعا نمودند اگرچه ماده آلی خاک در بسیاری از موارد به عنوان پارامتر ورودی مدل‌های رگرسیونی به‌منظور برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به کار می‌رود، به دلیل رفتار پیچیده این پارامتر (قدرت نگه‌دارندگی و مانع شدن از حرکت آب از یک سو و بهبود ساختمان خاک از سوی دیگر) مشکل می‌توان رابطه مستقیمی بین مقدار ماده آلی خاک و محتوای رطوبتی خاک برقرار کرد.

ویرایش نشده

جدول ۸- مساحت واحدهای هم‌آب در هر کلاس هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

کلاس هدایت هیدرولیکی اشباع	دامنه هدایت هیدرولیکی در هر کلاس (متر در روز)	مساحت (هکتار)	درصد
ضعیف	<۰/۰۷۵	۱۷۰۱۳/۲۳	۳۶/۰۲
متوسط	۰/۰-۰۷۵/۵۲۵	۲۳۴۱۵/۲۳	۴۹/۵۷
زیاد	> ۰/۵۲۵	۶۸۰۴/۵۵	۱۴/۴

نتیجه‌گیری کلی

میانگین و میانه مقدار رطوبت قابل‌استفاده گیاه در خاک اراضی دشت سیستان به ترتیب ۴/۷۲ و ۱۵/۲۱ درصد است. ۴۸/۸ درصد از اراضی دشت سیستان دارای رطوبت قابل‌استفاده خاک بین ۱۱/۵ تا ۱۵ درصد است. مقدار آب قابل‌استفاده خاک با توجه به کلاس‌های بافتی خاک غالب منطقه (سیلتی لوم، سیلتی رسی لوم، و سیلتی رسی) کم است. کم بودن مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در خاک دارای دلایل متعددی از جمله کم بودن کربن آلی خاک (ناشی از رعایت ننمودن تناوب زراعی، برداشتن کامل بقایای گیاهی بعد از برداشت محصول برای چرای دام و بالا بودن گرمای هوا و در نتیجه تجزیه سریع مواد آلی)، ساختمان نامناسب، فشردگی خاک ناشی از رعایت ننمودن تناوب زراعی و شور و قلیا بودن خاک و کربن آلی کم و سبک بودن بافت در مرکز و جنوب دشت است. مقدار رطوبت قابل‌استفاده گیاه در شهرستان هامون، بخش‌هایی از شهرستان زهک و به صورت موضعی در هیرمند و نیمروز کم‌تر از دیگر نواحی است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به ترتیب مربوط به زابل (۰/۱۵ متر در روز) و هیرمند (۰/۴۲ متر در روز) می‌باشد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی، مناطق جنوبی و تا حدی شرقی دارای ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع بیش‌تری نسبت به بقیه مناطق هستند. در این مناطق درصد شن بالاتر بود.

منابع:

۱. احمدی، تارخ.، دلبری، معصومه و افراسیاب، پیمان. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی اشباع لایه سطحی خاک با بافت لوم و لوم شنی دشت سیستان. *پژوهش‌های خاک (علوم خاک‌وآب)*، جلد ۳۱(۴): ۵۱۳-۵۲۶

۲. آریا، پروین و میرخانی، رسول. (۱۳۸۵). *روش‌های تجزیه خصوصیات فیزیکی خاک*، نشریه فنی شماره ۴۷۹. کرج: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

۳. پهلوان راد، محمدرضا. (۱۳۹۸). بررسی تغییرات مکانی نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در اراضی دشت سیستان با استفاده از زمین آمار و درختان تصمیم‌گیری تصادفی. گزارش نهایی شماره ۵۶۳۹۰، تهران: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ص: ۵۸

۴. تقی‌زاده قصاب، افروز.، صفادوست، آزاده و محمدرضا، مصدقی. (۱۳۹۸). اثر آب شور و سدیمی بر برخی ویژگی‌های هیدرولیکی در خاک‌های لومی رسی و لومی شنی، *مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک‌وآب)*، جلد ۳۳(۱): ۱۱۵-۱۲۶

