

مقایسه مدل AquaCrop و مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید در برآورد عملکرد پتانسیل در بخشی از اراضی دشت مغان در استان اردبیل

امیر ایزدفر^۱، فریدون سرمیدیان^{۲*}، محمدرضا جهانسوز^۳، غلامرضا پیکانی^۴، محمد رضا چایی چی^۵

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲. استاد، گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۴. دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۵. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲)

چکیده

عملکرد پتانسیل برای شش گیاه زراعی گندم پاییزه، جو پاییزه، چغندر قند پاییزه، پنبه، ذرت و سویا در بخشی از اراضی دشت مغان با استفاده از دو مدل AquaCrop و مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید، پس از واسنجی محاسبه شد. ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص تطابق برای عملکرد پتانسیل به ترتیب برای مدل AquaCrop، ۰/۹۹، ۲۱/۷۲، ۰/۹۹ و برای مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید یا مدل فائو ۰/۹۷، ۵۴/۲۵، ۰/۹۶، محاسبه شد. همچنین برای مقایسه تخمین بیوماس پتانسیل بین مدل AquaCrop و مدل فائو به ترتیب ضریب تبیین، ۰/۹۸ و ۰/۹۳، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، ۲۳/۵۵ و ۵۸/۱۰ و شاخص تطابق، ۰/۹۸ و ۰/۹۳ محاسبه شد. بدین ترتیب مدل AquaCrop نسبت به مدل فائو از دقت بالاتری برخوردار بود. همچنین این مدل محاسبات کمتر، خروجی بیشتر و کاربرد گسترده تری نسبت به مدل فائو دارد. با استفاده از عملکرد پتانسیل مدل AquaCrop کسر اختلاف عملکرد محاسبه شد و بر این پایه محصولات در منطقه رتبه بندی شدند. بر اساس نتایج، کمترین کسر اختلاف عملکرد محصولات، در دشت مغان، به ترتیب برای جو، سویا، چغندر قند، گندم، پنبه و ذرت محاسبه شد. این رتبه بندی قابل استفاده در الگوی کشت منطقه به عنوان یک ضریب اکولوژیکی نیز خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: سیاست‌گذاری امنیت غذایی، شبیه‌سازی تولید پتانسیل، کسر اختلاف عملکرد

مقدمه

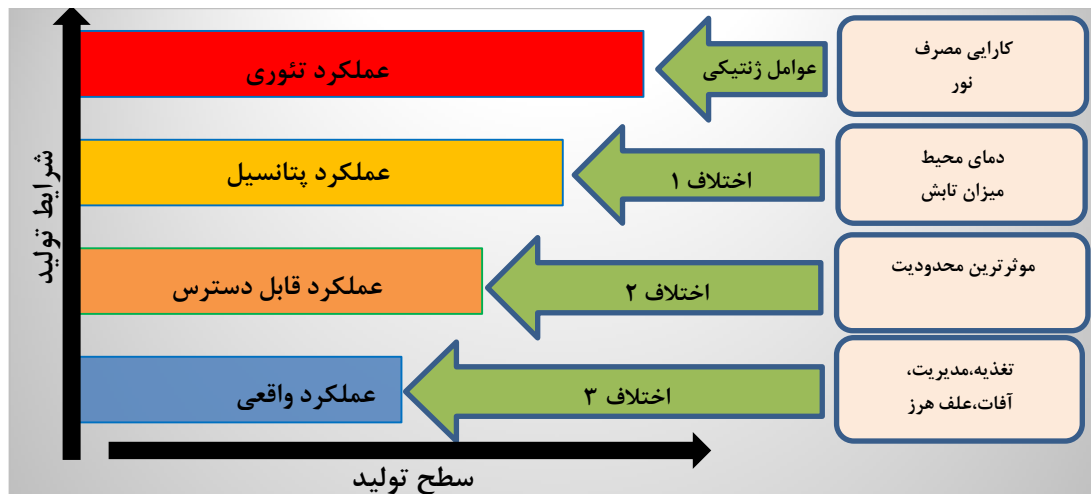
سرمایه‌های تولید در مناطق مختلف می‌باشد؛ زیرا اختلاف بین عملکرد پتانسیل و تولید متوسط واقعی کشاورزان یک منطقه، مشخص‌کننده میزان بهره‌وری در استفاده از نهاده‌ها، به عنوان سرمایه تولید می‌باشد. هرچه این اختلاف کمتر باشد، نشان‌دهنده کارایی بالاتر مصرف نهاده‌ها و نزدیک‌تر شدن به سقف ممکن تولید است. در مقابل هرچه این اختلاف بیشتر باشد، نمایانگر نیاز بیشتر به تحقیق و توسعه در بخش تولید کشاورزی می‌باشد (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2012). عملکرد پتانسیل، عملکرد یک گونه زراعی سازگار در یک محیط، همراه با عدم محدودیت آب، مواد مغذی و کنترل مؤثر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌باشد. به بیان دیگر عملکرد پتانسیل رشد گیاه تحت شرایط مطلوب و کاملاً مدیریت شده تعریف شده است. از طرف دیگر، اختلاف عملکرد، ناشی از عوامل محدودکننده می‌باشد. از این رو، مطالعات بسیاری در راستای اندازه‌گیری اختلاف عملکرد و تبیین عوامل مؤثر و

