

پیش‌بینی عملکرد یونجه توسط برخی شاخص‌های پوشش گیاهی و متغیرهای محیطی در خراسان جنوبی (مطالعه موردی شهرستان سرایان)

سیدعبداله محمدی^۱، ناصر مجنون حسینی^{۲*}، حسین مقدم^۳ و مصطفی اویسی^۴

۱ و ۲ و ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، استادیار و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۴)

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی پیش‌بینی عملکرد علوفه یونجه، بر پایه برخی پارامترهای اقلیمی، خاکی و شاخص‌های پوشش گیاهی (PVI)، حاصل از سنجنده Sentinel-2 مربوط به شهرستان سرایان در تیرماه ۱۳۹۷ انجام شد. داده‌های زمینی عملکرد یونجه از ۵۲ نقطه (شامل ۱۰ نقاط آزمایشی) جمع‌آوری شدند. سپس جهت پیش‌بینی عملکرد یونجه طی دو برداشت متوالی، از رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام به گام استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که نقشه عملکرد یونجه طی هر دو چین، با مؤلفه‌های میانگین بارندگی، کلاس خاک و شاخص PVI در سطح احتمال یک درصد ارتباط معنی‌داری داشت. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل، مقادیر R^2 ، RMSE و GMER را به ترتیب معادل ۰/۸۲، ۰/۸۸ و ۰/۹۱ نشان داد که بیانگر انطباق بالای مدل تخمینی عملکرد با عملکرد واقعی یونجه بود. همچنین نتایج آزمون کای اسکوتر ($P=0.99$)، عدم تفاوت معنی‌دار بین مقادیر واقعی و تخمینی عملکرد یونجه طی دو چین را نشان داد. بنابراین، به دلیل اعتبار بالای داده‌های مشاهداتی زمینی و داده‌های اقلیمی در منطقه جهت ارائه الگوی بهره‌برداری مناسب گیاهان علوفه‌ای، می‌توان از این متغیرها استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، اعتبارسنجی، پیش‌بینی عملکرد، یونجه.

Alfalfa yield prediction by some vegetative indices and environmental variables in Southern Khorasan: Case study of Sarayan

Sayed Abdoleh Mohammadi¹, Nasser Majnoun Hosseini^{2*}, Hussein Moghadam¹, Mostafa Oveisi¹

1. Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran
(Received: September 9, 2018- Accepted: February 23, 2019)

ABSTRACT

This study was conducted to predict alfalfa forage yield based on some climatic, soil and vegetative indices (PVI) derived from Sentinel-2 sensor in Sarayan (Southern Khorasan) of Iran in July 2018. Alfalfa yield data were collected from 52 points (10 of those experimental points) in two consecutive harvests to predict alfalfa performance, a stepwise multivariate linear regression was used. Results showed that the alfalfa performance map, in both consecutive harvests, with the mean of rainfall, PVI index and soil class was significant at 1% probability level. Validation showed that R^2 , RMSE and GMER were 0.82, 0.88 and 0.91, respectively, indicating the high compliance of the estimated performance model with the actual yield of alfalfa. Also, the results of chi-square test ($P = 0.99$) showed non-significant difference between actual values and estimated hay yield during two harvests. Therefore, due to the high reliability of terrestrial observations and climatic data in the region, these variables can be used to provide proper utilization pattern for forage plants.

Keywords: Alfalfa, climate, validation, yield prediction.

مقدمه

شده است (Agricultural Statistics, 2015). بررسی عملکرد علوفه در مناطق مختلف، به‌عنوان یکی از منابع اصلی فیبر و پروتئین مورد نیاز دام، از اهمیت غیر قابل انکاری برخوردار است. امروزه روش‌های مختلفی برای بررسی و تخمین عملکرد گیاهان زراعی

از میان گیاهان زراعی، یونجه (*Medicago sativa L.*) به دلیل عملکرد بالا و غنی بودن از مواد پروتئینی و معدنی، به عنوان مهم‌ترین گیاه علوفه‌ای دنیا محسوب می‌شود (Yarnia *et al.*, 2005). متوسط عملکرد علوفه خشک آن در ایران ۹۸۳۸ کیلوگرم در هکتار گزارش

* Corresponding author E-mail: mhoseini@ut.ac.ir

ذرت، تحت آستانه‌های مختلف شوری انجام شد به این نتیجه رسیدند که هر سه روش مورد آزمایش در برآورد عملکرد، توانایی خوبی دارند ولی روش کریجینگ فصلی از بقیه روش‌ها مناسب‌تر است. در شبه‌جزیره مالزی، مطالعه‌ای با استفاده از خط خاک و بر اساس پنج شاخص پوشش گیاهی انجام گرفت. نتایج نشان داد که شاخص $SAVI^1$ (شاخص گیاهی تعدیل شده خاک)، بهترین شاخص برای نقشه‌برداری از درختان با دقت ۷۹ درصد در مقایسه با دیگر شاخص‌ها بود (Baugh & Groeneveld, 2006). برخی محققین با بررسی رابطه بین شاخص پوشش گیاهی نرمال شده حاصل از ماهواره مودیس^۲ با عملکرد گندم نشان دادند که با برآزش خوبی ($R^2=0.75$) می‌توان عملکرد گندم را در بخش شمالی آرژانتین ارزیابی کرد (Lopresti *et al.*, 2015). جهت تعیین عملکرد علوفه گراس‌ها و کاربرد شاخص پوشش گیاهی نرمال شده ($NDVI^3$) به روش رگرسیون بهینه مشخص شد که این روش می‌تواند در سطح وسیع به کار رود (Song *et al.*, 2014). به‌منظور تعیین شاخص‌های مناسب ارزیابی تولید گیاهان در مناطق ییلاقی جنوب استان مازندران، داده‌های ماهواره‌ای شاخص‌های پوشش گیاهی TVI^4 ، $MIRV^5$ ، LAI^6 و VI^7 که همگی از مشتقات شاخص گیاهی نرمال شده هستند، رابطه معنی‌داری با تولید علوفه نشان دادند (Arzani *et al.*, 2008).

