

Original Article



Investigation Of Spatial Variation Pattern Of Superficial And Deep Soil Properties On Date Palm Yield (Case Study: Bushehr Province)

Received: 2024.07.13

Accepted: 2024.08.13

Morteza Pouzesh Shirazi,^{1*} Ali Akbar Moosavi,² Ali Akbar Zare³

¹ Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.

² Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

³ Soil and Water Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is one of the most valuable domesticated fruit trees in Iran due to its significant importance in economy, societies, health benefits and production capacity in unfavorable semi-arid and arid regions. Iran has more than 30 million date trees in 216,000 hectares, which produce 900,000 tons of date products. Bushehr province is one of the main origins of dates and one of the producers of dates in the south of Iran. Considering the importance of dates in Bushehr province, this study was conducted with the aim of investigating the pattern of spatial changes in surface and deep soil characteristics and its effect on date performance.

Materials and Methods: This research was carried out in a large area about 39000 ha in Shabankareh region which is located in Bushehr province in southern Iran with old and new date palm gardens. Kabkab is the dominant date palm cultivar in the region. At first, the boundary of study area was determined by satellite pictures obtained from Google earth program. Then, target gardens were selected through visual differences between trees crown spread and garden density as a sign for their growth abilities. Field surveys were also accomplished to fulfill and check the selected gardens from close. Study area was spread from slope plain with 110 meters height in north part to the medium slope in center and flat plain in the south-west of region with 50 and 15 meters height, respectively. Soil samples were taken from three layers (0-30, 30-60 and 60-90cm) of target garden soils with auger and then was analyzed in laboratory. Soil properties such as texture, pH, electric conductivity of extract (EC), cation exchange capacity (CEC), equivalent calcium carbonate (CCE), organic carbon percent, macro and micro nutrients (N, P, K, Fe, Mn, Cu, Zn), gypsum and saturation percent. Date palm yields were weighing from three plants randomly in any target garden under the permission of garden owner who was also asked about the fertilizer and irrigation management of his garden, as well. Descriptive analysis of measured data was done by SPSS as well as their person correlations. Geostatistical analysis for soil properties and yield was carried out by GS+ to study the spatial variation of the measured properties. Yield zoning was then mapped for the survey area as a result of studied production spatial variance by Kriging estimator.

Results and discussion: Linear stepwise regressions for soil properties with date palm yield in three soil depth layers (0-30, 30-60 and 60-90cm) were calculated. Adjusted R² were 0.24, 0.89 and 0.76 for the layers, respectively. The highest correlation (0.89) was related to the second layer which is known as nutritional zone and contains the highest proportion of primary and secondary roots to uptake nutrients from soil solution. Only K played a significant role in regression equation of the first layer which is called respiratory zone and most of its roots have a negative geotropism and play a respiratory role. The highest Pearson correlation coefficient (0.61) obtained for N macronutrient due to all year long continuity of vegetative growth stage in date palm. Yield correlation was negative with some of soil properties such as pH, gypsum, EC, CCE and sand. Higher acidity of soil results fixation of micronutrients. More gypsum and EC in soil tends to high osmotic pressure that disorders roots water uptake. Sand has lower water content capability and its high percentage in soil causes water stress for plants.

Conclusion: large parts of Iran are expecting to be planted by date palm in future because of climate change and also date palm high tolerance to environmental stresses such as droughtiness and saline conditions. It's very important to achieve correct information about soil properties which can influence date palm yield in order to figure out deficient or excess amount of these properties in the region for improving cultivation managements. Nitrogen is more important than K and P for date palm especially in semiarid and arid regions. Soil layer between 30 to 60 cm is the best depth for applying fertilizers to be well up taken. Drowind yield zoning map of the area showed the best parts for date palm cultivation and can be used for other similar environments.

Key words: Soil characteristics, limitations, trees, Nutrient elements of soil, kriging, date palm

How to cite this article:

Pouzesh Shirazi, M., Moosavi, A.A. and Zare, A.A., 2025. Investigation of spatial variation pattern of superficial and deep soil properties on date palm yield (case study: Bushehr Province). Adv. Environ. Sci. 23(2): 431-448.

* Corresponding Author Email Address: m.shirazi741@gmail.com

DOI: 10.48308/envs.2024.1415



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

بررسی الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک سطحی و عمقی و اثر آن بر عملکرد خرما (مطالعه موردی: دشت شبانکاره استان بوشهر)

مرتضی پوزش شیرازی^{۱*}، سید علی اکبر موسوی^۲، علی اکبر زارع^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: کشور ایران دارای بیش از ۳۰ میلیون اصله درخت خرما در ۲۱۶۰۰۰ هکتار است که ۹۰۰۰۰۰ تن محصول خرما تولید می‌کند. استان بوشهر یکی از خاستگاه‌های اصلی خرما و یکی از تولیدکنندگان خرما در جنوب ایران است. با توجه به اهمیت خرما در استان بوشهر این مطالعه با هدف بررسی الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک سطحی و عمقی و اثر آن بر عملکرد خرما انجام شده است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در منطقه‌ای به مساحت ۳۹۰۰۰ هکتار در منطقه شبانکاره واقع در استان بوشهر در جنوب ایران با باغ‌های خرما قدیمی و جدید انجام گردید. ابتدا مرز محدوده مورد مطالعه با تصاویر ماهواره ای به دست آمده از برنامه Google Earth تعیین شده و سپس باغ‌های هدف از طریق تفاوت بصری بین گسترش تاج درختان و تراکم باغ به عنوان نشانه ای برای توانایی رشد آنها انتخاب شدند. محدوده مورد مطالعه از دشت شیب دار با ارتفاع ۱۱۰ متر در شمال تا شیب متوسط در مرکز و دشت هموار در جنوب غربی منطقه به ترتیب با ارتفاع ۵۰ و ۱۵ متر گسترش یافته است. نمونه‌های خاک از سه لایه (۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متر) از خاک باغ‌های مورد نظر گرفته شد و در آزمایشگاه مورد تجزیه قرار گرفت. ویژگی‌های خاک شامل بافت، pH، هدایت الکتریکی عصاره (EC)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، کرنات کلسیم معادل (CCE)، درصد کربن آلی، عناصر پر مصرف و کم مصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس، روی)، گچ و درصد اشباع و همچنین عملکرد نخل خرما از سه بوته به صورت تصادفی تهیه گردید. تجزیه و تحلیل توصیفی داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم افزار SPSS و همچنین همبستگی آنها انجام شد. تجزیه و تحلیل زمین آماری برای ویژگی‌ها و عملکرد خاک توسط نرم افزار GS+ نسخه برای مطالعه تغییرات مکانی ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شده انجام شد. سپس پهنه بندی عملکرد در نتیجه واریانس فضایی تولید مورد مطالعه توسط برآوردگر کریجینگ برای منطقه بررسی نقشه برداری شد.

نتایج و بحث: رگرسیون گام به گام خطی برای خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با عملکرد خرما در سه لایه عمقی خاک (۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متر) محاسبه شد. R^2 بدست آمده برای لایه‌ها به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۸۹ و ۰/۷۶ بود. بیشترین همبستگی (۰/۸۹) مربوط به لایه دوم بود که به منطقه تغذیه ای معروف است و دارای بیشترین نسبت ریشه‌های اولیه و ثانویه برای جذب عناصر غذایی از محلول خاک بوده است. تنها K در معادله رگرسیون لایه اول که منطقه تنفسی نیز نامیده می‌شود و بیشتر ریشه‌های آن دارای ژئوتروپسم منفی بوده و نقش تنفسی دارند، نقش بسزایی داشته است. بیشترین ضریب همبستگی پیرسون (۰/۶۱) برای درشت مغذی نیتروژن به دلیل تداوم تمام سال مرحله رشد رویشی در نخل خرما به دست آمد. همبستگی عملکرد با برخی از خصوصیات خاک مانند pH، گچ، EC، CCE و ماسه منفی بود. اسیدپتیه بیشتر خاک باعث تثبیت ریز مغذی‌ها می‌شود. گچ و EC بیشتر در خاک به فشار اسمزی بالا تمایل دارد که جذب آب ریشه را مختل می‌کند. شن و ماسه قابلیت آب کمتری دارد و درصد بالای آن در خاک باعث تنش آبی برای گیاهان می‌شود.

نتیجه‌گیری: بخش‌های زیادی از ایران به دلیل تغییرات اقلیمی و همچنین تحمل بالای درخت خرما به تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شرایط شوری، انتظار می‌رود در آینده به سمت کشت درخت خرما سوق داده شوند. دستیابی به اطلاعات صحیح در مورد ویژگی‌ها خاک که می‌تواند بر عملکرد درخت خرما تأثیر بگذارد بسیار مهم است تا میزان کمبود یا مازاد این خواص را در منطقه برای بهبود مدیریت کشت مشخص کنیم. نیتروژن برای درخت خرما به ویژه در مناطق نیمه خشک و خشک از پتاسیم و فسفر اهمیت بیشتری دارد. لایه خاک بین ۳۰ تا ۶۰ سانتی متر بهترین عمق برای کوددهی به خوبی است. نقشه پهنه بندی عملکرد خشکی منطقه بهترین قسمت‌ها را برای کشت خرما نشان داد که برای سایر محیط‌های مشابه قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های خاک، محدودیت، درخت، عناصر غذایی خاک، کریجینگ، نخل خرما

^۱ بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

^۲ بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

^۳ بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، دزفول، ایران.

استناد به این مقاله: پوزش شیرازی، م، موسوی، س.ع.ا. و زارع، ع.ا. ۱۴۰۴. بررسی الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک سطحی و عمقی و اثر آن بر عملکرد خرما (مطالعه موردی: دشت شبانکاره استان بوشهر). فصلنامه علوم محیطی نوین. ۴۴۸-۴۳۱ (۲): ۲۳.