تأمین امنیت غذایی در جوامع مختلف انسانی، از مهم‌ترین اصول امنیت ملی است. خودکفایی (Self-sufficiency) و خوداتکایی (Self-reliance) دو راهبرد اصلی در تأمین امنیت غذایی می‌باشد. خودکفایی تولید سطح قابل‌قبولی از محصولات راهبردی موردنیاز، در داخل کشور و خوداتکایی تولید و صادرات محصولات دارای مزیت نسبی اقتصادی و واردات دیگر محصولات موردنیاز تعریف شده است (Chandra and Lontoh, 2010). اتخاذ تصمیمات راهبردی صحیح در راستای سیاست تولید کشاورزی، نیازمند برآورد صحیحی از پتانسیل تولید کشاورزی در مناطق مختلف کشور می‌باشد. برآورد تولید پتانسیل، اهمیت بسیاری در مدیریت تولید در بخش کشاورزی دارد. در حقیقت تولید پتانسیل نشان‌دهنده امکانات و

محیط، تابش محیطی و دمای محیط می‌باشد. عملکرد قابل‌دسترس، به عملکرد گونه زراعی در شرایط عدم تنش و تنها تحت مدیریت یک عامل تولید گفته می‌شود. به‌عنوان مثال عملکرد قابل‌دسترس تحت مدیریت آب آبیاری، زمانی که آب به‌عنوان تنها عامل تبیین‌کننده عملکرد مطرح باشد، مشخص می‌شود. اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد قابل‌دسترس تحت محدودیت آب نشان‌دهنده اختلاف عملکرد در اثر این عامل و سطح تأثیرپذیری گیاه از محدودیت آب می‌باشد (Lobell *et al.*, 2009). لذا بر اساس قانون لیمبیک، در هر منطقه حداکثر عملکرد گزارش شده نشان‌دهنده بهترین مدیریت ممکن در کنترل مؤثرترین عامل کاهنده عملکرد قابل‌دسترس، در آن منطقه می‌باشد؛ و در نهایت، عملکرد واقعی به عملکرد گیاه در شرایط واقعی تولید و در حضور محدودیت‌های معمول محیطی از قبیل آب، مواد مغذی، آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و مدیریت اطلاق می‌شود (Sadras, 2004).

راه‌های کاهش آن صورت گرفته است. تبیین این عوامل محدودکننده و راهکارهای مقابله مناسب، از مهم‌ترین عوامل رسیدن به تولید پایدار می‌باشد. برآورد هرچه دقیق‌تر عملکرد پتانسیل نقش مهمی در بررسی نحوه مصرف نهاده‌ها و مدیریت آن‌ها دارد (Evans and Fischer, 1999). در نتیجه اندازه‌گیری ظرفیت تولید مناطق مختلف کشاورزی و تبیین اختلاف عملکرد موجود در هر منطقه و طراحی راهکارهای مناسب جهت کمینه‌سازی آن، از مهم‌ترین چالش‌ها در سیاست‌گذاری امنیت غذایی در کشور می‌باشد.

