

مدل سازی پتانسیل تولید اراضی برای گندم زمستانه آبی در منطقه عقیلی استان خوزستان

سیدعلیرضا سیدجلالی¹، فریدون سرمدیان و مهدی شرفا

دانشجوی دکتری دانشگاه تهران و عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب؛ seyedjalali2000@yahoo.com

استاد دانشگاه تهران؛ fsarmad@ut.ac.ir

دانشیار دانشگاه تهران؛ m_shorafa@ut.ac.ir

دریافت: 1392/9/20 و پذیرش: 1392/4/17

چکیده

منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب ایران، دشت عقیلی شهرستان گتوند از استان خوزستان قرار دارد. با توجه به آمار ایستگاه سینوپتیک شوشتر این منطقه جزء اقلیم نیمه بیابانی خفیف می‌باشد. حداکثر دمای روزانه در تیر ماه 46/6 درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای روزانه 8/1 درجه سانتی‌گراد در دی ماه می‌باشد. مقدار متوسط بارندگی سالیانه در منطقه مورد مطالعه 324 میلی‌متر است. هدف از این تحقیق ارائه مدلی است که پتانسیل تولید گندم آبی را با در نظر گرفتن شرایط محیطی منطقه تخمین بزند. بدین منظور در مرحله اول پتانسیل تولید گندم آبی به روش مدل رشد فائو در شرایط مطلوب محاسبه گردید. و در مرحله دوم پتانسیل تولید اراضی برای محصول گندم آبی با توجه به محدودیت‌های خاک با استفاده از روش پارامتری (فرمول استوری و ریشه دوم) و تأثیر مدیریت برای 110 نقطه محاسبه گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که در مرحله اول پتانسیل تولید آبی به روش مدل رشد فائو 8041 کیلوگرم در هکتار است و پتانسیل تولید اراضی برای گندم آبی با توجه به پتانسیل تولید به روش مدل رشد فائو و تأثیر عوامل محدود کننده در خاک به روش پارامتری برای گندم آبی در سطوح مختلف مدیریتی از 2454 تا 6687 کیلوگرم در هکتار برای روش ریشه دوم و 2296 تا 6756 کیلوگرم در هکتار برای روش استوری است. کاهش عملکرد به علت عوامل محدود کننده از قبیل محدودیت‌های آهک، زهکشی، شوری و قلیائیت و عدم مدیریت صحیح است. برای ارزیابی مدل، عملکرد گندم آبی کشاورز با عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل فائو با استفاده از سه روش رگرسیون چندگانه استاندارد، رگرسیون گام به گام و رگرسیون منحنی تخمین مقایسه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده ضریب تشخیص (r^2) برای عملکرد پیش‌بینی شده به روش استوری، ریشه دوم و خصوصیات اراضی به ترتیب برابر 0/83، 0/80 و 0/33 می‌باشد. که نشان می‌دهد مدل می‌تواند عملکرد کشاورز را به ترتیب ذکر شده تا 83 درصد برای روش پارامتری با استفاده از فرمول استوری، 80 درصد برای فرمول ریشه دوم و 33 درصد برای خصوصیات اراضی پیش‌بینی کند. در ضمن مقدار RMSE که مقدار خطا را نشان می‌دهد نیز به ترتیب برای روش‌های ذکر شده 598، 648 و 1258 کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به نتایج فوق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل ارائه شده به روش استوری با توجه به ضریب تشخیص بالاتر و خطای پایین تر نسبت به سایر روش‌ها عملکرد کشاورز را بهتر پیش‌بینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل تولید، رگرسیون، گندم، ارزیابی اراضی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب

مقدمه

باخت برای 1670 هکتار برای کشت سیب زمینی محدود کننده بود. دومین عامل محدود کننده کربنات کلسیم بود. نتایج نشان داد که کلاس تناسب اراضی محصولات به ترتیب سیب زمینی، گندم، ذرت، چغندر قند و سیب زمینی کاهش می یابد.

با توجه به موارد ذکر شده و اقلیم خشک و نیمه خشک ایران و کمبود عملکرد در واحد سطح و جمعیت رو به افزایش کشور نیاز به تحقیقات جدید و دستیابی به راهکارهایی برای افزایش عملکرد محصول می باشد سطح زیر کشت گندم در کشور ایران در سال زراعی 88-89 حدود هفت میلیون هکتار بود که از این مقدار حدود 4/5 میلیون هکتار به کشت آبی و 2/5 میلیون هکتار به کشت دیم اختصاص داشت، استان خوزستان از نظر سطح زیر کشت با مساحت 694092 هکتار در رتبه اول، فارس با سطح 419488 هکتار در رتبه دوم و خراسان با مساحت 531358 هکتار در رتبه سوم قرار داشت. بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی مربوط به سالهای زراعی 61 لغایت 89 استان خوزستان دارای میانگین عملکرد گندم آبی 2502 کیلوگرم در هکتار بوده که بیشترین عملکرد آن در سال زراعی 83-84 و برابر 3556 کیلوگرم در هکتار بود و برای گندم دیم 585 کیلوگرم در هکتار بوده که حداکثر عملکرد آن در سال زراعی 80-81 برابر 1306 کیلوگرم در هکتار بود (وزارت جهاد کشاورزی، 1390).

هدف از این تحقیق ارائه مدلی است که پتانسیل تولید گندم آبی را با در نظر گرفتن شرایط محیطی منطقه با استفاده از روش مدل رشد فائو و به کمک ارزیابی اراضی به روش پارامتریک تخمین بزند.

مواد و روش ها

مواد

منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب ایران، دشت عقیلی، گتوند، استان خوزستان به مساحت تقریبی 3500 هکتار بین عرض شمالی 07' 32° تا 10' 32° و طول شرقی 52' 48° تا 56' 48° قرار دارد. (شکل 1). با توجه به ایستگاه هواشناسی شوشتر که نزدیک ترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه می باشد، این منطقه جزء اقلیم نیمه بیابانی خفیف می باشد. حداکثر دمای روزانه در تیر ماه 46/6 درجه سانتی گراد و حداقل دمای روزانه 8/1 درجه سانتی گراد در دی ماه می باشد. مقدار متوسط بارندگی سالیانه در منطقه مورد مطالعه 324 میلی متر است. خاک های منطقه مورد مطالعه به روش تاکسونومی (2010) طبقه بندی گردید که در دو رده انسپتی سول ها و ورتیسول ها و چهار زیر گروه Typic Calcustepts،

گندم یکی از غلات کلیدی است که در سراسر جهان کشت می شود، کالری اولیه و منبع تغذیه برای میلیون ها نفر از مردم را جهان فراهم می کند. (بکور و همکاران، 2010). مطالعات اخیر نشان می دهد که تقاضای جهانی برای مواد غذایی به مدت حداقل تا 40 سال دیگر رو به افزایش است. جمعیت جهان در اواسط این قرن به 9 میلیارد نفر خواهد رسید (چارلز و همکاران، 2010).