۵. شعبانی، حدیثه.، دلاور، محمد امیر.، صفری، یاسر و علمداری، پریسا. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی و تحلیل مکانی برخی خصوصیات خاک در اراضی دانشگاه زنجان. *تحقیقات کاربردی خاک*، ۷(۴): ۱۶۴-۱۷۸

۶. شکوهی‌فر، مرضیه.، برومند نسب، سعید.، سلطانی محمدی، امیر و هوشمند، عبدالرحیم. (۲۰۱۶). بررسی اثر شوری آب آبیاری و سوپر جاذب بر بعضی خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی خاک لوم شنی. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۹(۲): ۱۰۱-۱۱۳

۷. محمودآبادی، مجید و مظاهری، محمودرضا. (۱۳۹۱). تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر نفوذپذیری خاک در شرایط مزرعه‌ای. *مجله مهندسی آبیاری و آب*، ۸(۲): ۱۴-۲۵

8. Abou Hussien, E., Abd El Adl, M., Omran, W., and Tawfik, S. (2022). Effect of Tillage Depth on Some Properties of Saline Soil. *Menoufia Journal of Soil Science*, *7*(5): 81-90.

ویراستاری نشده

9. Ahmady, T., Delbari, M., and Afrasiab, P. (2018). Mapping Saturated Hydraulic Conductivity of Surface Layer in Loam and Sandy Loam Soils of Sisitan Plain. *Iranian Journal of Soil Research*, *31*(4), 513-526. (in Persian).
10. Aria, P., and Mirkhani, R. 2005. Methods of Soil Physical Analysis, *Technical Bulletin*, Soil and Water Research Institute, Iran No:479. (in Persian).
11. Eck, D. V., M. Qin, D. R. Hirmas, D. Gimenez and N. A. Brunsell. (2016). Relating quantitative soil structure metrics to saturated hydraulic conductivity. *Vadose Zone Journal*, 15(1).
12. Gadouri, H., Harichane, K., and Ghrici, M. (2017). Effect of sodium sulphate on the shear strength of clayey soils stabilised with additives. *Arabian Journal of Geosciences*. 10(10): 218.
13. Mahmoodabadi, M. R. and Mazaheri, M. E. (2012). Effect of some soil physical and chemical properties on permeability in field conditions. *Irrigation and Water Engineering*, *2*(4), 14-25. (in Persian).
14. Mahmoud, H. M. A. (2017). Organic amendments and their effect on status of some nutrients in soil and plant., Ph. D. Thesis, Fac. of Agricalture., Menoufia University., Egypt.
15. Nemes, A., RawlsG. W., and Pachepsky Y. A. (2005). Influence of organic matter on the estimation of saturated hydraulic conductivity. *soil science society of america journal*, 69: 1330-1337.
16. Marchuk, A. 2013. Effect of cations on structural stability of salt-affected soils (Doctoral dissertation). Discipline of Soil Science School of Agriculture, Food and Wine, The University of Adelaide, 154pages.
17. Pahlevanrad, M. R. (2019). Study on spatial variability of soil infiltration and saturated hydraulic conductivity in the lands of Sistan plain using geostatistical and random forest methods . Final report of research. Soil and Water Research Institute, 56390, 58 pp. (in Persian).
18. Rezaei, M., Shahbazi, K., Shahidi, R., Davatgar, N., Bazargan, K., Rezaei, F., Saadat, S., Seuntjens, P., and Cornelis, W. (2020). How to relevantly characterize hydraulic properties of saline and sodic soils for water and solute transport simulations. *Journal of Hydrology*, 125777.
19. Shabani, H., Delavar, M. A., Safari, Y., and Alamdari, P. (2020). Spatial variability of some soil characteristics in lands of Zanjan University. *Applied Soil Research*, *7*(4), 164-178. (in Persian).
20. Shokuohifar, M., Nasab, S. B., Mohammadi, A. S., and Hooshmand, A. R. (2016). The effect of salinity of irrigation water and super absorbent polymer on some hydraulic and physical properties of sandy loam soil. *Irrig Sci Eng*, 39, 101-113. (in Persian).
21. Taghizadehghasab, A., Safadoust, A., and Mosaddeghi, M. R. (2019). Effects of saline and sodic water on hydraulic properties of clay loam and sandy loam soils. (in Persian).
22. Vaezi, A. R. (2014). Modeling runoff from semi-arid agricultural lands in Northwest Iran. *Pedosphere* 24: 595–604.
23. Walkly A., and Black I. A. 1934. An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science*, 37: 29-38.
24. Walczak, A., Lipiński, M., and Janik, G. (2021). Application of the tdr sensor and the parameters of injection irrigation for the estimation of soil evaporation intensity. *Sensors*, *21*(7), 2309.
25. Weil, R. R., Brady, N. C., and Weil, R. R. 2016. The nature and properties of soils. Pearson.