در حقیقت بالاترین سطح عملکرد در یک گیاه، عملکرد تئوری آن گیاه می‌باشد. عملکرد تئوری تنها وابسته به سطح انرژی قابل دریافت توسط تاج‌پوشش و کارایی مصرف نور در آن گیاه می‌باشد. سطوح بعدی عملکرد همچون عملکرد پتانسیل، عملکرد قابل‌دسترس و عملکرد واقعی، از محدودیت‌های ناظر بر عملکرد تئوری شکل می‌گیرد. بنا بر تعریفی که بیان شد، عملکرد پتانسیل متأثر از عواملی چون: میزان دی‌اکسید کربن



شکل ۱. سطوح مختلف عملکرد در تولید محصول زراعی و محدودیت‌های مرتبط با هر سطح

مدل‌ها مطالعات زیادی، برای برآورد پتانسیل عملکرد در کشورهای مختلف انجام شده است. از مدل فائو برای ترسیم نقشه تولید پنبه آبی در منطقه مسیله استان قم استفاده شده است (Seyedjalali, 2004). در مطالعه دیگری، استان قزوین به مناطق آگرواکولوژیکی تقسیم شده و عملکرد پتانسیل یونجه با استفاده از روش فائو برای این مناطق محاسبه شد (Taati *et al.*, 2015). در استان لرستان عملکرد پتانسیل چغندر در اراضی دانشگاه لرستان با عملکرد پتانسیل چغندر در دشت سیلاخور مورد مقایسه قرار گرفته است. در این مقایسه اختلاف پتانسیل با توجه به محدودیت‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است (Sohrabi

امروزه مدل‌های متفاوتی برای برآورد عملکرد پتانسیل، بر اساس روش‌های مختلف محاسبه، از قبیل محاسبه ماده خشک خالص، فتوسنتز، تبخیر و تعرق، توسعه داده شده‌اند. از میان این مدل‌ها می‌توان به مدل فائو یا مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید (Potential Radiation-Thermal Crop Production)، مدل واخنینگن، مدل آلبرو (Sys *et al.*, 1985)، مدل WOFOST، مدل DSSAT و مدل AquaCrop اشاره کرد (Diepen *et al.*, 1989; Jones *et al.*, 2003; Raes *et al.*, 2009). از بین مدل‌های یادشده دو مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید و مدل AquaCrop به‌عنوان مدل‌هایی برای برآورد عملکرد پتانسیل مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از این

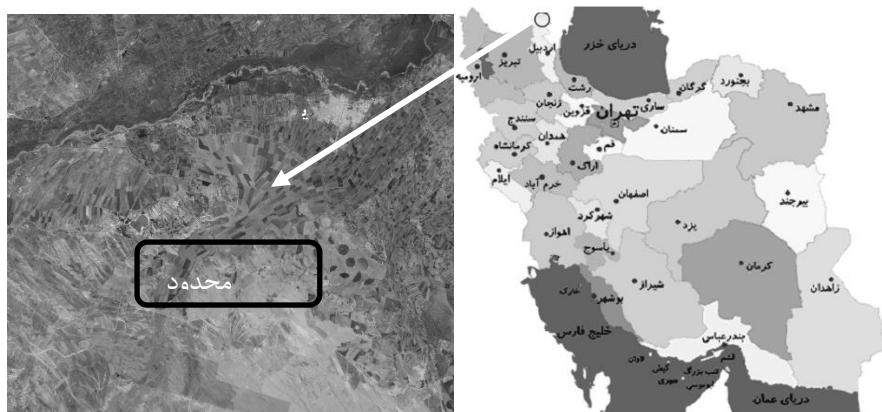
و با صرفه اقتصادی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در نتیجه ارزیابی مدل‌هایی که به‌خوبی بتواند عملکرد پتانسیل را در مناطق مختلف کشور برآورد نماید لازم خواهد بود. بدین سبب برآورد عملکرد پتانسیل با استفاده از مدل فائو و مدل AquaCrop مقایسه شد. هدف از این مقایسه بررسی کارایی مدل AquaCrop برای برآورد عملکرد پتانسیل در مقایسه با مدل فائو بود. هرچه این برآورد دقیق‌تر باشد، تأثیر بهتری در دیگر برآوردهای مدل AquaCrop از شرایط رشد و نمو گیاهان، خصوصاً کارایی مصرف آب خواهد داشت. بر اساس مقایسه عملکرد پتانسیل و میانگین عملکرد حداکثر، رتبه‌بندی کشت محصولات در منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای این مطالعه سه محصول پاییزه گندم، جو، چغندر قند و سه محصول بهاره پنبه، ذرت و سویا از بین زراعت‌های آبی در دشت مغان انتخاب شد. محدوده مورد مطالعه در بخشی از اراضی دشت مغان در شمال استان اردبیل در حدفاصل ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۹ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و به‌طور متوسط در ارتفاع ۲۴۰ متری از سطح دریا قرار دارد. برای بررسی اقلیمی این منطقه داده‌های سی‌ساله هواشناسی از ایستگاه هواشناسی پارس‌آباد فراهم شد.