* Corresponding Author Email Address: m.shirazi741@gmail.com

DOI: 10.48308/envs.2024.1415



مقدمه

خرما (*Phoenix dactylifera* L.) گیاهی دوپایه، تک لپه و دایمی از خانواده نخلها (*Palmaceae*) است (Rohani, 2021; Krueger, 1988). این خانواده دارای ۲۰۰ جنس و ۱۵۰۰ گونه می‌باشد. نخل خرما بدون شک یکی از مهمترین منابع درآمد و تغذیه مردم مناطق خرما خیز کشور محسوب می‌شود. میوه خرما دارای مقادیر فراوان انرژی، فیبر، مواد معدنی، انواع ویتامین‌ها و ۱۶ آمینواسید است (Fatima et al., 2017). ایران دارای بیش از ۳۰ میلیون اصله نخل در سطح ۲۱۶ هزار هکتار می‌باشد که ۹۰۰ هزار تن محصول خرما تولید می‌کند (Mohebi, 2005).

استان بوشهر از خاستگاه‌های اصلی خرما و یکی از مناطق خرما خیز جنوب ایران محسوب می‌شود و پیشینه تولید خرما در این استان از آمیخته بودن دانش کشت و پرورش نخل خرما با فرهنگ اهالی این مرز و بوم حکایت دارد. گزارش شده است که خرما یکی از مهمترین محصولات باغی استان بوشهر است که سالیانه حدود ۳۵۰۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی این استان تحت کشت خرما است (Izadi, 2007).

با توجه به اهمیت اقتصادی کشاورزی، از این رو می‌توان گفت موفقیت در این عرصه به افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول بستگی دارد. میوه خرما به شکل استوانه‌ای گوشتی بوده که رنگ آن از زرد کم‌رنگ تا قرمز تیره در ارقام مختلف درخت خرما و مراحل گوناگون رشد، متفاوت می‌باشد (Sakr et al., 2010). تولیدکنندگان تمایل دارند که محصولاتشان دارای ظاهری خوب، با معایب ظاهری ناچیز و محصول بازرپسندی داشته باشند. دسترسی به این موارد بستگی به تغذیه متعادل و مناسب درختان میوه دارد (Malakouti and Tabatabaee, 1987; Marschner, 2011). از جمله عوامل محدود کننده عملکرد گیاه در شرایط خاک های کشور می‌توان به کمبود ماده آلی، pH بالا، شور بودن خاک ها، درصد بالای آهک خاک و همچنین کمبود عناصر غذایی در خاک اشاره کرد (Khoshgoftarmanesh, 2004).

از نظر نیاز خاکی و آبی، نخل خرما گیاهی کم توقع است. این گیاه در هر نوع خاکی از شن خالص تا خاک‌های سنگین رسوبی که نیازهای اولیه نخل را برای استقرار در خاک فراهم می‌کند و مواد معدنی و آب مورد نیازش را تأمین کرده و دارای زهکش و نسبت به آب نفوذپذیر باشد قادر به رشد است. اغلب کارشناسان معتقدند بهترین نوع خاک برای نخل خرما خاک‌های عمیق، زهکش دار با بافت نسبتاً سبک و دارای مواد آلی و قدرت نگهداری آب کافی می‌باشد (Ersahin, 2003; Hosseini et al., 2007). گزارش شده است که نیاز خرما به نیتروژن به ازاء هر سال سن درخت برای رقم‌های شاهانی، مضافتی بم و کبکاب برابر ۱۰۰، ۱۱۰ و ۹۰ گرم گزارش شده است. همچنین، در شرایطی که قابلیت استفاده فسفر در خاک کمتر از ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک باشد، نیازی به مصرف فسفر است (Shahrokh, 1996). برخی محققین معتقد هستند که در مناطق خشک، خرما در برابر مصرف فسفر و پتاسیم واکنش نشان نمی‌دهد و به همین دلیل در کالیفرنیا بیشتر باغداران خرما تمایل به مصرف نیتروژن‌نیتروژن دارند (Nixon and Furr, 1965). شاید یکی از دلایل احتمالی این موضوع عمق ریشه های جذب کننده عناصر در درخت خرما و همچنین عدم تأمین رطوبت کافی جهت در دسترس قرار گرفتن این عناصر باشد. وجود مواد آلی کافی و یا افزودن آن به خاک نیز در طی عملیات کوددهی سبب افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک شده و بهبود شرایط شیمیایی و میکروبی خاک را نیز به همراه خواهد داشت (Hosseini et al., 2017). به همین دلیل، آزمون خاک می‌تواند به عنوان وسیله‌ای کارآمد در تشخیص نیاز غذایی گیاهان از جمله خرما در نظر گرفته شود. در برخی نقاط دنیا با توجه به همین اصل به بررسی میزان عناصر غذایی خاک پرداخته و نیاز کودی خرما را برآورد نموده‌اند که افزایش محسوس عملکرد را در پی داشته است (Elprince and Alsaedi, 2007). گزارش مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور نشان می‌دهد که خاک

های زراعی از نظر عناصر غذایی تخلیه شده اند به طوری که به ترتیب ۶۹/۵، ۳۷/۳، ۴۰/۹، ۵۱، ۱۸/۲ و ۱۴ درصد از خاک های کشور از نظر عناصر فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس دارای کمبود هستند (Khavazi, et al., 2014). از این رو می توان گفت در نظر گرفتن عوامل تغذیه ای محدود کننده عملکرد گیاه حائز اهمیت هستند (Malakouti, et al., 2008). طبق مطالعات انجام شده کم بودن ماده آلی، بالا بودن درصد کربنات کلسیم، پایین بودن فسفر، پتاسیم و آهن قابل استفاده در خاک از عوامل پایین بودن عملکرد محصولات کشاورزی در کشور و همچنین استان بوشهر هستند. همچنین نشان داده شد که ۵۸ درصد خاک های کشور بین ۱۰ تا ۴۰ درصد کربنات کلسیم دارند (Shahbazi and Besharati, 2013). همچنین این محققان گزارش کردند که اکثر خاک های ایران متأثر از کربنات کلسیم هستند به طوری که ۸۷ درصد خاک های کشور دارای بیش از ۵ درصد کربنات کلسیم معادل هستند. در خاک های مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران کربنات کلسیم یکی از محدود کننده ترین عوامل در جذب آهن محسوب می شود. در این خاک ها pH به طور مؤثری توسط کربنات کلسیم بافر می شود و کمبود عناصر کم مصرف به ویژه آهن و روی در گیاهان ایجاد می شود. به طوری که با افزایش هر واحد pH حلالیت آهن و روی به ترتیب ۱۰۰ و ۱۰۰ برابر کاهش می یابد. همچنین این محققان گزارش کردند که ۸۳ درصد خاک های کشور دارای pH بین ۷/۵ تا ۸/۵ بودند. با افزایش pH حلالیت عناصر در خاک کاهش می یابد.

تغییر اقلیم یکی از مشکلات پیش روی کشاورزی در آینده نزدیک خواهد بود. افزایش میانگین دمای زمین بین ۲/۱۱ تا ۴/۳۱ درجه سانتی گراد و کاهش نزولات آسمانی بین ۱۳ تا ۱۵ درصد در نقاط مختلف دنیا تا سال ۲۱۰۰ پیش بینی شده است (Ersahin, 2008; Chiew et al., 2009). در پژوهشی پیش بینی شده است مساحت نخیلات ایران که هم اکنون برابر ۴/۸ میلیون هکتار می باشد به دلیل پدیده تغییر

اقلیم و مساعد شدن مناطقی که در حال حاضر به علت شرایط آب و هوایی مناسب کشت درخت نخل نیستند به شرایط مناسب کشت این محصول، تا میزان ۳۱ میلیون هکتار در سال ۲۱۰۰ افزایش یابد (Habani et al., 2013). با توجه به توسعه کشت درختان خرما در استان بوشهر و همچنین شهرستان های جنوبی استان فارس مانند جهرم و داراب، می توان گفت اگر یک نقشه که مناطق مستعد کشت این محصول را نشان دهد در اختیار بهره برداران قرار گیرد می تواند کمک قابل توجهی به آن ها در شناسایی مناطق مستعد کشت کند. همچنین که در کشورهای حاشیه خلیج فارس با بررسی خاک های منطقه به این نتیجه رسیده اند که امکان توسعه کشت نخیلات در آنها علی رغم مشکلاتی از قبیل شنی بودن زیاد خاک ها، سفره آب زیرزمینی شور در نزدیک سطح زمین، حاصلخیزی کم خاک ها و شور و سدیمی بودن آن ها وجود دارد. این پژوهشگران با توجه به تمام موارد اشاره شده توانستند نقشه خاک های مستعد کشت نخیلات را تعیین نمایند (Anonymous, 2011). هر چند درخت نخل از مقاومت زیادی در برابر انواع محدودیت های خاکی برخوردار است اما ارقام مختلف خرما به نوع خاک های مختلف حساس بوده و از این رو تهیه و ترسیم نقشه پهنه بندی خاک می تواند در انتخاب رقم مناسب منطقه کمک شایانی نماید (Doornkamp et al., 1980; Nesbitt, 1993; Al-Khalifa, 2010; Asongwe et al., 2016).