Investigating Spatial Variability of the hydraulic characteristics of Sistan plain soils

Extended Abstract

Introduction

Saturated hydraulic conductivity (Ks) is one of the most important soil physical characteristics that plays a major role in the soil hydrological behaviour. Analysis and interpreting spatial variability of soil hydraulic properties is important in hydrological modeling and using pollutants and nutrient flow modeling in the soil. It is very important to know the relationship between water and soil in various irrigation and drainage issues, determining the water requirement of plants, the amount of soil water, controlling salinity, irrigation management and planning, and etc. Therefore, According to leaching management programs, soil amendment and irrigation planning for Sistan plain lands, It is very important to study the physical and hydraulic characteristics of sistan plain soils.

Materials and Methods

This study was carried out in 46,000 hectares of the Sistan Plain, including the cities of Zahak, Hamon, Hirmand, Nimroz and Zabul. In this study, 312 surface soil (0-30 cm) samples were taken and their hydraulic characteristics were measured. Also, soil texture, bulk density, Electrical Conductivity (EC), Sodium Absorption Ratio (SAR) was measured in 2080 surface soil (0-30 cm) samples. Spatial variability of hydraulic characteristics were analyzed using geostatistics technique. In addition, spatial distribution of hydraulic characteristics were determined using Inverse distance weighting (IDW) method. In order to evaluate the correctness and accuracy of kriging and IDW interpolation methods in estimating hydraulic characteristics in unsampled points, normalized root mean squares error (NRMSE), R^2 and MBE statistics were used.

Results and Discussion

The results showed that the soil texture of the area varied from sandy to clay and Most of the soils in the region had medium texture. The average bulk density of the region was 1.43 gr.cm^{-3}. The average field capacity in all the cities of Dasht Sistan is less than 35%, which are in the class of low field capacity. The average and median amount of available water in the soil of Sistan plain is 4.72% and 15.21%, respectively. About 45.8% of Sistan plain lands have available water between 11.5 and 15%. The amount of available water is low according to the soil textural classes of the most area of the sistan region (silty loam, silty clay loam, and silty clay). The highest and lowest amount of available water was also observed in Hirmand and Zabul respectively. The coefficient of change of available water in all surface soils of Sistan Plain lands is 33.83% and it is in the range of very high variability. According to the average values of saturated hydraulic conductivity, the lowest and highest values of saturated hydraulic conductivity (Ks) of the surface soil were in Zabul (0.15 m per day) and Hirmand (0.42 m per day) respectively. According to the spatial distribution map of saturated hydraulic conductivity of the surface soil, the southern regions and part of the eastern regions have a higher saturated hydraulic conductivity coefficient than the rest of the regions. In these areas, the percentage of sand was higher.

Keywords: *hydraulic characteristics, physical characteristics, field capacity, Sistan Plain.*

Author Contributions

RasoulMirkhani: Sampling, Conceptualization, Validation, Supervision, Writing manuscript
Leila Esmaeelnejad: Software, Validation, Manuscript editing
Saeed Saadat: methodology, Manuscript editing
Hamed Rezaei: Sampling, methodology, Manuscript editing
Naser Davatgar: consulting
Mojtaba Hadizadeh: Sampling

Data Availability Statement

We have no permission to release data and codes.

Acknowledgements

We would like to express our sincere gratitude to the Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources of Sistan and Baluchistan (Zabol) and Water and Soil Deputy, ministry of Jihad-e- Agriculture for the financial and logistics supports who significantly contributed during the research project.

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the Soil and Water Research Institute. The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.