برای تعیین میزان مواد غذایی، لازم است که بر تولید محصولات کشاورزی در مناطق مختلف جهان نظارت شود. افزایش تقاضا برای مواد غذایی در سراسر جهان و منابع محدود در دسترس برای تولید، لزوم استفاده از ابزارهای جدید برای برآورد تولید محصول است (پادیا و همکاران، 2012). درک شناخت عواملی که پیش بینی عملکرد منطقه ای محصول را محدود کرده و روش های مدیریت را بهبود بخشد، امری ضروری است (بودونگ، 2009). برای پیش بینی عملکرد محصول قبل از برداشت، طیف وسیعی از تکنیک ها مانند برآوردهای چشمی، روش آنالوگ، مدل های شبیه سازی محصول و روش های رگرسیون وجود دارد (چییانچی و همکاران، 1999، دورایومی و همکاران، 2003؛ ماسلی و همکاران، 2001؛ پیتر و همکاران، 1981؛ وال و همکاران، 2007). در چین، رن و همکاران. (2008) از یک مدل رگرسیون خطی برای پیش بینی عملکرد گندم زمستانه در استان شاندونگ استفاده کردند. مدل های محصول غالباً در اکولوژی، زراعت و علوم محیطی برای شبیه سازی محصول استفاده می شود. در سال های گذشته، مدل های شبیه سازی رشد محصول به طور گسترده ای به عنوان یک ابزار مهم برای بررسی عملکرد محصول در شرایط مختلف اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته است (تسکانو و همکاران، 2012). کشاورزی و همکاران (2010) از تئوری فازی برای ارزیابی تناسب اراضی در منطقه زیاران، استان قزوین استفاده نمودند. آن ها 9 خصوصیت اراضی را برای گندم آبی در نظر گرفتند. برای اثر وزن خصوصیات مختلف بر عملکرد محصول از فرآیند آنالیز سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. و نتیجه گرفته شد که کاربرد تکنیک فازی برای ارزیابی تناسب اراضی و طبقه بندی تغییرات پیوسته از اهمیت زیادی برخوردار است. شهبازی و همکاران (2009) طی تحقیقی ارزیابی اراضی به وسعت 9000 هکتار را در خاک های اهر در آذربایجان شرقی را با استفاده از سیستم تصمیم گیری میکرولیز (سیستم اطلاعات ارزیابی اراضی میکرو کامپیوتر) برای گندم، ذرت، چغندر-قند و سیب زمینی انجام دادند. آن ها نتیجه گرفتند که عامل

(1)

$$Bn = \frac{0.36 \times bgm \times KLAI}{\left(\frac{1}{L}\right) + 0.25 \times ct}$$

Bn: تولید کل خالص وزن زنده گیاه (kg/ha)
 bgm: حداکثر کل ناخالص وزن زنده گیاه (kg/ha).
 میزان حداکثر کل ناخالص وزن زنده گیاه را می‌توان با استفاده از رابطه (2) محاسبه نمود.

(2)

$$bgm = f \times bo + (1 - f) \times bc$$

bo: تولید حداکثر بیوماس ناخالص در روزهای ابری،
 bc: تولید حداکثر بیوماس ناخالص در روزهای صاف،
 f: نسبت روزهایی که آسمان ابری است، (1-f): نسبت روزهایی که آسمان صاف است.

نسبت میزان رشد حداکثر به عنوان فاکتور تصحیح (KLAI) برای حداکثر کل ناخالص وزن زنده گیاه و برای جبران کردن شاخص سطح برگ در زمانی که میزان تولید بیوماس ناخالص کمتر از پنج متر مربع در متر مربع است بکار می‌رود.

KLAI: فاکتور تصحیح شاخص سطح برگ برای میزان حداکثر تولید بیوماس زمانی که شاخص سطح برگ دارای سطحی کمتر از 5 متر مربع در متر مربع باشد
 $LAI < 5m^2 \cdot m^{-2}$
 L: تعداد روزهای بین کاشت و برداشت
 ct: ضریب تنفس،

ضریب تنفس بستگی به متوسط دما روزانه (از آنجایی که تنفس در هنگام روز و شب انجام می‌گیرد) و نوع عوامل مربوط به عملکرد دارد. اگر تولید عملکرد شامل تولید و حفظ قند یا نشاسته (غیر لگوم²) باشد تنفس کمتر از شکل پیچیده تولید که شامل تولید و حفظ پروتئین‌ها (لگوم) خواهد بود. ضریب تنفس از رابطه (3) بدست می‌آید:

(3)

$$ct = c30 * (0.044 + 0.0019 * t + 0.001 * t^2)$$

ct: ضریب تنفس، t: متوسط دما روزانه (°C)، c30: برای غیر لگوم‌ها برابر 0/0108 و برای لگوم‌ها برابر 0/0283 است.

پتانسیل تولید آبی یا پتانسیل تولید حرارتی -

تابشی

برای محاسبه پتانسیل تولید آبی یا پتانسیل تولید حرارتی - تابشی محصول از رابطه (4) استفاده می‌شود:

Typic Haplustepts, Typic Calcisterts, Typic Haplustepts و پانزده فامیل قرار گرفتند. میزان عملکرد محصول گندم آبی در واحد سطح، در محل‌های حفر پروفیل اندازه‌گیری شد. و اطلاعات مربوط به مدیریت و تولید محصول در فرم‌های توصیف کاربری اراضی ثبت گردید. در این منطقه 110 نقطه بررسی گردید که از میان آن‌ها 77 مورد مربوط به گندم آبی، 22 محل مربوط به گندم دیم، دو نقطه برای جو دیم و هشت نقطه باقیمانده اراضی بایر و غیر قابل کشت بودند. عملکرد محصول در واحد سطح در هکتار اندازه‌گیری شد. در ضمن برای تعیین سطح مدیریت پرسشنامه‌ای تحت عنوان فرم توصیف کاربری اراضی نیز تهیه و تکمیل گردید. که بر اساس آن مدیریت در سه سطح تعریف شد.