با توجه به نیاز روزافزون بشر به مواد غذایی و کمبود خاک های مناسب و بدون محدودیت از یک سو و امکان استقرار درخت خرما در مناطقی که از نظر حاصلخیزی و حتی شرایط زهکشی در وضعیت ایده آلی به سر نمی برند، تمایل به کشت نخیلات در این خاک های متفرقه افزایش یافته است. از این رو تهیه نقشه ویژگی های خاک از اهمیت زیادی در انتخاب این اراضی برای کاربرد نخلستان برخوردار است (Pundir et al., 2004). بنابراین، این مطالعه با هدف تعیین اثر تغییرات مکانی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی

خاک بر مقدار عملکرد محصول خرما و پهنه‌بندی تولید این محصول در پایاب سد رییس‌علی دلواری در منطقه دشتستان استان بوشهر به‌عنوان یکی از قطب‌های تولید خرما در جنوب کشور انجام شد. نتایج این مطالعه می‌تواند یک مسیر روشن برای بهره‌بردارانی که قصد توسعه و ایجاد نخیلات را دارند را ایجاد کند. در این مطالعه از معادلات رگرسیونی چند مرحله‌ای و ضریب همبستگی بین عمق‌های مختلف خاک و همچنین از نرم افزار GS+ برای تهیه نقشه‌ها استفاده شده است.

مواد و روش‌ها محدوده مطالعاتی

این مطالعه در اراضی مناطق شبانکاره، آبپخش و سعد آباد دشتستان استان بوشهر در مساحتی برابر با ۳۹۰۰۰ هکتار با کاربری نخلستان‌های قدیمی و جدید انجام شد. رقم غالب خرما در این مناطق، رقم کبکاب است. در ابتدا منطقه مورد نظر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت (Google Earth) شناسایی و محدوده مورد مطالعه تعیین شد. نخلستان‌های هدف در دو مرحله زیر شناسایی و انتخاب شدند: الف- مشاهده بصری تاج نخیلات و اندازه‌گیری و مقایسه قطر تاج و تراکم آن‌ها که بیانگر میزان رشد رویشی و توانمندی درختان نخل در مناطق مختلف بود که منجر به شناسایی اولیه نقاط هدف گردید و ب- مشاهدات و بررسی‌های میدانی که نقاط انتخاب شده در مرحله اول را تأیید نموده و یا در صورت نیاز جابجایی نقاط صورت گرفت. نخیلات بررسی شده از دامنه کوه مشرف به دشت شبانکاره با ارتفاع نخلستان ۱۱۰ متری شروع و به سمت منطقه سعد آباد با ارتفاع ۵۰ و دشت آبپخش با کمترین ارتفاع ۱۵ متر از سطح دریا امتداد داشتند. نمونه‌گیری از خاک به وسیله مته مخصوص در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری انجام و نمونه‌ها برای تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر و نیز دانشکده کشاورزی دانشگاه

شیراز به‌منظور اندازه‌گیری عناصر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک ارسال شدند. مشخصات کلی هر منطقه هدف شامل تعیین مختصات جغرافیایی محل توسط دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS)، نام مالک نخلستان، نحوه مدیریت زراعی و کودی، روش آبیاری، پوشش سطحی، وضعیت زهکشی و سن نخیلات در فرم‌های مخصوص ثبت شد. تعداد و تراکم مناطق هدف که نمونه‌گیری خاک در آن‌ها انجام گرفت در قسمت میانی محدوده مورد مطالعه بیش از سایر نواحی بود که علت آن نیز فزونی تغییرات مشاهده شده در خاک این اراضی و تفاوت محسوس در عملکرد آن‌ها بود. در کل، تعداد ۳۹ منطقه هدف شناسایی شده و مورد بررسی دقیق قرار گرفت (شکل ۱). محاسبات آمار توصیفی با استفاده از نرم افزار SPSS برای هر نقطه هدف تعیین شدند. کلاس‌های بافت خاک موجود در منطقه مطالعه به روش USDA و با استفاده از نرم افزار DPlot تعیین شدند.

عملکرد نخیلات به‌صورت تصادفی در هر منطقه‌ی هدف با توزین کردن خرما موجود در هر درخت نخل (با هماهنگی مالک نخلستان) انجام و محصول تولیدی با واحد کیلوگرم در درخت یادداشت گردید. این عملیات از اواخر شهریور ماه و اواسط مهرماه به طول انجامید. درختان انتخاب شده به نحوی بودند که نماینده واقعی هر باغ باشد. به عنوان مثال چنانچه درختی نسبت به سایر درخت‌ها ضعیف تر یا خیلی شرایط مناسب تری از نظر عملکرد داشت، نادیده گرفته شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

از نمونه‌های خاک برداشت شده، بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986)، اسیدیته خمیر اشباع بوسیله دستگاه پ هاش متر، هدایت الکتریکی عصاره اشباع بوسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش عصاره‌گیری با استات سدیم (Jones, 2018)، درصد کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید (Loeppert and Suarez, 1996)، درصد کربن آلی

پیرسون بین تمام ویژگی‌های خاک با یکدیگر و با عملکرد نیز به دست آمد. تحلیل زمین آماری برای ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول بوسیله نرم‌افزار زمین‌آمار⁺ GS انجام شد و تغییرات مکانی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نیز پهنه‌بندی عملکرد در مناطق مورد مطالعه به وسیله نرم‌افزار GS⁺ انجام شد.

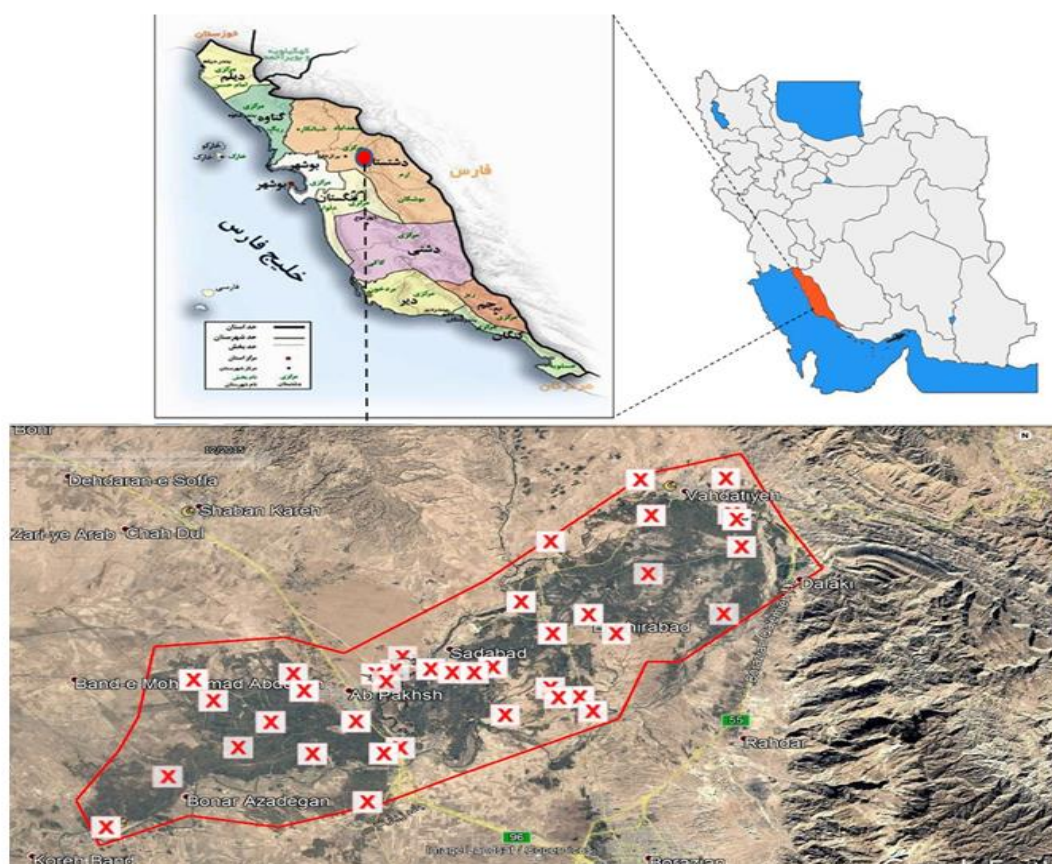
نتایج و بحث

در ابتدا معادلات رگرسیون چند مرحله‌ای Stepwise برای بررسی رابطه خطی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ سانتی‌متری که از آن‌ها به ترتیب ناحیه ۱ (Zone I)، ناحیه ۲ (Zone II) و ناحیه ۳ (Zone III) و اطلاق می‌شود با عملکرد نخیلات تعیین شد (جدول ۱).

به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996)، عناصر غذایی کم مصرف شامل آهن، روی، مس و منگنز در دسترس به روش عصاره‌گیری با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978)، درصد اشباع خاک به وسیله توزین خاک خشک شده در آون با حرارت ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، گچ به روش استون (Loeppert and Suarez, 1996) و اندازه‌گیری میزان نیتروژن به روش کج‌دال (Kjeldahl, 1883) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

سپس نتایج حاصل از تجزیه خاک به همراه عملکرد گیاه توسط برنامه آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. معادلات رگرسیونی چند مرحله‌ای و ضریب همبستگی بین عمق‌های مختلف خاک نمونه‌گیری شده با عملکرد نخیلات محاسبه شد. همچنین، ضریب همبستگی



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و نقاط هدف نمونه برداری خاک

Fig. 1- Study area and soil sampling targets

جدول ۱- روابطه رگرسیونی عمق مختلف ریشه گیاه با ویژگی‌های خاک و ضرایب همبستگی به‌دست آمده

Table 1. Regression relations between root zones and soil properties with their correlation coefficients

Dep.(cm) عمق	رابطه رگرسیون Regression relations	R ²
0-30 (Zone I)	Yield = 109.040 - 0.294 K	0.24
30-60 (Zone II)	Yield = -135.1 + 52.407 pH - 1.917 CCE - 0.032 Gyp + 103.455 OC + 65.652 N - 0.460 K + 30.77 Cu - 11.186 Fe	0.89
60-90 (Zone III)	Yield = 481.8 + 1.68 SP + 6.47 EC - 40.95 pH - 1.645 CCE + 2413.19 N - 12.5P - 0.765 Clay - 289.48 OC + 2413 N - 0.29 K - 12.54 P - 35.9 Cu - 70.2 Zn	0.76

همچنین، در مواردی که عملیات خاکریزی در کنار تنه درخت خرما انجام شده باشد، می‌توان احتمالاً تا چهار زون را شناسایی نمود ولی با توجه شرایط کاشت نخیلات و عمق نمونه برداری در پژوهش حاضر تا سه زون شناسایی گردید (Gee and Bauder, 1986).