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌همراه داده‌های مشاهداتی زمینی و داده‌های اقلیمی، روش مناسبی برای تخمین عملکرد علوفه است اما باید آزمون شود که چه اندازه می‌توان به خروجی به‌دست آمده از این روش اطمینان کرد. به‌طورکلی، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی دقت تخمین عملکرد یونجه بر پایه پارامترهای اقلیمی، خاکی و شاخص‌های پوشش

مورد استفاده قرار می‌گیرند که از آن جمله می‌توان به سنجش از دور و مدل‌های رشد گیاهی اشاره کرد. فاکتورهای اقلیمی، خاکی و گیاهی، تعیین‌کننده عملکرد گیاهی در هر منطقه می‌باشند (Anderson, 1968; Burrough, 1991; Guisan *et al.*, 1998). برخی محققان، از پارامترهای هواشناسی جهت پیش‌بینی عملکرد ذرت استفاده کردند و نشان دادند که زیر مدل آب و خاک، منجر به افزایش دقت مدل می‌شود (Dadrasi and Torabi, 2016). می‌توان میزان تولید علوفه در حوضه آب‌خیز دماوند را به‌وسیله سه متغیر بارندگی، شیب و شاخص گیاهی نرمال شده تخمین زد؛ بر این اساس، ضریب همبستگی در رابطه بین شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده و تولید علوفه، ۷۲ درصد به‌دست آمد (Mirakhorlo & Hosseini, 2006). همچنین با مطالعه عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گیاهان در جنگل‌های بارانی آتلانتیک دریافتند که دمای اتمسفر و خاک و در مرحله بعد، رطوبت هوا، از همه مهم‌تر هستند (Nunes & Santue, 2012). با استفاده از روش رگرسیون لجستیک تحت تأثیر، متوسط بارش سالیانه، میزان رس، میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال و درجه شیب، پراکنش گونه‌گون زرد در منطقه اصفهان مشخص شد (Safaei *et al.*, 2013). در مطالعات برخی از محققین نیز اشاره شده است که گون زرد، بیشترین همبستگی را با میانگین درجه حرارت و سه عامل خاک (هدایت الکتریکی، میزان رس و کربن آلی) دارد (Saki *et al.*, 2012). به‌طوری‌که حضور این گونه با میزان رس و کربن آلی همبستگی مستقیم و با میزان هدایت الکتریکی همبستگی معکوس دارد. در بررسی تأثیر شرایط اقلیمی بر تولید علوفه مراتع استپی استان مرکزی، از بین شاخص‌های مهم اقلیمی، شاخص بارندگی فصل رویش به اضافه بارش فصول پیشین، به‌عنوان مؤثرترین شاخص اثرگذار بر تولید گیاهان بوته‌ای معرفی شدند (Ehsani *et al.*, 2007).

در مطالعه Eldeiry and Garcia (2012) که با هدف مقایسه سه روش کریجینگ فصلی، شاخص و احتمالاتی در برآورد پتانسل عملکرد گیاه یونجه و

¹ Soil Adjustment Vegetation Index

² MODIS

³ Normal Different Vegetation Index

⁴ Transformed Vegetation Index

⁵ Mid Infrared Index

⁶ Leaf Area Index

⁷ Vegetation Index

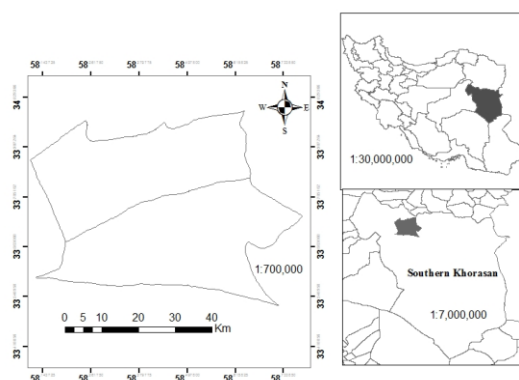
طی دوره آماری ۲۰ ساله، ۱۵۳ میلیمتر گزارش شده است و حداکثر میزان بارندگی در اسفند ماه است. بارندگی از آذرماه شروع می‌شود که در طول سه ماه زمستان و ماه اول بهار ادامه می‌یابد و در اردیبهشت ماه، بارندگی با افت شدیدی روبه‌رو می‌شود و در ماه‌های مرداد و شهریور به صفر می‌رسد. این منطقه دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک می‌باشد و میانگین دمای سالیانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، منطقه سرایان در اقلیم خشک قرار دارد (Alizadeh, 2007).

گیاهی طی دو برداشت متوالی، توسط رگرسیون خطی چند متغیره بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این منطقه در شمال استان خراسان جنوبی، بین طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۶۵ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۷۹ دقیقه و ۳۳ درجه و ۹۹ دقیقه شمالی قرار دارد که بالاترین ارتفاع آن، ۱۷۸۹ و پایین‌ترین ارتفاع آن، ۱۱۰۲ متر از سطح دریا است. مساحت منطقه (شهرستان سرایان)، ۴۷۷ کیلومتر مربع است (شکل ۱). میانگین بارندگی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی سرایان.

Fig. 1. The geographical location of the study area of Sarayan.

(نشان‌دهنده رطوبت خاک)، استفاده شد. شاخص‌های گیاهی، از داده‌های ماهواره Sentinel-2 به‌طور مستقیم از سازمان هوایی ناسا^{۱۴} (www.usgs.com) و در تاریخ ۲۰۱۸/۰۶/۲۷ تهیه شدند (جدول ۱ و ۲). این تصویر، به روش نزدیک‌ترین همسایه در سیستم مختصات متریک (UTM zone 40N)، با ۳۰ نقطه کنترل زمینی و با استفاده از نقشه توپوگرافی سازمان نقشه برداری کشور با مقیاس یک به ۲۵۰۰۰ و میزان خطای (RMSE=0.38) زمین مرجع شدند. جهت محاسبه برخی شاخص‌های پوشش گیاهی، به‌دست آوردن معادله خط خاک^{۱۵} ضروری است. خط خاک، در واقع خطی در فضای طیفی بازتاب خاک در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز است (شکل ۲).