1- سطح مدیریت بالا: تمام فعالیت‌های میدانی از قبیل کاشت، برداشت توسط کشاورزان به صورت مکانیزه انجام می‌شود. و کشاورز از سطح دانش بالا برخوردار است و به تمام فنون نوین کشاورزی از قبیل کاربرد کود و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز و سایر مسائل مدیریتی آگاه است.

2- سطح مدیریت متوسط: فعالیت‌های میدانی از قبیل کاشت، برداشت توسط کشاورزان به صورت نیمه مکانیزه انجام می‌شود. و کشاورز از سطح دانش متوسطی برخوردار است و تا حدودی به فنون نوین کشاورزی از قبیل کاربرد کود و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز و سایر مسائل مدیریتی آگاه است.

3- سطح مدیریت پایین: فعالیت‌های میدانی از قبیل کاشت، برداشت توسط کشاورزان تا حدودی به صورت نیمه مکانیزه انجام می‌شود. و کشاورز از سطح دانش پایینی برخوردار است و به فنون نوین کشاورزی از قبیل کاربرد کود و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز آشنایی ضعیفی دارد.

روش‌ها

مدل رشد محصول فائو¹

مدل رشد فائو مقدار تولید وزن زنده خالص گیاه و عملکرد محصول را برای بهترین وارسته در شرایط مطلوب از نظر تابش خورشید، دما، آب و مواد غذایی و در شرایط کنترل آفات و بیماری‌ها، تخمین می‌زند (فائو، 1979).
 برای محاسبه وزن خالص زنده گیاه از رابطه (1) استفاده شد (سایس و همکاران، 1991):

² Non-legume

¹ IrrFAO crop growth model

(4)

$$RPP = Bn \times Hi$$

RPP: پتانسیل تولید آبی (پتانسیل تولید حرارتی-تابشی (Radiation-Thermal Production Potential) (کیلوگرم در هکتار)

Bn: تولید کل وزن زنده خالص گیاه (کیلوگرم در هکتار)
Hi: شاخص برداشت،

شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد کل بیوماس گندم آبی اندازه گیری شد.

ارزیابی خصوصیات اراضی

برای ارزیابی اراضی، خصوصیات اراضی با نیازهای گندم تطبیق داده شد و شاخص اراضی به روش پارامتری از نوع استوری و ریشه دوم تعیین گردید (سایس و همکاران، 1991، 1993). در این تحقیق با توجه به نیمه خشک بودن اقلیم منطقه از هشت خصوصیات اقلیم، توپوگرافی، سیل گیری، زهکشی، ترکیب بافت-سنگریزه و عمق، گچ، آهک و شوری و/یا قلیائیت استفاده گردید.

پتانسیل تولید اراضی

برای تخمین پتانسیل تولید اراضی با استفاده از پتانسیل تولید آبی در مرحله اول و تأثیر محدودیت های خاک که به صورت شاخص خاک محاسبه شده و اثر مدیریت از رابطه (5) استفاده شده است. در این رابطه اثر کاهش عملکرد به علت محدودیت های آب و هوایی تابش خورشید، دما و خصوصیات خاک دیده شده و پتانسیل تولید اراضی برای گندم آبی تخمین گردید.

با توجه به اثر مدیریت بر تولید محصول، پتانسیل تولید اراضی با اعمال مدیریت نیز محاسبه گردید. تا با شرایط واقعی عملکرد کشاورز تطابق بیشتری داشته باشد. بدین منظور برای سطوح مختلف مدیریت به ترتیب برای مدیریت بالا، متوسط و ضعیف ضرایب 1، 0/7 و 0/5 منظور گردید. این ضرایب بر اساس پرسشنامه های توصیف کاربری اراضی و عملکرد کشاورز برای سطوح مختلف تعیین گردید.

(5)

$$LPPm = RPP \times \frac{SI}{100} \times MI$$

LPPm: عملکرد پتانسیل تولید اراضی با احتساب ضریب مدیریت

SI: شاخص خاک (این شاخص بر اساس روش پارامتری (با فرمول استوری و ریشه دوم تعیین گردید).

MI: شاخص مدیریت که همان ضرایب مدیریت هستند.

شاخص خاک به روش ریشه دوم (قدیر، 1986)

(6)

$$SI = R \min \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots}$$

شاخص خاک به روش استوری (استوری، 1978)
(7)

$$SI = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots$$

I: شاخص

R min: درجه حداقل

(A, B, C, ...: درجه بندی)

عملکرد پتانسیل تولید اراضی یکبار با فرمول استوری محاسبه گردید که در جداول با علامت CLPPstm نشان داده شد و بار دیگر با فرمول ریشه دوم انجام و با علامت CLPPsqm ارائه گردید.

روش های آماری

برای مقایسه عملکرد پیش بینی شده توسط مدل فائو با عملکرد کشاورز، روش های آماری زیر مورد بررسی قرار گرفت.

1- همبستگی ساده: در این روش ماتریس همبستگی برای عملکرد کشاورز، خصوصیات اراضی از قبیل سیلت، رس، ماسه، گچ، آهک، شوری، درصد سدیم قابل تبادل (قلیائیت)، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و پ هاش، شاخص های اراضی و عملکردهای محاسبه شده به روش استوری و ریشه دوم تهیه گردید.

2- رگرسیون خطی چندگانه استاندارد

رگرسیون خطی چندگانه و ضریب تشخیص (R^2) برای عملکرد پیش بینی شده و عملکرد کشاورز و خصوصیات اراضی به منظور تعیین مدل پیش بینی عملکرد گندم آبی طبق رابطه (8) تعیین می شود:

(8)

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$$

در این رابطه متغیرهای X_1, X_2, X_3, \dots خصوصیات اراضی مورد استفاده در این تحقیق می باشند (جدول 1).

3- رگرسیون خطی چندگانه گام به گام: این روش توسط دراپر و اسمیت (1966) برای تعیین سهم هر متغیر در تغییرات عملکرد ارائه شد. روش گام به گام طی یک مراحل گام به گام رگرسیون چند متغیره را محاسبه می کند. در هر مرحله یک متغیر به معادله رگرسیون اضافه می شود. متغیر اضافه شده متغیری است که بیشترین کاهش خطای ریشه میانگین مربعات¹ و همچنین دارای

¹ Root Mean Square Error (RMSE)

بیشترین همبستگی با متغیر وابسته بیشترین مقدار F را داشته باشد.