از اینرو در این پژوهش، سه عمق نمونه برداری ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری خاک به ترتیب برابر با زون یک، دو و سه در نظر گرفته شدند. جدول تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین ویژگی‌های مختلف خاک و عملکرد نخیلات به‌صورت جدول (۲) ارائه شده است. نتایج حاصل بیانگر آن بود که کمترین ضریب همبستگی مربوط به Zone I بوده و دو عمق بعدی بیشترین اثر را روی عملکرد گیاه به ترتیب زیر داشتند:

$$\text{Zone II} > \text{Zone III} > \text{Zone I}$$

Zone I: ناحیه تنفسی، این ناحیه در ناحیه مجاور قاعده تنه نخل خرما قرار داشته و حداکثر گسترش جانبی آن ۵۰ حدود سانتی‌متر از هر طرف تنه اصلی درخت خرما می‌باشد. رشد اینگونه ریشه‌ها تا حد زیادی بستگی به تراکم خاک و بافت آن دارد (Garr, 2013).

Zone II: ناحیه تغذیه‌ای، این ناحیه وسیع بوده و بیش‌ترین تجمع ریشه‌های اولیه و ثانویه را دارا می‌باشد که می‌تواند شامل ۱۰۰۰ ریشه در هر متر مربع باشد و به‌طور افقی نیز می‌تواند تا کمی خارج از ناحیه سایه‌انداز درخت نخل خرما امتداد یابد. Zone III: ناحیه جذب، اهمیت این ناحیه به نحوه کاشت درخت نخل و همچنین عمق آب زیرزمینی بستگی دارد. تراکم ریشه‌ها در این ناحیه از ناحیه دوم کم‌تر است.

عمق و تعداد زون‌هایی‌تواند در خاک‌های مختلف و ارقام گوناگون نخیلات با سن‌های متفاوت، متغییر باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی بین ویژگی‌های خاک در سه لایه عمق خاک و عملکرد نخیلات

Table 2. Linear variance analysis between soil properties in three layers and dates yield

عمق Dep.(cm)	درجه آزادی* Degree of Freedom*	میانگین مربعات Mean Square	F	Sig.
0-30 (Zone I)	1	964.2	6.68	0.019 *
30-60 (Zone II)	8	380.9	8.457	0.001 **
60-90 (Zone III)	12	277.16	8.268	0.005**

* درجه آزادی بر اساس پارامترهای روابط رگرسیونی جدول ۱ تعیین شده است

* Degree of freedom was calculated from Regression relations in table 1

میزان $R^2 = 0.89$ به‌دست آمد که در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. در عمق نمونه برداری اول، تنها پتاسیم با عملکرد دارای رابطه رگرسیون خطی معنی‌دار بود. این

همان‌طور که در جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود بیشترین ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک و عملکرد درخت نخل در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری یا زون دو (Zone II) به

گفت که اگرچه ریشه‌های درخت خرما در عمق‌های دیگر ۳۰-۶۰ سانتی متری نیز وجود دارد ولی از نظر تأثیرگذاری بر جذب عناصر غذایی ریشه‌های عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری دارای اهمیت بیشتری هستند که در برنامه کوددهی به صورت چالکود باید این نکته در نظر گرفته شود. همانگونه که اشاره شد، رابطه بین عملکرد با ویژگی‌های خاک در عمق دوم نمونه برداری (۳۰-۶۰ سانتی متری) بیشتر از دو عمق دیگر بود. از این رو تنها خلاصه آمار توصیفی داده‌های نمونه‌های خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری در جدول ۳ ارائه شده است.

بدان معناست که لایه سطحی کمترین میزان مشارکت در تغذیه درخت نخل نسبت به لایه‌های زیرین را دارد که این مطلب بایستی در هنگام کوددهی نخیلات مورد توجه قرار گیرد تا کارایی کود مصرفی افزایش قابل توجهی داشته و مصرف آن اقتصادی‌تر شده و در نهایت از اتلاف کود جلوگیری شود. این نتیجه علمی با نتایج تجربی حاصل از پژوهش‌های سایر محققین که در زمینه انتخاب بهترین روش و عمق مناسب کوددهی نخیلات در نقاط مختلف کشور از جمله استان بوشهر همخوانی و مطابقت دارد (Shahrokh, 1996). به طور خلاصه می‌توان چنین

جدول ۳- خلاصه آمار توصیفی داده‌های مربوط به ویژگی‌های خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری (زون ۲)

Table 3. Summary statistics of soil properties measured in 30-60 cm depth (Zone II)

ویژگی Property	نماد انگلیسی Sign	واحد Unit	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	ضریب تغییرات CV(a)	کشیدگی Kurt (b)	چولگی Skew (b)	آزمون کلموگروف- اسمیرنوف (c) Kol-Smi Test
رطوبت اشباع	SP	%	67.0	0.26	45.28	0.23	-0.56	0.46	0.2
قابلیت هدایت الکتریکی	EC	dS m ⁻¹	42.4	1.15	7.32	0.53	-0.14	0.54	0.0
اسیدیته	pH	-	8.1	6.9	7.41	0.03	-0.53	0.41	0.27
کربنات کلسیم معادل	CCE	%	90.0	36.5	59.74	0.16	0.93	-0.18	0.1
گچ	Gyps	%	23.3	0.6	3.7	0.37	0.73	1.46	0.0
ماده آلی	OC	%	0.81	0.11	0.298	0.45	-0.36	0.41	0.03
نیتروژن نیتروژن کل	N (total)	%	0.08	0.01	0.031	0.13	-0.25	0.18	0.03
فسفر قابل استفاده	P (ava)	mg kg ⁻¹	13.27	0.33	1.86	1.30	-0.51	0.55	0.0
پتاسیم قابل استفاده	K (ava)	mg kg ⁻¹	220.0	26.0	154.2	0.27	1.08	-0.73	0.2
شن	Sand	%	95.40	5.4	41.96	0.63	0.51	0.86	0.06
سیلت	Silt	%	78.0	4.0	42.56	0.48	-0.88	0.54	0.2
رس	Clay	%	35.10	0.06	15.08	0.69	-0.88	0.31	0.2
ظرفیت تبادل کاتیونی	CEC	cmol(+) kg ⁻¹	29.35	5.98	14.52	0.51	-1.16	0.46	0.38
منگنز قابل استفاده	Mn (ava)	mg kg ⁻¹	4.7	0.4	1.53	0.71	-0.56	0.18	0.03
مس قابل استفاده	Cu (ava)	mg kg ⁻¹	1.166	0.002	0.305	1.06	0.82	1.26	0.0
آهن قابل استفاده	Fe (ava)	mg kg ⁻¹	6.442	0.748	2.33	0.795	-0.17	0.1	0.18
روی قابل استفاده	Zn (ava)	mg kg ⁻¹	0.348	0.078	0.165	0.45	-0.18	0.87	0.12
عملکرد	Yield	Kg Tree ⁻¹	91.0	35.0	55.6	0.24	0.34	0.28	0.2

a: (اختلاف خیلی کم <0.1، اختلاف کم 0.1-0.2، متوسط 0.2-0.3، زیاد >0.3) b: شرط نرمال بودن بین ۲ و -۲ c: شرط نرمال بودن >0.5 Sig
a: (Very low diff. <0.1, Low diff. 0.1-0.2, Medium diff. 0.2-0.3, high diff. >0.3) b: -2<Normal<2 c: Normal, sig>0.05

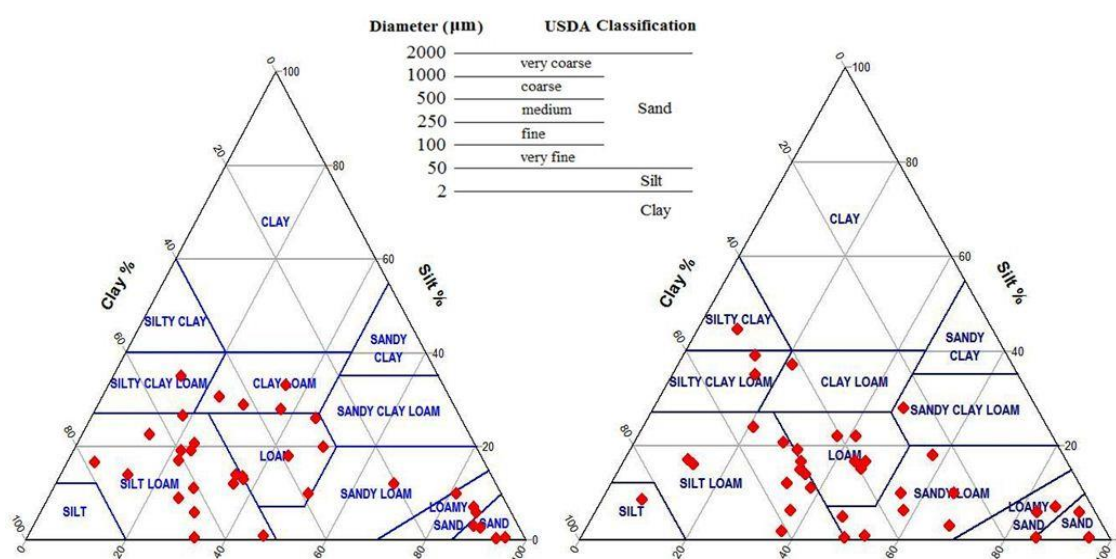
هدف، ضریب تغییرات آن در محدوده متوسط و قابل قبول قرار گرفت. بیشترین ضریب تغییر مربوط به فسفر، عناصر کم مصرف (آهن، مس، روی و منگنز) و ذرات تشکیل دهنده بافت خاک بود و کمترین مقدار آن نیز به اسیدیته خاک اختصاص داشت.