جهت پیش‌بینی عملکرد یونجه، از شاخص‌های پوشش گیاهی^۱ (MSAVI،^۲DVI،^۳WDVI،^۴PVI،NDVI)، خصوصیات خاک (YSII و^۵OC،^۶EC،Soil Class) و پارامترهای اقلیمی (میانگین دما^۸، میانگین بارش^۹، میانگین سرعت باد^{۱۰}، ارتفاع^{۱۱}، میانگین کمترین و بیشترین دما^{۱۲} و میانگین رطوبت^{۱۳} و باند ۹

¹ Perpendicular Vegetation Index

² Weighted Difference Vegetation Index

³ Difference Vegetation Index

⁴ Modified Soil Adjustment Vegetation Index

⁵ Electric Conduction

⁶ Organic Carbon

⁷ Salinity Index

⁸ Temperature Means

⁹ Rain Means

¹⁰ Wind Speed Means

¹¹ Elevation

¹² Lowest and Highest Temperature

¹³ Moisture Means

¹⁴ www.usgs.com

¹⁵ Soil Line

جدول ۱- شاخص‌های پوشش گیاهی و شوری مورد استفاده.

Table 1- Vegetation Plants and salinity indexes.

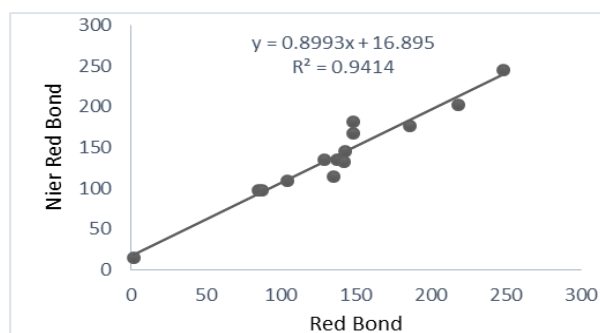
Formula	Reference	Kind of index
$MSAVI=(1+L) * (NIR - red)/(NIR + red+L)$	Qi <i>et al.</i> , 1994	Cover Plant
$MSAVI=2*R_{NIR}+1-((2*R_{NIR}+1)^2- 8(R_{NIR}- R_{RED}))^{0.5}/2$		
$NDVI=R_{NIR} - R_{red}/ R_{NIR}+R_{red}$	Rouse <i>et al.</i> , 1974	Cover Plant
$WDVI= NIR -a*Red$	Qi <i>et al.</i> , 1994	Cover Plant
$PVI=(NIR-a*Red*3-b)/(1+a^2)$	Qi <i>et al.</i> , 1994	Cover Plant
$SI= (Green^2 + Rred2)^{0.5}$	Kappa <i>et al.</i> , 2005	Cover Plant
$BI=(Red^2 + NIR^2)^{0.5}$	Kappa <i>et al.</i> , 2005	Cover Plant
$L= 1- 2*NDVI*WDVI$	Darvishzadeh <i>et al.</i> , 2011	

R_{NIR} , R_{red} , Green, a و b به ترتیب بازتاب در ناحیه مادون قرمز، قرمز، سبز، شیب و عرض از مبدأ خط خاک را نشان می دهد. R_{NIR} , R_{red} , Green, a و b show the reflection in the infrared, red, green, Slope and Source width of the soil line, respectively.

جدول ۲- خصوصیات ماهواره Sentinel.

Table 2. Characteristics of Sentinel satellite.

Image width	Spatial resolution	Number of Bonds	Date	Satellite
290 Km	Bond 2,3,4,8- (10m) Bond 5,6,6A,11,12-(20m) Bond 1,9,10- (60m)	12	2018,June,27	Sentinel2A/2B



شکل ۲- رابطه بازتاب باند قرمز و قرمز نزدیک جهت برآورد خط خاک.

Fig. 2. Relationship between near red and red reflection bond to estimate soil line.

استخراج شد و سپس مدل‌سازی شد. با توجه به این موضوع که اطلاعات استخراج شده هر تصویر، وضعیت مزارع را به صورت لحظه‌ای در همان زمان نشان می‌دهد، ممکن است خط‌هایی داشته باشد (به عنوان مثال، مزارع گندم، جو، ذرت و حتی زیره به دلیل مترکم بودنشان دچار خطا شوند). از زمانی که این گیاهان برداشت شدند یا در حال برداشت شدن بودند، تاریخ تهیه تصاویر بعد انتخاب شد. داده‌های زمینی شامل مختصات جغرافیایی ۵۲ نقطه (توسط GPS دستی گارمین)، به همراه عملکرد علوفه طی دو چین متوالی (هشت تیر و ۲۸ مرداد سال ۱۳۹۷)، هدایت الکتریکی خاک و کربن آلی خاک آن‌ها بود.

نقشه کلاس خاک منطقه، بر اساس نسبت جذب سدیم SAR^1 بود، که از سایت خریداری <https://farfile.ir/product/19422/9240> شد و نقشه هدایت الکتریکی خاک و ماده آلی خاک حاصل از ۵۲ نقطه، توسط روش آزمایشگاهی و نقشه اقلیمی، از شش نقطه توسط معکوس فاصله وزنی^۲ تولید شدند. اطلاعات پارامترهای اقلیمی از شش ایستگاه منطقه استخراج شد (جدول ۳). به عنوان نمونه، میزان بارندگی ایستگاه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. پس از تهیه نقشه‌های اولیه، اطلاعات آن‌ها

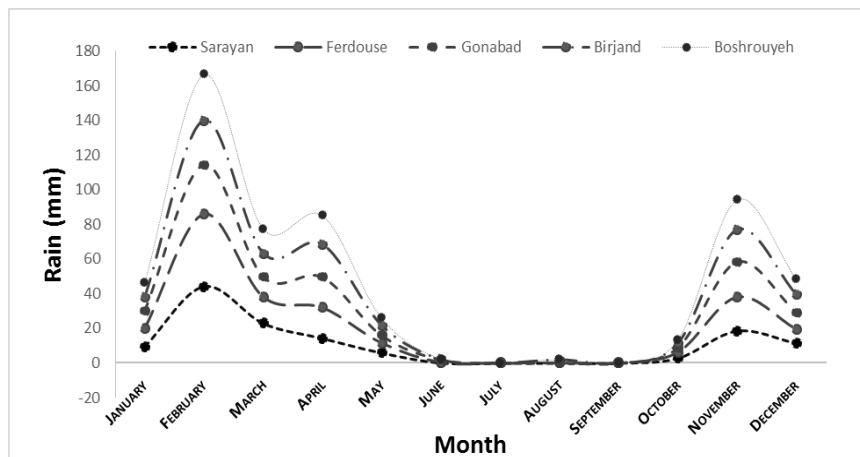
¹ Sodium Adsorption Ratio

² IDW

جدول ۳. مشخصات ایستگاه های هواشناسی.