رگرسیون تخمین منحنی

با استفاده از منحنی‌های تخمین می‌توان مدل‌های مختلف رگرسیون تخمین تولید کرد. در صورتی که رابطه رگرسیونی بین دو متغیر به صورت خطی نباشد، باید مدل‌های دیگر مثل مدل رگرسیون تخمین درجه دوم، سوم و سایر مدل‌ها را بررسی نمود بدین منظور برای بررسی منحنی‌های تخمین از نرم افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و بحث

پتانسیل تولید آبی به روش مدل رشد فائو 8041 کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. ارزیابی خصوصیات اراضی برای محصول گندم آبی به روش پارامتری (ریشه دوم و استوری) انجام گردید و شاخص‌های اراضی نیز اصلاح گردید با توجه به نتایج حاصل شاخص‌های اصلاح شده بدست آمده به روش استوری از 26 تا 83 و به روش ریشه دوم از 26 تا 84 بدست آمد. پتانسیل تولید اراضی برای گندم آبی با توجه به پتانسیل تولید حرارتی تابشی یا پتانسیل آبی و تأثیر عوامل محدود کننده در خاک که به صورت شاخص خاک محاسبه شده برای سطوح مختلف مدیریتی از 2454 تا 6687 کیلوگرم در هکتار برای روش ریشه دوم و 2296 تا 6756 کیلوگرم در هکتار برای روش استوری تخمین زده شد. و کاهش عملکرد به علت عوامل محدود کننده از قبیل محدودیت‌های آهک، زهکشی، شوری و قلیائیت و عدم مدیریت صحیح است.

روش‌های آماری

آمار توصیفی

جدول شماره (1) خلاصه آمار متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. گچ، شوری، درصد سدیم قابل تبادل به ترتیب با درصد ضریب تغییرات 268، 223 و 107 بیشترین تغییرات و پ هاش، سیلت، آهک به ترتیب با 3/8، 8/4 و 15/6 درصد کمترین تغییرپذیری را در منطقه داشتند. حداقل عملکرد دانه گندم توسط کشاورز 500 کیلوگرم در هکتار برای گندم دیم و حداکثر آن 5700 کیلوگرم در هکتار برای گندم آبی است.

آنالیز همبستگی ساده

ضرایب همبستگی ساده بین خصوصیات مختلف اراضی، عملکرد مشاهده شده گندم توسط کشاورز، و عملکردهای محاسبه شده به وسیله مدل، سیلت، رس، ماسه، گچ، آهک، شوری، درصد سدیم قابل تبادل (قلیائیت)، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و پ هاش مورد بررسی قرار گرفت نتایج همبستگی ساده در جدول (2) نشان می‌دهد که عملکرد دانه گندم مشاهده

شده در سطح 0/001، با عملکرد پیش‌بینی شده گندم آبی به روش ریشه دوم و روش استوری، پ هاش، شوری، آهک، گچ و سیلت همبستگی خیلی معنی‌دار دارد. و در سطح 0/05 با درصد سدیم قابل تبادل (قلیائیت) و رس همبستگی معنی‌دار و با شاخص اراضی به روش ریشه دوم و استوری، ماسه، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیون‌ها دارای همبستگی ضعیف و در سطح 0/05 غیر معنی‌دار است هر چند که این خصوصیات در سطح بالاتر از 0/05 درصد معنی‌دار شدند. ولی با توجه به اینکه از نظر آماری سطوح معنی‌دار شدن در سطح 0/001 و 0/05 درصد ارائه می‌گردد از ذکر درصدهای بالاتر از این مقادیر خودداری شده است.

آنالیز رگرسیون خطی چندگانه

با توجه به خصوصیات اراضی معنی‌دار (عملکرد پیش‌بینی شده محصول به روش ریشه دوم و استوری، گچ، آهک، شوری، رس، و سیلت) که در اینجا متغیرهای مستقل هستند و عملکرد گندم آبی کشاورز که به عنوان متغیر وابسته می‌باشد. آنالیز رگرسیون چندگانه خطی به روش‌های استاندارد، گام به گام و منحنی تخمین با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

آنالیز رگرسیون به روش استاندارد

در روش رگرسیون استاندارد عملکرد پیش‌بینی شده به روش استوری و روش ریشه دوم و خصوصیات اراضی با عملکرد کشاورز مقایسه شد. در مرحله اول متغیر عملکرد پیش‌بینی شده محصول به روش ریشه دوم به عنوان متغیر مستقل و در مرحله دوم متغیر عملکرد پیش‌بینی شده به روش استوری و در مرحله سوم خصوصیات اراضی وارد مدل شدند. و در هر سه مرحله متغیر عملکرد کشاورز به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج حاصل در جدول (3) و شکل (2 و 3) ضریب تشخیص (r^2) برای عملکرد پیش‌بینی شده به روش استوری و ریشه دوم و خصوصیات اراضی به ترتیب برابر 0/83، 0/80 و 0/33 می‌باشد که نشان می‌دهد مدل عملکرد کشاورز را به ترتیب ذکر شده تا 83 درصد برای روش استوری، 80 درصد برای روش ریشه دوم و 33 درصد برای خصوصیات اراضی پیش‌بینی می‌کند. در ضمن مقدار RMSE که مقدار خطا را نشان می‌دهد نیز به ترتیب برای روش‌های ذکر شده 648، 598 و 1258 کیلوگرم در هکتار است بنابراین مدل ارائه شده به روش استوری نسبت به ریشه دوم و خصوصیات اراضی عملکرد کشاورز را بهتر پیش‌بینی می‌کند. با توجه به نتایج ذکر شده نیز می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های پیش‌بینی شده عملکرد محصول به روش پارامتری از نوع ریشه دوم

و استوری نسبت به خصوصیات اراضی می‌توانند عملکرد کشاورز را بهتر پیش‌بینی کنند. و استفاده از این مدل‌ها برای پیش‌بینی محصول توصیه می‌گردد.