کلاس‌های بافت خاک در دو عمق خاک ۶۰-۹۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری (زون‌های دو و سه)، به روش USDA در مثلث بافت خاک جانمایی و تعیین شدند (شکل ۳). تفاوت‌های کمی بین کلاس بافت خاک‌های این دو عمق وجود داشت به گونه‌ای که نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه بیشتر در چهار کلاس بافت شامل Loam، Silt loam، Sandy loam و Clay loam قرار داشتند.

این موضوع نشان‌دهنده متوسط بودن بافت خاک (لوم) در بیشتر این اراضی بود که از نظر کشاورزی به عنوان خاک مطلوب از نظر تهویه هوا، تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و ظرفیت نگهداری آب در خاک محسوب می‌شود (Malakouti, et al., 2008). از این رو، ارزش مدیریت صحیح اراضی دشت شبانکاره با توجه به وجود منبع آب قابل اطمینان (سد ریسی علی دلواری) در بالادست آن قابل درک می‌باشد تا بتوان حداکثر تولید خرما را در یک سیستم پایدار کشاورزی در منطقه به دست آورد.

نتایج حاصل از آزمون‌های نرمال‌سنجی نشان داد که به جز pH و روی قابل استفاده سایر ویژگی‌های خاک در سطح پنج درصد دارای توزیع نرمال نبودند. برای اطمینان از توزیع نرمال ویژگی‌های مورد مطالعه از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف نیز استفاده شد که نتایج مشابهی با بررسی‌های چولگی و کشیدگی توزیع داده‌ها نشان داد. برای نرمال سازی توزیع داده‌های غیر نرمال از توابع ریشه دوم و لگاریتمی استفاده شد (Danesh, 2001). این تغییرات ناشی از قرار گرفتن نخلستان‌های هدف در گستره وسیعی از اراضی با ویژگی‌های متفاوت به وجود آمده بود که امکان بررسی اثرات این تغییرات بر عملکرد محصول را امکان‌پذیر ساخت.

مقدار گچ در مناطق با ارتفاع بالاتر بیشتر از مناطق پست‌تر بود که علت آن نیز وجود سیلاب در اراضی پست و شسته شدن گچ از پروفیل خاک بود. میزان قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک‌های قرار گرفته در اراضی پست بیشتر از سایر نواحی بود که این امر از یک سو به علت تجمع نمک-های شسته شده از اراضی مرتفع در این نواحی و از سوی دیگر حرکت رو به بالای آب سفره زیر زمینی شور بر اثر خاصیت موئینگی بخصوص در فصول گرم بود. لازم به ذکر است که عملکرد خرما در تحقیق حاضر دارای توزیع نرمال بوده و علی‌رغم تفاوت قابل توجه میزان تولید در مناطق



شکل ۳- جانمایی بافت خاک نمونه‌های هدف در مثلث بافت خاک. چپ (۳۰-۶۰)، راست (۶۰-۹۰) سانتی متر

Fig. 3- location of soil sample textures in soil texture triangles. Left (30-60), right (60-90) cm

خلاصه ضریب همبستگی پیرسون بین عملکرد درخت خرما با ویژگی‌های مختلف خاک در جدول ۴ آورده شده است. به جز مقدار نیتروژن نیتروژن هیچکدام از ویژگی‌های خاک حتی عناصر غذایی دارای ضریب همبستگی بالا (۰/۸ - ۰/۶) با عملکرد نبودند و در رده‌های پایین‌تر همبستگی قرار گرفتند. نتایج تحقیقات سایر محققین نیز با این موضوع مطابقت دارد. بعنوان مثال برخی محققین

بر این عقیده اند که در مناطق خشک و نیمه خشک، خرما در برابر مصرف فسفر و پتاسیم واکنش مثبتی از خود نشان نمی‌دهد (Nixon and Furr, 1965) در حالی - که به علت رشد درخت نخل در تمام طول مدت سال، این گیاه می‌تواند با ریشه‌های عمیق و گسترده خود از تمام نیتروژن موجود در خاک استفاده نماید (Danesh, 2001).

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون بین عملکرد با ویژگی‌های خاک
Table 4. Pearson correlation coefficient values for soil properties and yield

ضریب همبستگی پیرسون Pearson correlation coefficient	عمق لایه (Layer depth)	
	30-60 cm	60-90 cm
قوی High (0.6-0.8)	N	-
قابل قبول Acceptable (0.4-0.6)	Zn, K, OC	Cu, Silt
پایین Low (0.2-0.4)	Fe, Mn, P, Cu	CEC, Sand, P, N, K, OC
ضعیف Weak (0-0.2)	SP, Silt, Clay, CEC	Zn, Fe, Mn, Clay, Gypsum, CEC, SP
منفی Negative (< 0)	EC, Gypsum, Sand, pH, CCE	Ec, pH

از نظر نیاز خاکی، نخل خرما گیاهی کم توقع از نظر آب و عناصر غذایی است (Hosseini *et al.*, 2017). مطالعات نشان داد کاربرد عناصر غذایی کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خرما در ایستگاه میناب نداشته است که با ضریب همبستگی به‌دست آمده در مطالعه حاضر، مطابقت دارد (Moghim, 1987). البته در مقابل نیز تحقیقات زیادی‌تری هستند که نشان می‌دهد استفاده از انواع کودهای شیمیایی و آلی سبب افزایش تولید در نخیلات شده است. از این‌رو، چنین می‌توان برداشت کرد که میزان تأثیر این عناصر بر عملکرد محصول در سال‌های مختلف به‌دلیل تغییرات آب و هوایی از سالی به سال دیگر می‌تواند متفاوت باشد (Sae Ahan, 1988; Al-Kahtani, 2012 and Soliman). همچنین به نظر می‌رسد غلظت قابل جذب این عناصر نیز در خاک بر کارایی استفاده از کودهای بعدی تأثیرگذار است (Malakouti *et al.*, 2008).

لذا تحقیقات در مورد اثر عناصر غذایی روی میوه درخت خرما عمدتاً در دوره‌های چهار یا پنج ساله مناسب‌تر و قابل اعتمادتر خواهد بود. همچنین با توجه به جدول ۴ می‌توان چنین مشاهده کرد که عملکرد درخت نخل با تعداد بیشتری از عناصر غذایی در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نسبت به عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری دارای ضریب همبستگی پیرسون بالاتری بوده و از این‌رو اهمیت این لایه از خاک جهت کوددهی به نخیلات مشخص می‌شود. این نتیجه با اعداد ضریب رگرسیونی لایه‌ای محاسبه شده برای عمق‌های یاد شده همخوانی و مطابقت داشت. هر چند تفاوت‌هایی در ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک در دو عمق با یکدیگر مشاهده شد ولی شباهت‌های آن‌ها عمدتاً بیشتر بوده و از یک روند تقریباً یکسانی پیروی می‌کردند. توضیح برخی شاخص‌های مهم در روابط ویژگی‌های خاک با یکدیگر و دلایل توجیهی آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

ویژگی درصد اشباع خاک دارای بالاترین و کمترین ضریب همبستگی به ترتیب با میزان رس و شن خاک در هر دو عمق را نشان داد. افزایش رس خاک می‌تواند ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش دهد در حالیکه با زیاد شدن درصد شن به شدت از این ویژگی کاسته شده و گیاه در برخی موارد با تنش رطوبتی نیز مواجه می‌گردد. ضریب همبستگی بین میزان رس خاک و تقریباً تمامی عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف مستقیم و افزایشی بود که این امر تحت اثر ظرفیت تبادل کاتیونی رس در خاک بوجود می‌آید. شوری خاک با پهاش خاک دارای رابطه مستقیم و افزایشی بوده ولی با میزان شن خاک رابطه عکس و کاهشی دارد. افزایش درصد گچ نیز سبب افزایش شوری خاک با رابطه مستقیم به علت افزایش املاح موجود در محلول خاک شد. از اینرو، ضریب همبستگی بین شوری و پهاش خاک با عملکرد منفی به دست آمد که با نتایج پژوهش‌های قبلی همخوانی دارد (Shahrokh, 1996). افزایش شوری و پهاش خاک به عنوان عامل محدود کننده رشد گیاهان و در نتیجه کاهش ماده آلی خاک به شمار می‌رود.