Table 3. Characteristics of meteorological stations.

Station Name	Longitude	Latitude	Elevation
Haji Abad	33.716	59.167	1284
Sarayan	33.85	58.517	1405
Ferdows	34.017	58.167	1293
Gonabad	34.35	58.683	1256
Birjand	33.4	59.483	1491
Boshrouye	37.8	54.417	885



شکل ۳- میزان بارندگی ایستگاههای منطقه طی ماههای سال ۱۳۹۶-۹۵.

Fig. 3. Precipitation from local station during 2016-2017.

در این معادلات، O و E به ترتیب مقادیر واقعی و تخمینی، $(x_i - x_i^A)$ و RMSE به ترتیب تفاوت مقادیر تخمینی و واقعی و خطای میانگین مربعات، N، ϵ ، ϕp و ϕm به ترتیب نشان دهنده تعداد نمونه، نسبت خطا، مقادیر تخمینی، مقادیر واقعی و میانگین هندسی نسبت خطا بودند. بر این اساس، GMER برابر با یک، بیانگر انطباق مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده است. GMER بالاتر از یک، نشان از بیشتر بودن داده های تخمینی از داده های واقعی دارد و GMER کمتر از یک، نشان دهنده کمتر بودن داده های تخمینی از داده های واقعی است. بنابراین مدلی از اعتبار بالاتری برخوردار است که GMER نزدیک به یک و ضریب تبیین بالا داشته باشد (Wagner et al., 2001).

نتایج و بحث

زمانی که مقادیر چولگی داده ها بین منفی یک تا مثبت یک باشد، این مطلب را نشان می دهد که توزیع

نرم افزارهای 2014 ERDAS IMAGIN جهت استخراج اطلاعات تصاویر و همچنین نرمال کردن تصاویر، ArcGIS 10.3.1 جهت تهیه نقشه ها و نرم افزار SPSS 22 جهت محاسبات آماری و تهیه مدل رگرسیون چند متغیره و روش گام به گام^۱ مورد استفاده قرار گرفتند. جهت سنجش اعتبار مدل تخمین عملکرد، از ۱۰ داده تست استفاده شد؛ برای این منظور، پارامترهای ضریب تبیین (R^2)، RMSE و GMER^۲ و آزمون کای اسکور بین مقادیر واقعی و تخمینی استفاده شدند (معادلات ۱ و ۲).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_i^A)^2} \quad \text{معادله ۱}$$

$$\epsilon = \frac{\phi p}{\phi m} \quad \text{معادله ۲}$$

$$GMER = \exp\left[\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n \ln(\epsilon)\right] \quad \text{معادله ۳}$$

$$X^2 = \frac{(O - E)^2}{E} \quad \text{معادله ۴}$$

¹ Stepwise

² Geometric Mean Error Ratio

این حال باید نرمال بودن توزیع داده‌ها مورد آزمون قرار گیرد. برای تست این فرضیه، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف یک استفاده شد (جدول ۴).

داده‌ها نرمال است (Savari et al., 2016). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقادیر چولگی تمام متغیرها در این محدوده قرار گرفت. نزدیکی میانه و متغیر نیز دلیل دیگری بر نرمال بودن متغیرها بود.

جدول ۴- آزمون نرمال بودن داده‌ها.

Table 4. Normality test of data.

	Median	Mean	Mode	Kurtosis	Skewness	Sig
Yield 1(*250gr/m ²)	5.6	5.61	5.8	1.31	0.739	0.197
Yield 2(*250gr/m ²)	5.55	5.53	5.5	-0.89	0.833	0.207
EC (ds/m)	72.50	74.16	12	-1.39	-0.159	0.53
Organic Carbone (%)	15	15.6	15	0.76	0.96	0.39
Soil Class	1.15	1.2	1.1	.457	.607	0.185
Mean Temperature (°c)	19.85	19.79	20	-0.203	0.97	0.053
Mean Lowest T (°c)	-2.5	-2.46	-3	4.97	2.42	0.00
Mean Highest T (°c)	32	32.48	30	-0.66	0.67	0.21
Mean Rain (mm)	120.4	120.8	134	.960	.764	0.49
Wind Speed (m/s)	3.3	4	3	41.69	6.45	0.00
Humidity (%)	38.60	36.60	39	41.76	-6.75	0.00
Elevation (m)	1497.5	1480.9	1319	0.133	0.09	0.76
NDVI	183.00	176.14	100	-1.2	-0.39	0.14
PVI	133.00	130.67	131	-0.503	-0.127	0.11
WDVI	209	208.1	205	-0.85	.71	0.92
Salinity Index 1	148.5	142.62	146	0.79	-0.82	0.093
Salinity Index 2	130.5	130.1	141	0.027	-0.405	0.8
Bond 9	171.00	175.07	171	-0.044	-0.805	0.99
MSAVI	132	131.5	134	0.32	0.21	0.86
DVI	158	152.5	174	-0.37	-0.94	0.09