آنالیز رگرسیون گام به گام

روش رگرسیون گام به گام برای رگرسیون چند متغیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر مرحله یک متغیر به معادله رگرسیون اضافه می‌شود. متغیر اضافه شده متغیری است که بیشترین کاهش خطای ریشه میانگین مربعات، و بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته داشته و در ضمن بیشترین مقدار F را داشته باشد. در این روش تمام خصوصیات موجود شامل پ هاش، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، شوری، قلیائیت، آهک، گچ، رس، سیلت و ماسه به عنوان متغیر مستقل و عملکرد کشاورز به عنوان متغیر وابسته وارد مدل شدند. نتایج حاصل نشان داد که صفات گچ، پ هاش و سیلت شرایط ورود به مدل را داشت و در سطح 5 درصد معنی‌دار بود و سایر صفات با توجه به اینکه در سطح 5 درصد معنی‌دار نشدند از مدل خارج شدند. در مدل اول ابتدا پ هاش وارد مدل شد که مقدار R^2 و RMSE آن به ترتیب 0/15 و 1343 کیلوگرم در هکتار، مدل دوم علاوه بر پ هاش صفت گچ نیز وارد مدل شد که مقدار R^2 و RMSE آن به ترتیب 0/238 و 1280 کیلوگرم در هکتار و در مدل سوم علاوه بر پ هاش و گچ، سیلت نیز وارد مدل شد که مقدار R^2 و RMSE آن به ترتیب 0/285 و 1247 کیلوگرم شد. با توجه به اینکه مقدار R^2 رابطه ضعیفی را با عملکرد کشاورز را نشان داد. بنابراین استفاده از خصوصیات اراضی بدون استفاده از مدل‌های پیش‌بینی محصول توصیه نمی‌گردد.

رگرسیون به روش تخمین منحنی

با توجه به نتایج ذکر شده در مدل رگرسیون خطی استاندارد عملکرد پیش‌بینی شده به روش استوری بیشترین همبستگی را با عملکرد کشاورز داشت. بدین منظور از سه مدل خطی، درجه دوم و درجه سوم استفاده گردید. در این روش عملکرد پیش‌بینی شده به عنوان متغیر مستقل و عملکرد کشاورز به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. با توجه به جدول (5) ضریب تشخیص برای مدل‌های خطی، درجه دوم و درجه سوم به برای روش استوری به ترتیب 0/83، 0/87 و 0/89 است. که این نشان می‌دهد که منحنی درجه سوم نسبت به درجه یک و درجه دو ضریب تشخیص (R^2) را افزایش داد و رابطه بهتری بین عملکرد کشاورز و عملکرد پیش‌بینی شده وجود دارد به طوری که در مدل خطی تنها 83 درصد تغییرات عملکرد توسط مدل پیش‌بینی می‌شود ولی

در مدل درجه دوم و سوم به ترتیب 87 و 89 درصد تغییرات عملکرد توسط این دو مدل پیش‌بینی می‌شود. در ضمن معنی‌دار بودن F در هر سه مدل کمتر 0/001 بدین معنی است که تغییرات در مدل طور اتفاقی نیست. همان طور که ملاحظه می‌شود سهم افزایش پیش‌بینی عملکرد توسط معادله درجه یک 83 درصد، سهم درجه دوم 4 درصد و سهم درجه سوم 2 درصد است. بنابراین منحنی درجه یک بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است.

با توجه به جدول (6) ضریب تشخیص برای مدل‌های خطی، درجه دوم و درجه سوم به برای روش ریشه دوم به ترتیب 0/80، 0/84 و 0/87 است. که نشان می‌دهد که منحنی درجه سوم نسبت به درجه یک و درجه دو ضریب تشخیص را افزایش داد و رابطه بهتری بین عملکرد کشاورز و عملکرد پیش‌بینی شده وجود دارد بطوریکه در مدل خطی تنها 80 درصد تغییرات عملکرد توسط مدل پیش‌بینی می‌شود ولی در مدل درجه دوم و سوم به ترتیب 84 و 87 درصد تغییرات عملکرد توسط این دو مدل پیش‌بینی می‌شود. با توجه به نتایج منحنی تخمین می‌توان نتیجه گرفت که روش استوری در مجموع از روش ریشه دوم بهتر عملکرد را پیش‌بینی می‌کند. و در ضمن منحنی درجه سوم نسبت به درجه دوم و درجه اول از همه بهتر عملکرد را پیش‌بینی می‌کند.

تارو و همکاران (2011) گزارش کرد که عملکرد گندم زمستانه با هشت مدل شبیه سازی رشد محصول که به طور گسترده استفاده می‌شود برای گندم زمستانه در طول 49 فصل رشد در هشت محل در آسیای مرکزی و جنوب شرقی اروپا آزمون گردید (APEC، CROPSYST، DAISY، DSSAT، FASSET، HERMES، STICS و WOFOST). نتایج نشان داد که هیچ یک از مدل‌ها نتوانست تخمین دقیقی در پیش‌بینی عملکرد در مناطق مختلف داشته باشد. بهترین عملکرد در مورد برآورد DAISY و DSSAT بود که مقادیر RMSE آن برابر 1603 کیلوگرم در هکتار شد که مقدار آن از تحقیق حاضر خیلی بیشتر است.

ماناسا و همکاران (2012) گزارش کردند که رابطه بین عملکرد دانه گندم مشاهده شده و مدل برای تمام محل‌ها همبستگی خوبی را ارائه نمود ضریب تشخیص برابر 0/66 ($p < 0.001$) و شیب 0/96 که نشان می‌دهد که این مدل 66٪ رابطه بین عملکرد دانه گندم مشاهده شده و مدل را توضیح می‌دهد. سیدجلالی و همکاران (1386a) گزارش کرد با توجه به تجزیه و تحلیل انجام شده بر 92 نمونه خاک از 92 مزرعه در استان‌های خوزستان، فارس، اصفهان و فارس و با توجه به پراکنش

داده است. در ضمن در تحقیقات گذشته موارد ذکر شده در بالا، شاخص‌های محاسبه شده استوری و ریشه دوم بدون اصلاح آنها مورد استفاده قرار می‌گرفت و نتایج ریشه دوم در اکثر اوقات با توجه به شاخص بالاتر نسبت به روش استوری بهتر جواب می‌داد ولی در تحقیق حاضری شاخص‌ها از طریق منحنی‌های ارائه شده توسط سایش و همکاران (1991) اصلاح گردید و نتایج استوری و ریشه دوم به هم نزدیک گردیده و حتی در این تحقیق شاخص استوری نتایج بهتری ارائه نمود.