درصد کربن آلی با افزایش میزان نیتروژن نیتروژن خاک و عملکرد محصول دارای رابطه مستقیم و افزایشی (ضریب همبستگی مثبت) و با pH و شوری خاک دارای رابطه معکوس بود. افزایش نیتروژن نیتروژن سبب افزایش رشد رویشی تاج درخت خرما از یک سو و رشد سریع‌تر گیاهان خودرو بین نخلستان که از سایه‌انداز نخیلات استفاده می‌کنند از سوی دیگر گردیده و بقایای آن‌ها نیز توانسته است میزان کربن آلی خاک را در دراز مدت افزایش دهد. البته افزایش سایه‌اندازی گیاه نیز سبب جلوگیری از تجزیه‌ی سریع بقایای گیاهی به علت جلوگیری از ایجاد گرمای حاصل از برخورد نور مستقیم خورشید به سطح نخلستان می‌شود. افزایش عملکرد محصول خرما بر اثر افزایش مواد آلی خاک در نتایج سایر پژوهش‌ها نیز تأیید شده است (Al-Kahtani and Soliman, 2012). ضریب همبستگی پیرسون بین عملکرد و برخی ویژگی‌های خاک مانند پهاش، مقدار گچ، هدایت الکتریکی،

میزان آهک و شن منفی بود. افزایش اسیدیته خاک که عمدتاً به علت وجود مقادیر فراوان آهک در خاک اتفاق می‌افتد سبب کاهش قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک ناشی از تثبیت آن‌ها می‌شود. گچ فراوان به علت داشتن حلالیت زیاد سبب افزایش فشار اسمزی محلول خاک شده و رشد ریشه و نیز جذب آب توسط ریشه‌ها را مختل می‌نماید. درصد بالای شن خاک به علت قابلیت پایین ظرفیت نگهداری رطوبت سبب کاهش پتانسیل آب در خاک شده و در نهایت ایجاد تنش خشکی برای گیاه را به همراه خواهد داشت. این اثر نامطلوب شن در لایه ۶۰-۳۰ سانتیمتری از نمود بیشتری برخوردار بود زیرا در این لایه، تجمع ریشه‌های تغذیه‌ای بیشتر بوده و در صورت عدم وجود رطوبت کافی انتقال مواد غذایی از محلول خاک به ریشه و سپس به برگ‌ها دچار اختلال شدید می‌شود. همچنین، تنش رطوبتی سبب کاهش تبخیر و تعرق و فتوسنتز برگ می‌گردد. این مطلب با ضریب همبستگی منفی به دست آمده در این پژوهش برای میزان شن خاک، با سایر مطالعات همخوانی دارد (Carr, 2013). ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک با همدیگر و همچنین با عملکرد محصول خرما محاسبه و بررسی گردید. این کار برای هر دو عمق ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک (به ترتیب زون ۲ و زون ۳) که دارای بالاترین ضریب همبستگی در رگرسیون چند مرحله‌ای بودند، محاسبه و گزارش شد که در جدول ۵ ارایه شده است. درخت خرما به عنوان یکی از گیاهان بسیار مقاوم در برابر کمبود عناصر غذایی محسوب شده و علایم ظاهری محسوسی در این شرایط از خود بروز نمی‌دهد (Danesh, 2001) و از این‌رو متأسفانه در بسیاری از موارد، نخل‌داران اعتقادی به کوددهی نخیلات خود ندارند اما نتایج پژوهش‌های گذشته و همچنین نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که محصول خرما در اثر کمبود طولانی مدت عناصر غذایی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که از نظر اقتصادی و کشاورزی پایدار باید مورد توجه قرار گیرد (Saeed Ahan, 1988; Shahrokh, 1996; Miao et al., 2011).

جدول ۵- ماتریس مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای ویژگی‌های مورد بررسی (در این جدول نتایج ضرایب همبستگی عملکرد با ویژگیهای خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر با رنگ روشن و ۳۰-۶۰ سانتی متر با رنگ تیره نمایش داده شده است)

Table 5. Pearson correlation coefficient values for studied properties (Light color for correlation in 0-30 cm, dark color for 30-60 cm of soil layer)

	SP	EC	pH	CCE	Gyps	OC	N	P	K	Sand	Silt	Clay	CEC	Mn	Cu	Fe	Zn	Yield
sp	1	-.09	.17	-.49*	-.17	.19	.10	.28	.51*	-.57**	.29	.08	.74**	.80**	.43	.39	.09	.07
Ec	.13	1	-.48*	.09	.27	.013	.01	-.14	-.31	-.18	.25	-.01	.18	-.16	.26	.35	.23	-.29
pH	-.25	.54*	1	-.25	-.23	-.06	-.05	.05	.21	.17	-.24	.02	.02	.15	-.11	-.16	-.21	-.10
CCE	-.46*	-.35	.28	1	.34	.08	.10	-.30	-.59**	.74**	-.62**	-.64**	-.46*	-.19	-.13	-.32	-.20	.19
Gyps	-.07	.27	-.03	-.21	1	.47*	.48*	-.09	-.23	-.07	.10	-.01	.18	.11	.22	-.01	.15	.08
OC	.31	-.04	-.23	.11	-.23	1	.98**	-.05	-.13	-.19	.14	.21	.25	.01	-.23	-.16	-.32	.26
N	.39	.03	-.21	.09	-.14	.96**	1	-.06	-.14	-.15	.11	.14	.17	-.08	-.25	-.18	-.31	.23
P	-.14	.16	.24	-.18	.33	-.33	-.25	1	.51*	-.08	-.18	.51*	.47*	.33	.09	-.23	-.33	.30
K	.34	-.08	.16	-.36	.27	-.21	-.24	-.10	1	-.27	.06	.52*	.33	.63**	.5*	.03	-.01	.33
Sand	-.62**	-.23	.36	.69**	-.02	-.23	-.26	.24	-.21	1	-.92**	-.71**	-.55*	-.20	-.19	-.51*	-.28	.34
Silt	.38	.23	-.38	-.68**	-.03	.11	.13	-.24	.03	-.94**	1	.36	.24	.01	.09	.46*	.41	.45*
Clay	.84**	.12	-.16	-.41	.13	.38	.43	-.14	.49*	-.67**	.35	1	.86**	.47*	.29	.38	-.07	.01
CEC	.72**	-.01	-.16	-.47*	.18	.32	.37	-.13	.57**	-.59**	.35	.81**	1	.43	.21	.22	-.14	.27
Mn	.51*	.04	.25	-.38	.25	-.01	.02	.15	.71**	-.18	-.05	.61**	.52*	1	.6**	.04	.07	.15
Cu	.42	.47*	-.2	-.42	-.11	-.15	-.14	.03	.21	-.21	.15	.25	.04	.46*	1	.38	.32	.42
Fe	.35	.44	-.26	-.50*	-.19	-.04	-.06	-.07	.05	-.35	.34	.21	.01	.36	.8**	1	.37	.08
Zn	.14	.22	.03	.08	.10	.19	.23	.50*	-.21	.04	-.19	.30	-.02	-.01	-.07	-.16	1	.08
Yield	.05	-.14	-.2	.20	-.08	.54*	.61**	.24	.51*	-.08	.09	.01	.04	.24	.34	.32	.41	1

* ضریب همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ درصد ** ضریب همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد
 *. Correlation is significant at the 0.05 level **. Correlation is significant at the 0.01 level

الگوی مکانی ویژگی‌های خاک

بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های مختلف خاک و همچنین عملکرد محصول در مناطق هدف از محدوده مورد بررسی به مساحت 107×39 متر مربع با استفاده از نرم افزار GS⁺ انجام شد.

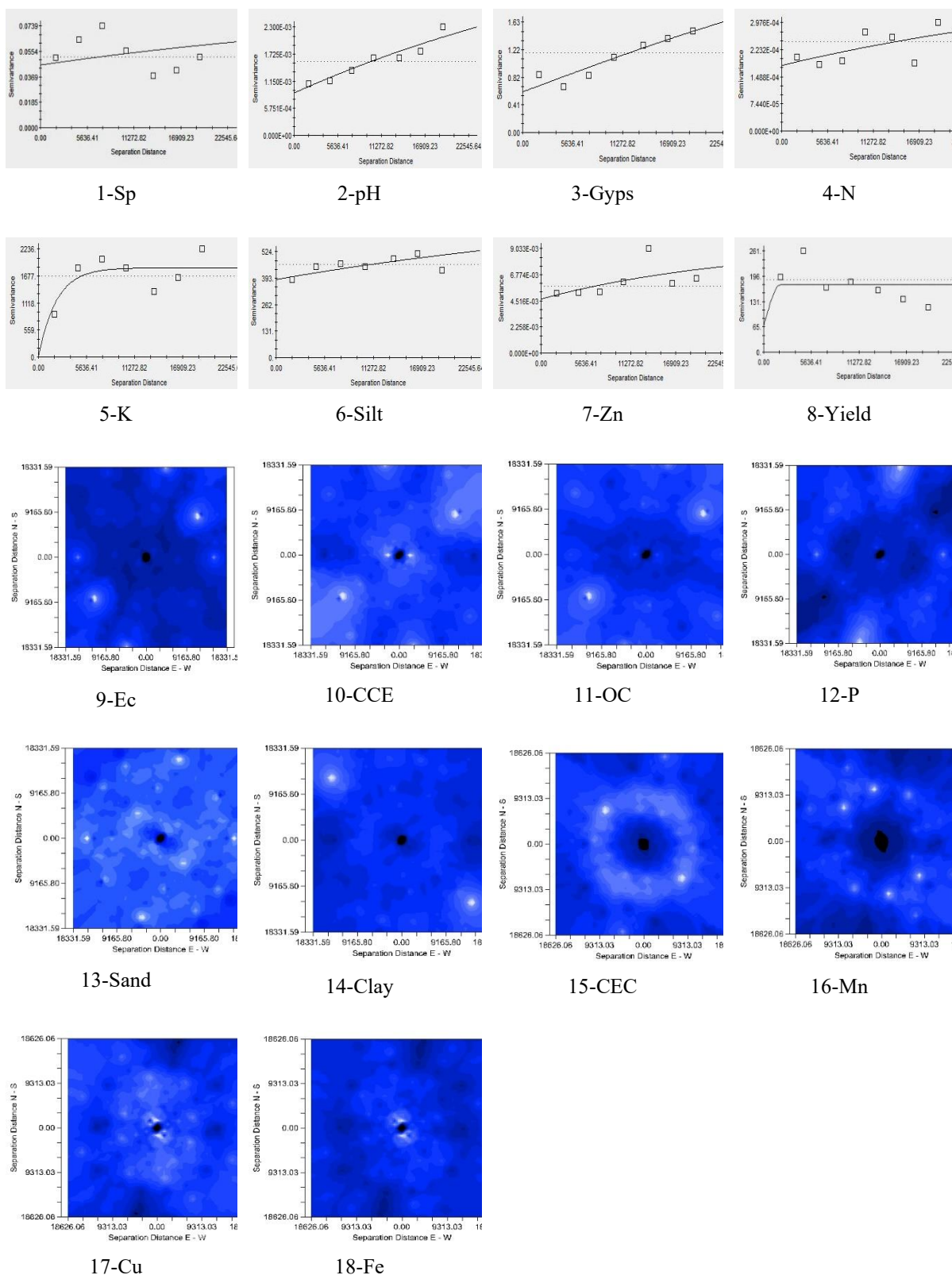
ضریب همبستگی بهترین مدل برازش داده شده به هر کدام از ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در جدول ۶ ارائه