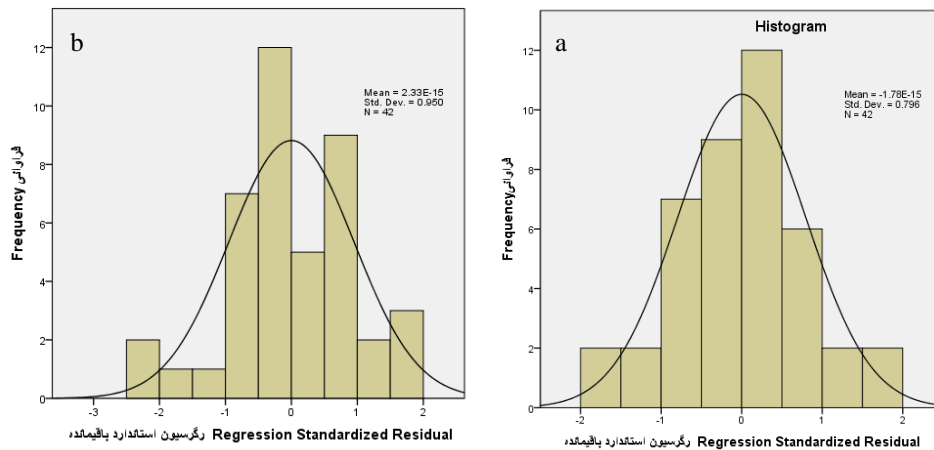
جهت تجزیه‌های رگرسیونی خطی چند متغیره، از روش گام به گام استفاده شد. با توجه به جداول ضرایب همبستگی بین عملکرد علوفه طی دو چین متوالی و متغیرها، همبستگی بالایی بین عملکرد علوفه و شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، PVI، EVI، Bond9، بارندگی، کلاس خاک و شوری خاک طی هر دو چین وجود داشت (جدول ۵، ۶ و ۷). نقشه بارندگی، کلاس خاک، شوری و شاخص NDVI در شکل ۵ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که با توجه به مقدار Sig، فرض H0 (نرمال نبودن داده‌ها) رد شد و داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند. داده‌های غیر نرمال (میانگین رطوبت، میانگین کمترین و بیشترین دما، میانگین دمای سالیانه و میانگین سرعت باد)، از روش کاکس-باکس (Cox & Box) و با نرم افزار SPSS-22 نرمال شدند. توزیع خطا داده‌ها، جزو فرضیات اولیه همه کارهای آماری است؛ بنابراین همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، فراوانی رگرسیون استاندارد باقیمانده عملکرد یونجه طی هر دو چین دارای توزیع نرمال بود (Ardakani et al., 2017).

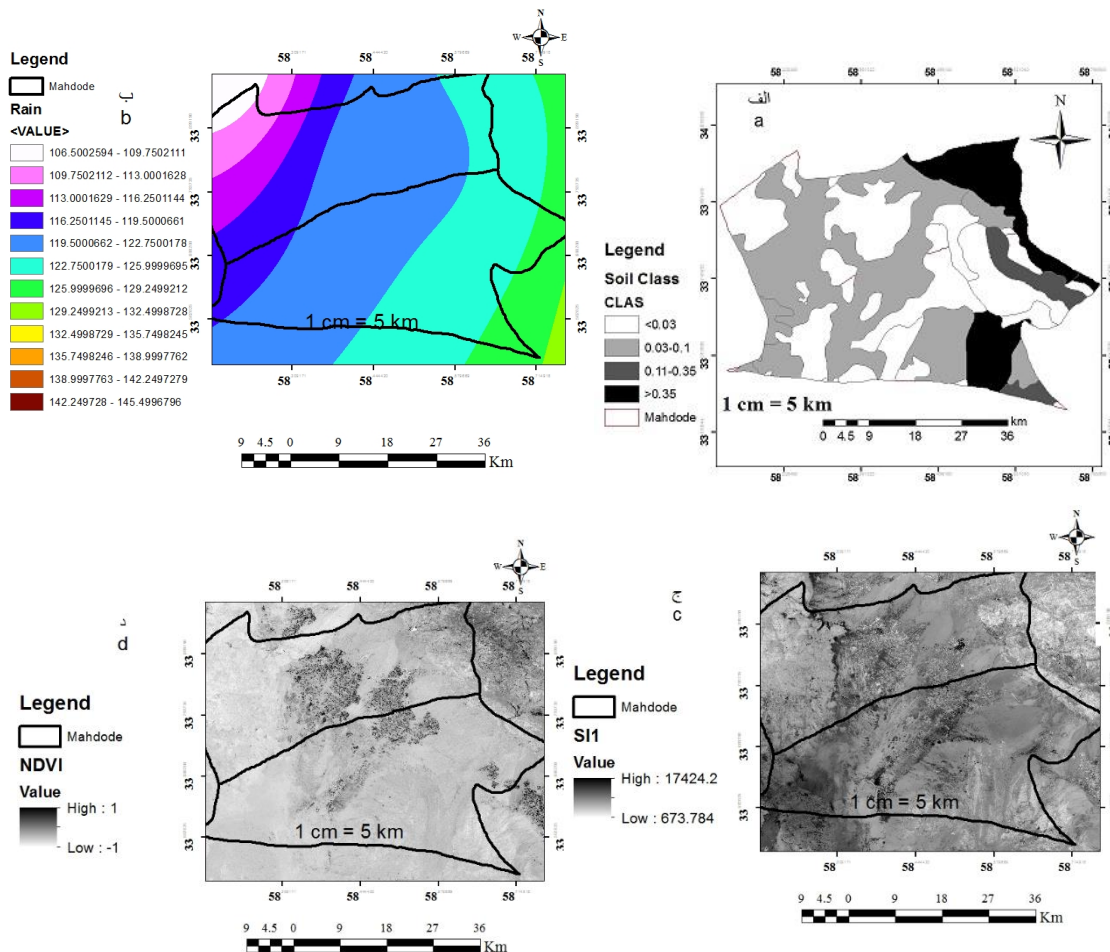
جدول ۵- همبستگی عملکرد یونجه با شاخص‌های گیاهی.

Table 5. Correlation between alfalfa yield and plants cover indexes.

Plant Index	WDVI	DVI	MSAVI	PVI	NDVI
Yield cutting1	-0.18	-0.59**	-0.006	-0.66**	-0.6**
Yield cutting 2	-0.17	-0.55**	-0.002	-0.69**	-0.55**



شکل ۴- فراوانی رگرسیون باقیمانده استاندارد عملکرد یونجه در چین اول (a) و دوم (b).
 Fig. 4. Frequency of standard residual regression of alfalfa yield in first (a) and second (b) harvest.