نتیجه‌گیری

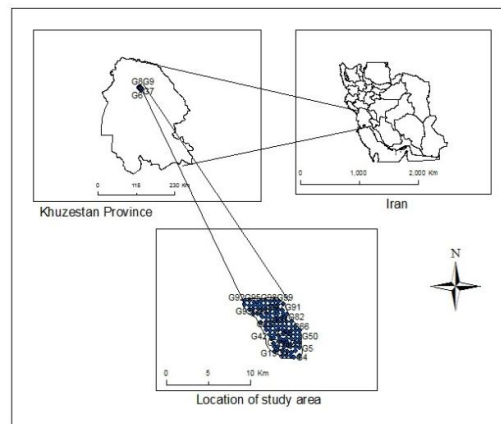
استفاده از مدل رشد فائو به همراه شاخص خاک و مدیریت می‌تواند ابزار مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد محصول باشد. از روش‌های پارامتری (استوری و ریشه دوم) و خصوصیات اراضی برای پیش‌بینی محصول استفاده گردید. برای مقایسه عملکرد محصول کشاورز با عملکرد پیش‌بینی شده از روش رگرسیون ساده، رگرسیون چندگانه استاندارد و رگرسیون گام به گام استفاده گردید. و برای ارزیابی مدل از معیارهای ضریب تشخیص (R^2) و ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش‌های استوری و ریشه دوم نسبت به استفاده از خصوصیات اراضی با توجه به ضریب تشخیص بالاتر و خطای کمتر در اولویت استفاده قرار دارد. از طرفی استفاده از شاخص‌های اراضی اصلاح شده برای تعیین کلاس‌های تناسب اراضی و تخمین عملکرد محصول نتایج واقعی‌تری را نشان می‌دهد. کاهش عملکرد پیش‌بینی شده در منطقه به علت عوامل محدود کننده از قبیل محدودیت‌های آهک، زهکشی، شوری و قلیائیت و عدم مدیریت صحیح است. با توجه به نتایج رگرسیون منحنی تخمین مدل درجه سوم، برای عملکرد پیش‌بینی شده به روش استوری برای گندم آبی با عملکرد گندم آبی کشاورز با ضریب تشخیص (R^2) برابر 0/89 نسبت به سایر روش‌ها دقت بالاتری را نشان داد. این روش می‌تواند با تخمین 89 درصد عملکرد کشاورز را با خطای 798 کیلوگرم در هکتار پیش‌بینی کند. بهر حال هر چند که در این تحقیق روش منحنی تخمین نسبت به سایر روش‌ها دارای ضریب تشخیص بالاتر بود اما خطای آن در پیش‌بینی محصول نسبت به روش استوری با پیش‌بینی 83 درصد و خطای پیش‌بینی 598 کیلوگرم در هکتار بیشتر بود. با توجه به میزان خطای کمتر مدل خطی در روش استوری برای پیش‌بینی محصول برای منطقه مورد مطالعه نسبت به سایر روش‌ها بهتر جواب داد. در روش خصوصیات اراضی مقدار R^2 رابطه ضعیفی را با عملکرد کشاورز نشان داد. و خطای پیش‌بینی

نمونه‌های فوق منحنی رگرسیون خطی بین آهک و عملکرد گندم نشان داده شد که بین درصد آهک و عملکرد گندم، رابطه ضعیفی با ضریب همبستگی 0/041 وجود داشت. و پس از آن پتانسیل تولید گندم برای خاک 92 مزرعه محاسبه گردید و نشان داد که عملکرد محاسبه شده با عملکرد کشاورز همبستگی خوبی با ضریب 0/79 را دارد که تأیید بر صحت مدل ارائه شده است. سید جلالی و همکاران (1386b) برای بررسی اثر گچ بر عملکرد گندم، 61 مزرعه در استان‌های فارس، اصفهان و کرمان انتخاب گردید و میزان عملکرد گندم توسط کشاورز با میزان درصد گچ با هم مقایسه شد. که نشان داد بین درصد گچ و عملکرد گندم رابطه ضعیفی با ضریب همبستگی 0/24 وجود دارد. سیدجلالی (1375) گزارش کرد که عملکرد پیش‌بینی شده گندم آبی در منطقه میان آب شوشتر با عملکرد مشاهده شده کشاورز دارای ضریب همبستگی 0/77 است که این نشان می‌دهد مدل تهیه شده با شرایط منطقه تطابق خوبی دارد و همبستگی خوبی بین دو عملکرد وجود دارد. در تحقیق حاضر با اصلاح شاخص‌ها ضریب تشخیص به طور محسوسی افزایش یافت. بنابراین استفاده از شاخص‌های اصلاح شده در تحقیقات آبی برای تعیین کلاس‌های تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید پیشنهاد می‌شود.

تانگ و وان رانست (1992) ارزیابی تناسب اراضی را در منطقه آیت ایی در استان لیائونینگ چین برای ذرت دیم با استفاده از روش‌های فازی، پارامتریک و محدودیت انجام دادند و روابط رگرسیونی بین شاخص‌های تناسب به دست آمده و میزان محصول را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که شاخص‌های به دست آمده از روش فازی تطابق بیشتری با محصول و دارای ضریب تشخیص 0/92 داشت. پس از روش فازی، روش پارامتری با ضریب تشخیص 0/82 مناسب‌تر بود. فرج نیا (1386) گزارش کرد که در دشت یکانات مرند بین عملکرد پیش‌بینی شده و کشاورز برای چغندر قند رابطه قوی با ضریب تشخیص 0/86 وجود دارد. با توجه به خصوصیات مختلف اراضی و میزان شدت محدودیت آنها در مناطق مختلف و در سطوح وسیع ممکن است نتایج مشابه و یا حتی غیر مشابه نسبت به تحقیق حاضر حاصل شود. هر چند که برای استفاده از شاخص‌ها از خصوصیات اراضی استفاده می‌شود با این وجود بعلاوه اینکه این خصوصیات بصورت شاخص محاسبه شده‌اند و تأثیر مدیریت نیز در آنها لحاظ شده است بنابر این ضریب تشخیص برای شاخص‌های اراضی نسبت به خصوصیات اراضی بالاتر شده و دقت را افزایش

هستند نسبت به استفاده از خصوصیات اراضی در اولویت قرار دارد. و روش استوری نیز نسبت به روش ریشه دوم نتایج بهتری را ارائه داد و عملکرد محصول را با دقت بیشتری برآورد نمود.