شده است. هر چه مقدار ضریب همبستگی از ۰/۵ بیشتر باشد، همبستگی مکانی قوی‌تری مورد انتظار خواهد بود. تعداد زیادی از ضریب همبستگی‌های جدول ۶ از این عدد بیشتر هستند که در این میان، pH (۰/۹۱)، درصد گچ (۰/۸۹)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (۰/۷۱) و عملکرد محصول (۰/۶۵) دارای بیشترین ضریب همبستگی بودند (شکل ۳).

جدول ۶- خلاصه تحلیل زمین آماری ویژگی‌های مورد بررسی و مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی

Table 6. Summary of geostatistical information of studied properties and theoretical model fitted on experimental semivariogram

ویژگی Property	نماد انگلیسی Sign	مدل انتخابی و جهت‌داری Model **	اثر قطعه ای (C ₀)	دامنه تأثیر Range	نسبت همسانگردی C ₀ / C ₀ +C	مقدار آستانه Sill	ضریب همبستگی R ²	مجموع مربعات باقیمانده RSS
رطوبت اشباع	SP	Expo (Iso)	83.0	61100	0.5	166	0.6	11451
قابلیت هدایت الکتریکی	EC	Expo (Aniso)	0.64	272800	0.62	2.1	0.71	0.25
اسیدیته	pH	Sphe (Iso)	9.1	48470	0.69	3.1	0.91	8.9×10 ⁻⁸
کربنات کلسیم معادل	CCE	Expo (Aniso)	0.03	349200	0.78	0.12	0.42	6.4×10 ⁻³
گچ	Gyps	sphe	0.6	51100	0.73	2.3	0.89	0.06
ماده آلی	OC	Expo(Aniso)	0.18	267900	0.74	0.7	0.21	0.16
نیترژن نیترژن کل	N (total)	Expo(Iso)	0.1	40850	0.59	0.4	0.34	8.7×10 ⁻⁹
فسفر قابل استفاده	P (ava)	Expo(Aniso)	4.8	253100	0.81	25.5	0.35	419.7
پتاسیم قابل استفاده	K (ava)	Expo(Iso)	1.0	6390	0.99	1847	0.55	569277
شن	Sand	Expo(Aniso)	614	261900	0.67	1867	0.12	1.9×10 ⁻⁶
سیلت	Silt	Expo(Iso)	386	51100	0.5	772	0.33	7957
رس	Clay	Expo(Aniso)	1.5	239400	0.7	5.2	0.26	16.7
ظرفیت تبادل کاتیونی	CEC	Expo(Aniso)	32.9	81800	0.79	155.1	0.47	2513
منگنز قابل استفاده	Mn (ava)	Expo(Aniso)	0.28	51930	0.90	4.4	0.31	20.5
مس قابل استفاده	Cu (ava)	Expo(Aniso)	0.09	684200	0.74	0.34	0.44	0.084
آهن قابل استفاده	Fe (ava)	Expo(Aniso)	0.1	573500	0.72	0.34	0.44	0.1
روی قابل استفاده	Zn (ava)	Expo(Iso)	0.005	24820	0.5	0.01	0.31	7.5×10 ⁻⁶
عملکرد	Yield	sphe(Iso)	66.3	1980	0.62	173	0.65	21221
* (همسانگرد Isotropic ناهمسانگرد Anisotropic) ** (نمایی Exponential کروی Spherical)								



شکل ۳ - الف (۱ تا ۸) - نیم تغییر نمای همسانگرد: خط افقی = فاصله و خط عمودی = نیم تغییر نما و ب- (۹ تا ۱۸) نیم تغییر نمای ناهمسانگرد: خط افقی = غربی شرقی خط عمودی = شمالی جنوبی

Fig. 3- A: Isotropic semivariance (Horizontal: distance, Vertical: semivariance. 1-8) B: Anisotropic semivariance (Horizontal: distance E-W, Vertical: distance N-S. 9-18)

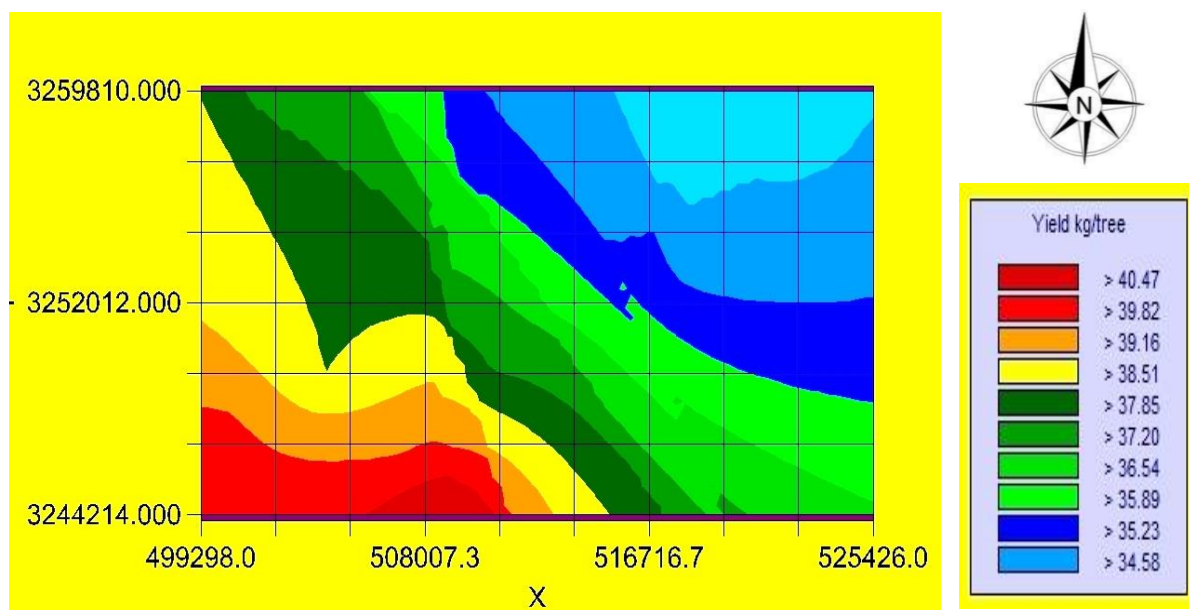
تغییر نماها با توجه به حداقل مربعات خطا، مجذور ضریب همبستگی بالاتر و مجموع مربعات باقیمانده کمتر انتخاب شد. شکل ۳. این نیم تغییر نماها نشان‌دهنده تغییرات متفاوت هر یک از ویژگی‌های خاکی در مقدار نیم واریانس با افزایش گام در اراضی محدوده مورد بررسی بودند. بر این اساس، مدل‌های به دست آمده از دو نوع کروی و نمایی بودند.

پهنه بندی عملکرد محصول

پس از تعیین بهترین مدل انتخابی برای برای ویژگی عملکرد محصول خرما در منطقه (کروی) با ضریب همبستگی مناسب (۰/۶۵) به بررسی دو روش مختلف تخمین‌گر موجود در نرم افزار GS^+ یعنی روش وزن دهی عکس فاصله (IDW) و روش کریجینگ معمولی (Kriging Ordinary) اقدام گردید که در نتیجه مشاهده گردید روش کریجینگ با مقدار خطای کمتر و یا به عبارتی با دقت بیشتری عملکرد را در نقاط مختلف محدوده مطالعه می‌تواند درون یابی کند. شکل ۴ به طور کل مقدار محصول خرما در اراضی دشت‌های رسوبی بیشتر از دشت‌های دامنه‌ای برآورد گردید.

میزان قدرت ساختار متغیرهای مکانی با رابطه نسبت همسانگردی مکانی یا ($C0/C0+C$) نمایش داده می‌شود. اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، متغیر از ساختمان قوی، بین ۰/۲۵-۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط و اگر این نسبت بیشتر از ۰/۷۵ باشد آنگاه ساختار مکانی ضعیف تلقی می‌گردد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشتر ویژگی‌های خاک مورد بررسی از ساختار مکانی متوسط و تعدادی نیز ضعیف برخوردار هستند. ساختار مکانی نسبتاً قوی تا متوسط ناشی از عوامل ذاتی مانند نحوه پیدایش و ژنز خاک تحت اثر مواد مادری می‌باشد در حالیکه وابستگی مکانی ضعیف نشان‌دهنده اثر معنی‌دار عوامل خارجی مانند مدیریت کودی و زراعی و نیز مدیریت و کیفیت آب آبیاری است. در این میان، بهترین کلاس ساختار مکانی مربوط به درصد اشباع، درصد سیلت و روی قابل استفاده در خاک (هر سه برابر ۰/۵) بود.