شکل ۵- نقشه کلاس خاک (الف)، بارندگی (ب)، شاخص‌های SI1 (ج) و NDVI (د) در مناطق مورد مطالعه.
 Fig. 5- Maps of soil class (a), rain (b), Firth soil salinity (c) and NDVI (d) in locations.

جدول ۶- همبستگی عملکرد یونجه با برخی پارامترهای اقلیمی.

Table 6. Correlation between alfalfa yield and some climatic parameters.

Climate	Elevation	Humidity	Wind Speed	Rain	Mean Temperature	Maximum Temperature	Minimum Temperature
Yield cutting 1	-0.00	-0.15	-0.12	0.58**	0.09	-0.13	0.11
Yield cutting 2	-0.04	-0.12	-0.09	0.55**	0.08	-0.08	0.14

جدول ۷- همبستگی عملکرد یونجه با برخی خصوصیات خاک.

Table 7. Correlation between alfalfa yield and some soil characteristics.

Soil Index	EC	Organic Carbone	Soil Class (EC-Cation)	Salinity Index 1	Salinity Index 2	Bond9
Yield cutting 1	-0.37**	0.13	-0.26*	0.17	-0.07	0.46**
Yield cutting 2	-0.35**	0.16	-0.29*	0.17	-0.03	0.48**

شاخص‌های گیاهی رابطه معنی‌داری وجود دارد ولی با عملکرد دانه در هیچ تاریخی و هیچ شاخصی رابطه معنی‌داری وجود نداشت (Mahmoudi *et al.*, 2014). با توجه به جدول ضرایب رگرسیونی مدل، معادله عملکرد یونجه در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شد (معادلات ۵ و ۶).

معادله ۵

$$Yield 1 = -37.2 + 0.35 Rain - 0.789 Soilclass - 0.021 PVI$$

معادله ۶

$$Yield 2 = -35.7 + 0.34 Rain - 0.74 Soilclass - 0.019 PVI$$

برخی از محققان با تخمین عملکرد گندم توسط شاخص‌های گیاهی دریافتند که همبستگی معنی‌داری بین عملکرد گندم با شاخص‌های NDVI، SAVI و EVI وجود دارد (Sanaeinejad *et al.*, 2014). برخلاف نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، Liaghat *et al.* (2017) در مطالعه روی گندم نشان دادند که برای پیش‌بینی عملکرد، شاخص NDVI چندان مناسب نیست. آن‌ها همچنین نشان دادند که همبستگی شاخص SAVI با عملکرد در ماهواره مودیس نسبت به ماهواره لندست بیشتر است. برخی محققان نیز نشان دادند که بین وزن خشک و سطح برگ گندم با

جدول ۸- ضرایب تشخیص تخمین عملکرد یونجه.

Table 8. Determination coefficients of alfalfa yield estimation.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of Estimate
Yield 1	0.77	0.59	0.56	1.81
Yield ۲	0.76	0.58	0.55	1.71

جدول ۹- تجزیه رگرسیون مدل تخمین عملکرد یونجه.

Table 9- Regression analysis of alfalfa yield estimation model.

Model	d.f.	Sum of Square	Mean of Square	F	Sig
Regression1	3	180.96	60.32	18.50	0.000
Residual1	38	123.91	3.26		
Total1	41	304.86			
Regression2	3	157.3	52.44	17.98	0.000
Residual2	38	110.8	2.92		
Total2	41	268.12			

بارندگی، شیب و شاخص گیاهی نرمال شده می‌توان میزان تولید علوفه در حوضه آبخیز دماوند را تخمین زد (Mirakhorlo & Hosseini, 2006). رطوبت ناشی از بارندگی فصل رویش و ابتدای فصل رشد، به‌صورت رطوبت ذخیره شده در خاک باقی می‌ماند و گیاهان از این رطوبت استفاده می‌کنند. بر اساس نمودار همبستگی، ضریب تبیین در رابطه بین شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده و تولید علوفه، ۷۲ درصد به‌دست آمد.

برای استفاده از متغیرهای مستقل این معادله، معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیونی یعنی برابر بودن این ضرایب با یک مقدار ثابت (B) مورد آزمون قرار گرفت. این آزمون نشان داد که متغیرهای این معادله در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱۰) و از متغیرهای بارندگی، کلاس خاک و شاخص گیاهی PVI می‌توان جهت تولید نقشه عملکرد یونجه با ضریب تعیین و ضریب همبستگی ۰/۶۳ و ۰/۷۹ استفاده کرد (جدول ۱۰).

برخی محققان نیز نشان دادند که به‌وسیله سه متغیر

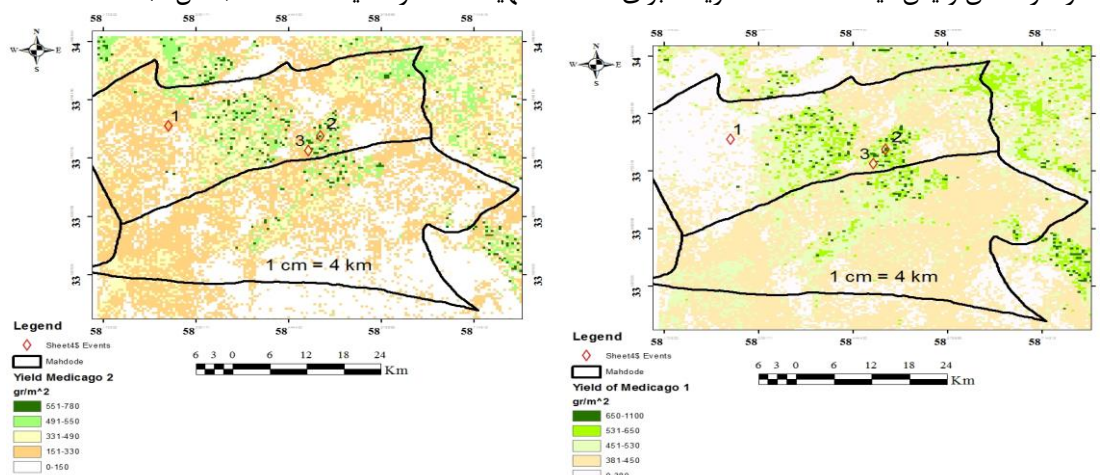
جدول ۱۰- ضرایب رگرسیونی مدل.