آن نسبت به سایر روش‌ها زیاد بود. بنابراین استفاده از خصوصیات اراضی بدون استفاده از مدل‌های پیش‌بینی محصول توصیه نمی‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای پیش‌بینی عملکرد محصول استفاده از مدل رشد فائو با تلفیق شاخص‌های اصلاح شده بدست آمده از روش ریشه دوم و استوری که از روش‌های پارامتری

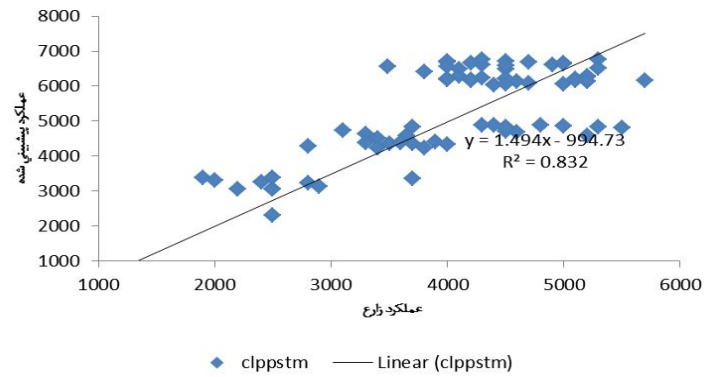


شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه

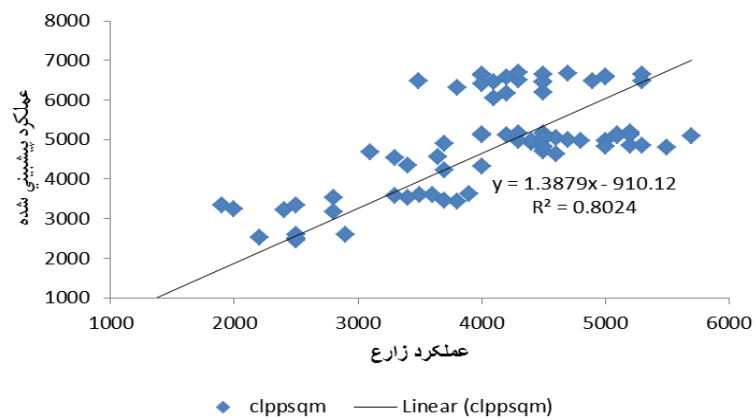
جدول 1- جدول آمار توصیفی متغیرهای استفاده شده در منطقه عقیلی گتوند

ضریب تغییرات (%)	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	تعداد نمونه	خصوصیات
3/8	0/29	7/54	8/1	6/9	110	pH
223/3	16/37	7/33	122/3	1/5	110	EC
39/5	0/26	0/66	1/3	0/11	110	OC
15/6	7/42	47/46	63	35	110	TNV
267/9	0/93	0/35	5/62	0	110	Gyps
31/3	3/79	12/09	21	5	110	CEC
1/27	8/23	30/32	48	11	110	Clay
8/4	4/07	46/69	59	39	110	Silt
38/1	8/08	21/22	50	7	110	Sand
107	11/97	11/18	70	0	110	ESP
41/4	1451	3522	5700	500	93	Oby
1/26	18/28	70/02	84	26	110	CLsq
19/6	13/63	69/4	83	26	110	CLst
74/9	2520	3363	6687	0	110	CLPPsqm
77/1	2653	3443	6756	0	110	CLPPstm

عملکرد مشاهده شده (Oby: Observed yield) CLPP_{stm}: Land production potential storie mehod (پتانسیل تولید اراضی روش استوری (پتانسیل تولید روش ریشه دوم) CLPP_{sqm}: Land production potential square root method (پتانسیل تولید اراضی روش استوری (پتانسیل تولید روش ریشه دوم) CLPP_{stm}: Land production potential storie mehod (پتانسیل تولید اراضی روش استوری (پتانسیل تولید روش ریشه دوم)



شکل 2- رگرسیون بین عملکرد دانه گندم توسط کشاورز و عملکرد پیش‌بینی شده به روش پارامتری (استوری)



شکل 3- رگرسیون بین عملکرد دانه گندم توسط کشاورز و عملکرد پیش‌بینی شده به روش پارامتری (ریشه دوم)

جدول 4- رگرسیون گام به گام خصوصیات اراضی

خلاصه مدل				
مدل	R (ضریب همبستگی)	R ² (ضریب تشخیص)	ضریب تشخیص اصلاح شده	RMSE(kg.ha ⁻¹)
1	0/389 ^a	0/151	0/142	1344
2	0/488 ^b	0/238	0/222	1280
3	0/534 ^c	0/285	0/261	1247

a. Predictors (پیشینی کننده): (Constant), pH
 b. Predictors: (Constant), pH, Gyps
 c. Predictors: (Constant), pH, Gyps, Silt

RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا (کیلوگرم در هکتار)

جدول 5- خلاصه پارامترهای تخمینی رگرسیون منحنی تخمین برای روش استوری

معادله		خلاصه مدل					تخمین ضرایب	
R ²	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
خطی	0/832	450	1	0/000	-994	1/494		
درجه دوم	0/874	313	2	0/000	-2864	3/128	0/00	
درجه سوم	0/891	241	3	0/000	-614	-0/142	0/001	0/000

جدول 6- پارامترهای رگرسیون منحنی تخمین برای روش ریشه دوم

معادله		خلاصه مدل					تخمین ضرایب	
R ²	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
خطی	0/802	369	1	0/00	-910	1/38		
درجه دوم	0/848	252	2	0/00	-2753	2/99	0/000	
درجه سوم	0/870	198	3	0/00	-324	-0/532	0/001	0/000

جدول 7- مقایسه روش‌های مختلف رگرسیون

نوع رگرسیون	صفات	R	R ²	Adj R ²	F	P	RMSE(kg.ha ⁻¹)
رگرسیون چندگانه استاندارد	LPPstm	0/912	0/832	0/830	F(1,92)=450/6	P<0/000	598
	LPPsqm	0/896	0/800	0/800	F(1,92)=369/4	P<0/000	648
	خصوصیات اراضی	0/575	0/330	0/248	F(1082)=11/8	P<0/022	1258
رگرسیون چندگانه گام به گام	خصوصیت اراضی	0/534	0/285	0/261	F(10,82)=4/04	P<0/001	1247
	خطی	0/832			F(1,91)=450	P<0/001	979
رگرسیون تخمین منحنی LPPstm	درجه دوم	0/874			F(2,90)=241	P<0/001	851
	درجه سوم	0/891			F(3,89)=23/68	P<0/001	798
	خطی	0/802			F(1,91)=379	P<0/000	1004
رگرسیون تخمین منحنی LPPsqm	درجه دوم	0/848			F(2,90)=251	P<0/000	885
	درجه سوم	0/870			F(3,89)=197	P<0/000	825

فهرست منابع:

1. وزارت جهاد کشاورزی، 1390. آمارنامه کشاورزی جلد اول محصولات زراعی 89-1388. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی. 137 ص.