همچنین، بررسی الگوی مکانی ویژگی‌های خاک با ترسیم نیم تغییر نمای تجربی و بررسی الگوی توزیع مکانی ویژگی‌ها از نظر همسانگردی یا ناهمسانگردی صورت گرفته و بهترین مدل تئوری بر هر یک از نیم



شکل ۴ - پهنه بندی عملکرد درخت خرما در محدوده ۳۹۰۰۰ هکتاری مورد مطالعه

Fig. 4- Dates palm production zoning map in 39000 ha survey area

نتیجه گیری کلی

این مطالعه با هدف تعیین اثر تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر مقدار عملکرد محصول خرما و پهنه‌بندی تولید این محصول در پایاب سد رییس‌علی دلواری در منطقه دشتستان استان بوشهر به‌عنوان یکی از قطب‌های تولید خرما در جنوب کشور انجام شد. در این تحقیق نشان داده شد که درخت نخل در گستره وسیعی از ویژگی‌های خاک که احتمال دارد حتی در یک سطح تقریباً محدود از اراضی اتفاق بیافتد نیز می‌تواند رشد نموده و محصول تولید کند درحالی‌که این امکان برای سایر گیاهان زراعی و باغی وجود نداشته و چنین تطابقی با محیط برای درخت نخل منحصر بفرد است. با این وجود، اقتصادی بودن تولید این محصول در هر منطقه نیازمند شناخت دقیق از تغییرات مکانی عناصر غذایی موجود در خاک بوده و بررسی ویژگی‌های خاک و تخمین آن در نقاط مختلف و بیان همبستگی آن‌ها با عملکرد خرما این امکان را بوجود می‌آورد که با دیدی جامع

نگرایانه به کمبود و یا زیاد بود عناصر غذایی در منطقه آگاهی پیدا کنیم. از میان عناصر غذایی پر مصرف، نیتروژن از اهمیت بیشتری برای رشد نخیلات برخوردار است زیرا این درخت در طول دوازده ماه سال در حال رشد می‌باشد. بعد از این عنصر غذایی، پتاسیم و سپس فسفر و در ادامه سایر عناصر کم مصرف در رده‌های بعدی اهمیت قرار گرفتند. لایه ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک دارای بیشترین اثر تغذیه‌ای بر درخت نخل بوده و از این رو لازم است تا کوددهی در این عمق صورت گیرد تا بیشترین کارایی را داشته باشد. با استفاده از نقشه پهنه بندی عملکرد خرما، می‌توان نقاط مساعدتر برای کشت نخیلات را شناسایی نموده و اقدام به توسعه کشت این محصول نمود.

سیاسگزاری

از همکاران بخش خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و همچنین آزمایشگاه بخش علوم خاک دانشگاه شیراز تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Al-Kahtani, S. H., & Soliman, S. S. (2012). Effects of organic manures on yield, fruit quality, nutrients and heavy metals content of Barhy date palm cultivar. *African Journal of Biotechnology*, 11(65), 12818. 10.5897/AJB12.994.
- Al-Khalifa, M. A. (2010). Date palm the cultivars and the differences between them. Ministry of Municipalities and Agriculture Affairs. Agriculture Affairs, Kingdom of Bahrain.
- Anonymous, N. (2011). Production technology of date palm in Rajasthan. Date Palm Research Centre, Swami Keshwanand Rajasthan Agricultural University, Bikaner.
- Asongwe, G. A., Yerima, B. P., & Tening, A. S. (2016). Spatial variability of selected physico-chemical properties of soils under vegetable cultivation in urban and peri-urban wetland gardens of Bamenda municipality, Cameroon. *African Journal of Agricultural Research*, 11(2), 74-86. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10401>
- Carr, M. K. V. (2013). The water relations and irrigation requirements of the date palm (Phoenix

منابع

- dactylifera L.): A review. *Experimental Agriculture*, 49(1), 91-113. 10.1017/S0014479712000993
- Chiew, F., Kirono, D., Kent, D., & Vaze, J. (2009, July). Assessment of rainfall simulations from global climate models and implications for climate change impact on runoff studies. In 18th World Imacs Congress and Modsim09 International Congress on Modelling and Simulation: Interfacing Modelling and Simulation with Mathematical and Computational Sciences (pp. 3907-3913).
- Danesh Nia, S. A. (2001). Study N, P and K effect on date palm (Shahani Cultivar) yield in drip irrigation system (No. 79.355, p. 16). Report.
- Doornkamp, J. C., Brunnsden, D., & Jones, D. K. (1981). Geology, Geomorphology and Pedology of Bahrain (pp. xxxv+-443). doi/full/10.5555/19812608117
- Elprince, A. M., & Alsaeedi, A. H. (2007). National fertilizer program for date palm. In Proc. Symp. on Date Palm, 4th, Al-Hofuf, Saudi Arabia (pp. 5-8).

- Ersahin, S. (2003). Comparing ordinary kriging and cokriging to estimate infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*, 67(6), 1848-1855. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1848>
- Fatima, G., Wiehle, M., Khan, I. A., Khan, A. A., & Buerkert, A. (2017). Effects of soil characteristics and date palm morphological diversity on nutritional composition of pakistani dates. *Experimental Agriculture*, 53(3), 321-338. 10.1017/S0014479716000399
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411. 10.2136/sssaj2000.643858x
- Hosseini, Y., Mohebi, A.H., Pouzesh Shirazi, M., Basirat, M., and Rejali, F. (2017). Date palm Integrational fertilization and nutrition. *Agricultural Research, Education and Extension Organization publication (AREEO)*. Pp 68. (In Persian).
- Izadi M. (2007). Study the effect of pollen storage and usage on date palm production. Report No. 86.543. *Agricultural Research, Education and Extension Organization, (AREEO)*. Pp 30. (in Persian with English abstract).
- Jones, J. (2018). *Soil analysis handbook of reference methods*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9780203739433>
- Khavazi, K., Belali, M. R., Bazargan, K., Tehrani, M. M., Rezaei, H. H., Asadi Rahmani, Gh., Gheibi, M. N., Davoudi, M. H., Saadat, S., Moshiri, F., & Davaatgar, N. (2014). *Comprehensive Program of Soil Fertility and Plant Nutrition (2014–2025)*. Karaj: Soil and Water Research Institute. (In Persian).
- Khoshgoftarmansh, A.h. (2004). Determination of the most important limitations in pistachio production in Qom saline soils. *Journal of Qom Province Research*. No.2: 55-72. (In Persian).
- Kjeldahl, J.G.C.T. (1883). Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22(1), pp.366-382. 10.1007/978-3-031-31458-2_4
- Krueger, R. R. (2021). Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) biology and utilization. In *The Date Palm Genome, Vol. 1: Phylogeny, Biodiversity and Mapping* (pp. 3-28). Cham: Springer International Publishing. 10.1007/978-3-030-73746-7_1
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*, 5, 437-474. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c15>
- Malakoti, M. J., and Tabatabae, S.J. (1987). Proper nutrition of fruit trees. *Agricultural Research, Education and Extension Organization publication (AREEO)*. Pp 250. (In Persian).
- Malakouti, M. J., Keshavarz, P., & Karimian, N. (2008). *Comprehensive method for diagnosis and optimal fertilizer recommendation for sustainable agriculture*. Tehran: Tarbiat Modares University Press. 680 p. (In Persian).
- Marschner, H. (Ed.). (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press. 10.1016/C2009-0-63043-9
- Miao, Y., Stewart, B. A., & Zhang, F. (2011). Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(2), 397-414. 10.1051/agro/2010034.
- Moghim, A.H. (1987). Study the effect of micronutrients on quality and quantity of Date palm in Iran. *Hormazgan Research Manual*. Pp 20. (In Persian).
- Mohebi, A.H. (2005). The effect of irrigation water systems on yield and qualitative properties of Piarom Date palm. *Journal of soil and water*. No. 19:1: 124-130. (In Persian with English abstract).
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 539-579. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Nesbitt, M. (1993). Archaeobotanical evidence for early Dilmun diet at Saar, Bahrain. *Arabian Archaeology and Epigraphy*, 4(1), 20-47. 10.1111/j.1600-0471.1993.tb00041.x
- Nixon, R. W., & Furr, J. R. (1965). Problems and progress in date breeding.
- Olsen, S.R. and Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. Pp: 403-430. *Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties*. Part, 2.
- Pundir, J. P. S., Porwal, R., & Verma, I. M. (2004). Effect of ferrous sulfate and thiourea spray on date fruits cv. Medjool. [doi/full/10.5555/20043090344](https://doi.org/10.5555/20043090344)
- Rohani, A. (1988). Date palm. Tehran publication. Pp 292. (In Persian).
- Saeed Ahan S., 1988. Determining Date palm nutritional demand. Report No. 79.564. *Agricultural Research, Education and Extension Organization, (AREEO)*. Pp 16. (In Persian with English abstract).
- Sakr, M. M., Zeid, I. A., Hassan, A. E., Baz, A. G. I. O., & Hassan, W. M. (2010). Identification of some

Date palm (*Phoenix dactylifera*) cultivars by fruit characters) cultivars by fruit characters. Indian Journal of Science and Technology, 3(3), 338-343. 10.17485/ijst/2010/v3i3.24

Shahbazi, K., & Besharati Kalaye, H. (2013). A brief review of the fertility status of agricultural soils in Iran. Land Management Journal, 1(1), 1-15. <https://doi.org/10.22092/lmj.2013.100072>.

Shahrokh, Nia A.(1996). The best way for fertilizer and manure usage in Date palm gardens. Manual No. 4. Agricultural Research, Education and Extension Organization, (AREEO).Pp 11. (In Persian).