Table 10- Regression coefficient of models.

		B	Std. Error	T	Sig.
Yield 1	(Constant)	-37.2	12.56	-2.96	0.005
	Rain	0.35	0.102	3.5	0.001
	Soil Class	-0.789	0.33	-2.4	0.021
	PVI	-0.021	0.006	-3.54	0.001
Yield 2	(Constant)	-35.67	11.87	-2.67	0.006
	Rain	0.34	0.096	3.5	0.001
	Soil Class	-0.74	0.31	-2.37	0.02
	PVI	0.019	0.006	-3.43	0.001

یافتن بهترین شاخص در مناطق خشک با پوشش گیاهی تنک مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از آن، مقدار ضریب تبیین از رگرسیون خطی این شاخص‌ها برای تعیین عملکرد، مورد استفاده قرار گرفت و نتایج مطلوبی را ارائه داد (Baugh & Groeneveld, 2006) به طوری که شاخص‌های دارای ضریب خط خاک، برای این مناطق مناسبتر هستند. Bocco *et al.* (2013) نیز پیشنهاد کردند که شاخص SAVI جهت پوشش گیاهان سویا و ذرت بسیار مفید است؛ البته آن‌ها از ماهواره مودیس استفاده کرده بودند. به منظور تعیین شاخص‌های مناسب ارزیابی تولید گیاهان در مراتع ییلاقی جنوب استان مازندران، داده‌های ماهواره‌ای شاخص‌های گیاهی TV، MIRV، LAI و VI که همگی از مشتقات شاخص گیاهی نرمال شده هستند، رابطه معنی‌داری با تولید علوفه نشان دادند (Arzani *et al.*, 2008). پس از یافتن بهترین معادله، اقدام به تهیه نقشه در محیط GIS شد (شکل ۶).

نتایج Saki *et al.* (2012)، نشان داده است که حضور گون زرد با عامل‌های محیطی میانگین درجه حرارت و سه عامل خاک (رس، هدایت الکتریکی و کربن آلی) بیشترین همبستگی را داشت به طوری که حضور این گونه با میزان رس و مواد آلی همبستگی مستقیم و با میزان هدایت الکتریکی همبستگی معکوس داشت (Song *et al.*, 2014). برخی محققین در تعیین عملکرد علوفه گراس‌ها و کاربرد شاخص NDVI به روش رگرسیون بهینه دریافتند که این روش می‌تواند در سطح وسیع به کار رود. از بین شاخص‌های پوشش گیاهی، NDVI، SAVI، MSAVI و EVI در تهیه نقشه عملکرد گندم تحت شرایط آبیاری شاخص SAVI از دقت بالاتری ($R^2=0.63$)، برخوردارند و می‌توان از آن‌ها در جهت تعیین عملکرد استفاده کرد (Liaghat *et al.*, 2017). تعداد ۱۴ شاخص پوشش گیاهی با استفاده از ماهواره لندست پنج و سنجنده TM در دره سان‌لوئیس ایالات متحده آمریکا، برای



شکل ۶- نقشه پیش‌بینی عملکرد یونجه در چین اول و دوم.

Fig. 6. Map of alfalfa yield prediction in the first and second harvest.

نسبت به چین دوم مناسب‌تر است (جدول ۱۱). با توجه به جدول ۱۲ که نتایج آزمون کای اسکوئر را نشان می‌دهد، پیداست که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر واقعی و تخمینی عملکرد یونجه طی هر دو چین وجود ندارد.

نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد که میانگین هندسی نسبت خطا در هر دو چین، بالاتر از یک شد که نشان دهنده کمی بالاتر بودن مقادیر تخمینی نسبت به مقادیر واقعی است. ضریب تبیین بالاتر، میانگین خطای آزمایشی کمتر (RMSE) و نزدیک‌تر بودن میانگین هندسی نسبت خطا (GMER)، در چین اول

جدول ۱۱- پارامترهای ارزیابی مدل.

Table 11. Model evaluation parameters.

	R ²	RMSE	GMER
Yield 1	0.757	35.4	1.03
Yield 2	0.624	43.03	1.09

جدول ۱۲- آزمون کای اسکوئر.

Table 12. Chi-Square test.

	Chi-Square	d.f.	Asymp. Sig.
Yield 1	4.28	7	0.74
Estimation of yield	2.43	8	0.63
Yield 2	5.42	7	0.61
Estimation of yield	1.43	8	0.99

پارامترهای اقلیمی، خاکی و پوشش گیاهی در آن استفاده شده است، از اعتبار بالایی برخوردار است. مدیران می‌توانند از این نقشه‌ها جهت ارائه الگوی بهره‌برداری مناسب منطقه استفاده کنند، به طوری که در مناطقی با شوری کم، می‌توان یونجه تولید کرد؛ این امر می‌تواند منجر به کاهش مهاجرت از این مناطق می‌شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مسئولان محترم دانشکده کشاورزی شهرستان سرایان، جهاد کشاورزی و منابع طبیعی که در امر اجرای این تحقیق، همکاری‌های لازم را به عمل آورده‌اند صمیمانه قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس این مدل طی هر دو چین، از بین پارامترهای اقلیمی، بارندگی و از بین شاخص‌های گیاهی، شاخص PVI و از بین خصوصیات خاکی، کلاس خاک تعیین شدند. اگر فرض شود که شاخص PVI برابر صفر، بارندگی برابر ۱۲۰ و کلاس خاک برابر یک ($SAR < 0.05$) باشد، به عملکرد بالای ۵۷۵ گرم بر متر مربع خواهیم رسید (مکان دو). اگر همین مقادیر را فرض بگیریم اما کلاس خاک را به دو ($SAR = 0.05 -$) برسانیم، عملکرد به ۴۸۰ گرم بر متر مربع می‌رسد (مکان سه) و اگر در کلاس خاک دو، بارندگی را به ۱۱۰ میلی‌متر کاهش داده، عملکرد به کمتر از ۱۸۰ گرم بر متر مربع (مکان ۱) می‌رسد. به‌طورکلی، این روش پیش‌بینی عملکرد علوفه، به دلیل این که از

REFERENCES

1. Alizadeh, A. (2007). Principles of applied hydrology. Emam Reza University. Press, Mashhad, P: 265-290. (In Persian).
2. Anderson, E. W. (1968). Soil information for range resource evaluation. *Journal of Range management*, 21(1), 406-409.
3. Ardakani, A. H., Karimi Ahmadabad, M. Ekhtesasi, M. R. & Payedar Ardakani, A. (2017). Evaluation of modeling methods and supervised classification for mapping soil salinity using ASTER and ETM images. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(5), 123-140.