۲. سیدجلالی، س.ع.، 1375. ارزیابی تناسب و تعیین مدل پتانسیل تولید اراضی برای گندم در منطقه میان آب شوشتر، استان خوزستان، نشریه فنی شماره 1064، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۳. سیدجلالی، س.ع.، زارعیان، ع.، زینالدینی، ع.، و سعادت‌مند، غ.، 1386 a. تعیین تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید گندم در خاک‌های گچی استان‌های خوزستان، فارس، اصفهان و کرمان، نشریه فنی شماره 1345، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۴. سیدجلالی، س.ع.، زارعیان، ع.، زینالدینی، ع.، و سعادت‌مند، غ.، بنی‌نعمه، ح.، 1386 a. تعیین تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید گندم در خاک‌های آهکی استان‌های خوزستان، فارس، اصفهان و کرمان، نشریه فنی شماره 1341، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۵. فرج‌نیا، ا.، 1386. ارزیابی تناسب اراضی و تعیین پتانسیل تولید چغندر قند در دشت یکانات مرند. چغندر قند. 23 (1): 43-54
6. Becker-Reshef a, E. Vermote a, M. Lindeman b, C. Justice. 2010. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 114, 1312–1323.
 7. Budong Q, Reinder De J, and G. Samuel. 2009. Multivariate analysis of water-related agroclimatic factors limiting spring wheat yields on the Canadian prairies. *Europ. J. Agronomy* 30, 140–150
 8. Charles, J., Godfray, J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., and C., Toulmin. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science (Washington, DC)* 327, 812–818.
 9. Chipanshi, A. C., Ripley, E. A., & R. G., Lawford. 1999. Large-scale simulation of wheat yields in a semi-arid environment using a crop-growth model. *Agricultural Systems*, 59, 57–66.
 10. Doraiswamy, P. C., Moulin, S., Cook, P. W., & V., Stern. 2003. Crop yield assessment from remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, 665–674.
 11. Draper, N.R., Smith, H., 1966. *Applied Regression Analysis*. Wiley, New York 7407pp
 12. Food and Agricultural Organization. 1979. Report on agro-ecological zones project. Vol. 1: Methodology and result for Africa. World soil resources report No. 48, FAO, Rome.
 13. Keshavarzi, A; Sarmadian, F; Heidari, A and M. Omid. 2010. Land Suitability Evaluation Using Fuzzy Continuous Classification (A Case Study: Ziaran Region). *Modern Applied Science*. Vol. 4, No. 7.
 14. Khiddir, S. M. 1986. A statistical approach in the use of parametric systems applied to the FAO framework for land evaluation. Ph. D. Thesis, State university of Ghent, Belgium.
 15. Manasah S., Mkhabel., Paul R. and Bullock. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada *Agricultural Water Management* 110, 16– 24.
 16. Maselli, F., & F, Rembold. 2001. Analysis of GAC NDVI data for cropland identification and yield forecasting in Mediterranean African countries. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67, 593–602.
 17. Padilla., F.L.M. , Maas., S.J., Gonz M.P., Iez-Dugo., F. Mansilla, N. Rajan, Gavil, P., and J. Donguez. 2012. Monitoring regional wheat yield in Southern Spain using the GRAMI model and satellite imagery. *Field Crops Research* 130, 145–154
 18. Pinter, P. J., Jackson, R. D., Idso, S. B., & Reginato, R. J. (1981). Multidate spectral reflectances as predictors of yield in water stressed wheat and barley. *International Journal of Remote Sensing*, 2, 43–48.

19. Chen, Z. X., Ren, J. Q., Zhou, Q. B., & , H. J, Tang. 2008. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, 403–413.
20. Shahbazi, F., Jafarzadeh, A.A., Sarmadian, F., Neyshaboury, M.R., Oustan, Sh., Anaya-Romero, M. and D. De la Rosa. 2009. Suitability of Wheat, Maize, Sugar Beet and Potato Using MicroLEIS DSS Software in Ahar Area, North-West of Iran. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 5 (1): 45-52.
21. Soil survey staff. 2010. Keys to soil taxonomy. Eleventh Edition. USDA. NRCS. 338pp.
22. Storie, R. E. 1978. Storie index soil rating (revised). Spec. publ. Div. Agric. Sci. No. 3203. University of Calif. Berkley, USA.
23. Sys, C, E, Van Ranst. J. Debaveye. 1991. Land evaluation, Part I and II. General Administration for development cooperation, Brussels.
24. Sys, C, E, Van Ranst. J. Debaveye. 1993. Land evaluation, Part III. Crop requirements. General Administration for development cooperation, Brussels.
25. Tang, H.J, and E. Van Ranst. 1992. Testing of fuzzy set theory in land suitability assessment for rainfed grain maize production. *Pedologie*, 42:129-147.
26. Taru, P., Alosuo, K., Christian, K., Carlos, A., Petr, H., Lavinkad, M., Moriondo. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. *Europ. J. Agronomy* 35, 103– 114
27. Toscano, P., Ranieri, R., Matese, A. ., Vaccari, F.P., Gioli, B. A. Zaldeaia, M. Silvestri, C. Ronchi, P. La Cava, J.R. Porter and F. Miglietta. 2012. Durum wheat modeling: The Delphi system, 11 years of observations in Italy. *Europ. J. Agronomy* 43 (2012) 108–118
- 28 Wall, L., Larocque, D., & P. M., Leger. 2007. The early explanatory power of NDVI in crop yield modeling. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 2211–2225.