4. Arzani, H., Noori, S., Kaboli, S., Moradi, H. & Ghelichnia, H. (2008). Determination of suitable indices for vegetation cover assessment in summer rangelands in south of Mazandaran. *Journal Natural Resource*, 61(4), 997-1016. (In Persian)
5. Bahar, M., Ghobadi, S., Erfani Moghadam, V., Yamchi, A. & Talebi Badaf, M. (2005). Evaluation of Iranian alfalfa with ESTS. *Journal Agriculture Research*, 2(1), 141-151. (In Persian)
6. Baugh, W. M. & Groeneveld, D. P. (2006). Broadband vegetation index performance evaluated for a low cover environment. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 4715-4730.
7. Bocco, M., Ovando, G. Sayago, S. & Willington, E. (2013). Simple models to estimate soybean and corn percent ground cover with vegetation indices from Modis. *Asociacion Espaniola de Teledeteccion*, 39(13), 1-9.
8. Burrough, P. A. (1991). Sampling designs for quantifying map unit composition. Spatial Variabilities of Soil and Landforms. Special Publication, 36 Pp.
9. Cohen, W. B., Maersperger, T. K., Gower S. T., & Turner, D. P. (2003). An improved strategy for regression of biophysical variables and Land sat ETM+ Data. *Remote Sensing of Environment*, 84, 561-571.
10. Dadrasi, A. & Torabi, B. (2016). Predict the growth and yield of corn in Hamedan. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 47(4), 595-610. (In Persian)
11. Ehsani, A., Arzani, H., Farahpour, M., Ahmadi, H., Jafari, M., Jalili, A., Abasi, H. R., Azimi M. S. & Mirdavoudi, H. R. (2007). The effect of climatic conditions on range forage production in steppe Rangelands, Akhtar Abad of Saveh. *Journal of Range and Desert Research*, 14(2), 249-260, (In Persian)
12. Eldeiry, A. A. & Garcia, L. A. (2012). Management of soil salinity and crop yield using conditional probability maps. *Annual American Geophysical Union Hydrology days*. 25-27March, Colorado State University, pp: 52-67.
13. Eldeiry, A. & Garcia, L. A. (2010). Comparison of regression kriging and cokriging techniques to estimate soil salinity using LANDSAT images. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136, 355-364.
14. Guisan, A. Theurillat, J. P. & Kienast, F. (1998). Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *Journal of Vegetation Science*, 9, 65-74.
15. Liaqat, M., Jehanze, M., Cheema, M., Huang, W., Mahmood, T., Zaman, M. & Khan, M. (2017). Evaluation of MODIS and Landsat multiband vegetation indices used for wheat yield estimation in irrigated Indus Basin. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138(17), 39-47. (In Persian)
16. Mahmoudi, A., Mohammadi, E., Kamkar, B. & Abdi, O. (2014). Comparison of geostatistical- and remote sensing data-based methods in wheat yield predication in some of growing stages (A case study: Nemooneh filed, Golestan province). *Crop production publication*, 8(2), 51-76.
17. Mirakhorlo, K. & Hosseini, S. Z. (2006). Estimating rangelands yield using remote sensing data (Case study: Damavand region of Iran), *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 13(2), 127-138. (In Persian).
18. Nunes, G. K. M. & Santos, S. B. (2012). Environmental factors affecting the distribution of land snails in the Atlantic Rain Forest of Ilha Grande, *Brazillian Journal of Biology*, 72(1), 79-86.
19. Safaei, M., Torkesh, M., Basiri, M. & Bashirri, H. (2013). Produce of map *Astragalus verus* by regression Logistic. *Journal of Dry Ecology*, 3(1), 43-54. (In Persian)
20. Saki, M., Torkesh, M., Basiri, M. & Vahhabi, M. R. (2012). Application of tree regression Logistic for Species of *Astragalus verus*. *Journal of Application Ecology*, 1(2), 27-37. (In Persian)
21. Sanaeinejad, H., Nassiri Mahallati, M., Zare, H., Salehnia, N. & Ghaemi, M. (2014). Wheat yield estimation using Landsat images and field observation: A case study in Mashhad. *Journal of Plant Production*. 20(4), 45-63. (In Persian)
22. Savari, Z., Hojati, S. & Taghizadeh-Mehrjerdi, R. (2016). Assessing the ability of kriging methods for mapping surface soil salinity in Ahvaz County. *Journal of Water and Soil Science*, 77 (20), 127-143.
23. Song, W. H., Jia, f., Liu, S., Liang, S., Wang, Z., Hao, L. & Cha, S. (2014). A remote sensing based forage biomass yield inversion model of Alpine-cold meadow during Grass-withering Period in Sanjiangyuan Area. *Earth and Environmental Science*, 17, 1-6.
24. Wagner, B., Tarnawaski, W. R., Henning, V., Muller, V., Wessolek, V. & Plagge, R. (2001). Evaluation of pedotransfer functions unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. *Geoderma*, 102(1), 275-297.

25. Yarnia, M., Heydari Sharif Abad, H. & Rahim Zadeh Khui, F. (2005). Effect of carbonate calcium on tolerance to salinity in alfalfa figures. *Journal in Agriculture Knowledge*, 2, 9-21. (In Persian).