(and Chegini, 2011). در مطالعه‌ای در شهرکرد تولید ذرت علوفه‌ای توسط روش فائو یا همان پتانسیل حرارتی-تابشی تولید محاسبه شده است. در ادامه این مطالعه بین مدل فائو و مدل واگنینگن مقایسه به عمل آمده است (Etedali et al., 2012). با توجه به اینکه مدل AquaCrop بیشتر بر کارایی مصرف آب و روابط آب، خاک و گیاه متمرکز می‌باشد، مطالعات کمتری در جهت برآورد عملکرد پتانسیل با استفاده از این مدل صورت گرفته است. البته در تمامی مطالعاتی که از این مدل سود جست‌ه‌اند، به‌طور ضمنی عملکرد پتانسیل را نیز محاسبه کرده‌اند. به‌عنوان مثال عملکرد گندم زمستانه با استفاده از این مدل در منطقه شیروان برآورد شده است (Ghanbbari and Tavassoli, 2013). همچنین عملکرد چغندر قند در ارتباط با رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کود نیتروژن با استفاده از مدل AquaCrop در استان مرکزی محاسبه شده است. در این مطالعه مدل به‌دقت عملکرد چغندر را در شرایط مختلف مزرعه تخمین زده است. دقت بالا، نیاز به حداقل داده‌ها و کاربرد آسان مدل، از مزیت‌های مدل AquaCrop در این مطالعه ذکر شده است (Alishiri et al., 2014). تصمیم‌های مدیریت زراعی از قبیل انتخاب واریته مناسب، تاریخ کاشت و تراکم کشت از عوامل مؤثر در پتانسیل تولید می‌باشند. این عوامل با ایجاد شرایط مناسب برای گیاه در بهره‌گیری از شرایط محیطی مانند تابش، دما و رطوبت، بر عملکرد تأثیر می‌گذارند. لذا تصمیمات زراعی مناسب در کاهش اختلاف عملکرد و ایجاد یک تولید نزدیک به پتانسیل



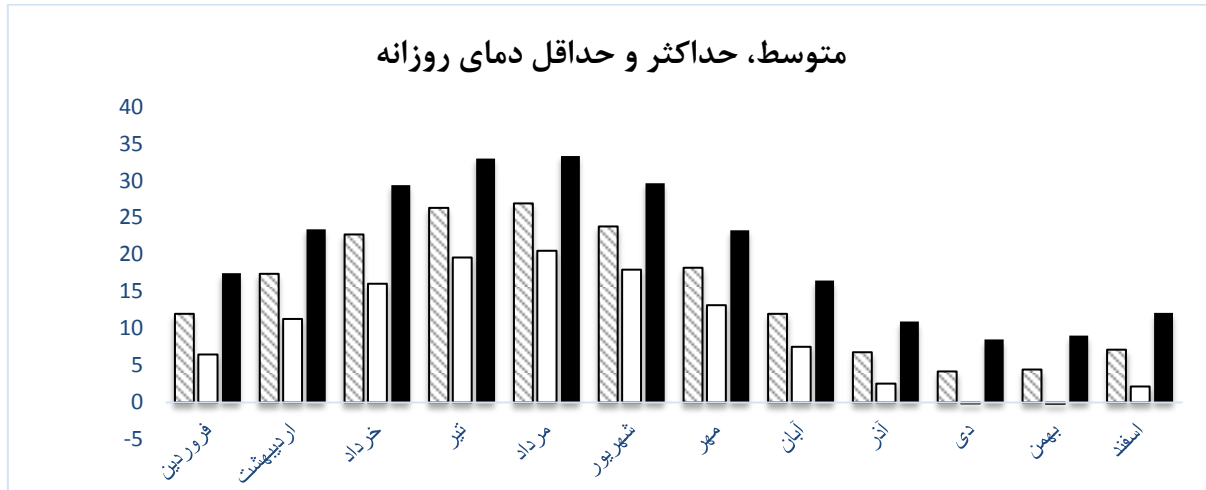
شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه

می‌افتد به‌گونه‌ای که در گرم‌ترین ماه سال (مرداد)، میانگین بارندگی ۷/۳ میلی‌متر است. بیشترین بارندگی در منطقه مورد مطالعه در فصول بهار و پاییز در ماه‌های اردیبهشت و مهر به ترتیب با ۳۳/۷ و ۳۱/۲ میلی‌متر بوده و در مجموع بارش این دو فصل ۶۴ درصد بارندگی کل سال را به خود اختصاص داده‌اند.

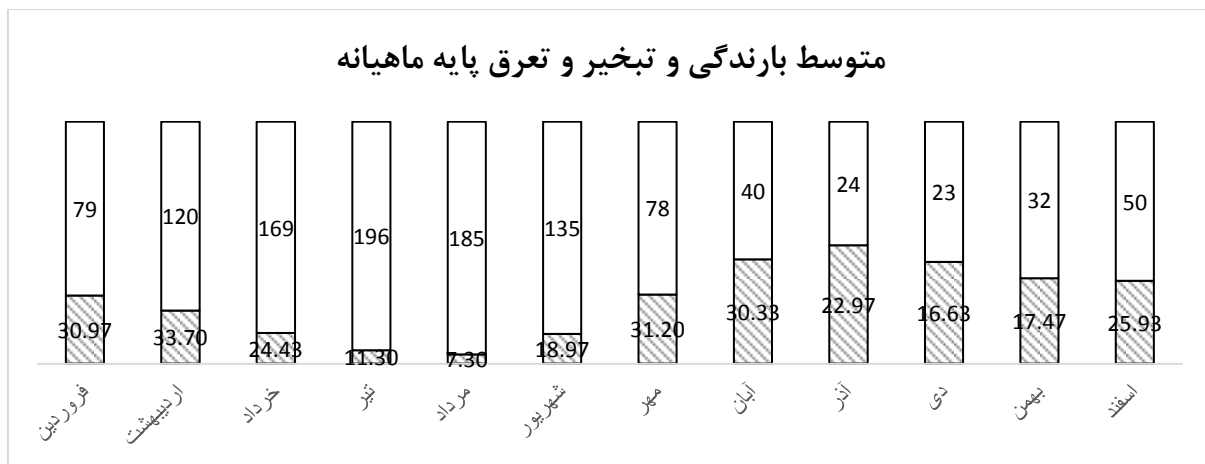
بر اساس میانگین آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس-آباد میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه به ترتیب ۱/۷- و ۳۳/۳ درجه سانتی‌گراد در ماه‌های بهمن و مرداد، میانگین دمای سالانه ۱۵/۲ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی ۲۷۱،۲ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس شکل (۳) پراکنش ریزش باران در تمام ماه‌های سال اتفاق

می‌باشد که از نزولات جوی در سال بیشتر بوده و مؤید نیاز به آبیاری در اکثر ماه‌های سال می‌باشد. با توجه به اینکه مدل AquaCrop از روش متفاوتی نسبت به مدل فائو، عملکرد پتانسیل را محاسبه می‌نماید، درک نحوه محاسبه و مقایسه این دو روش ضروری خواهد بود.

نزدیک به ۱۴ درصد بارندگی در فصل تابستان و ۲۲ درصد آن در فصل زمستان انجام می‌گیرد. در شکل (۴) میانگین ماهیانه تبخیر و تعرق پتانسیل پایه که توسط ماشین حساب تبخیر و تعرق پایه ارائه شده توسط فائو، محاسبه شده است. مجموع سالیانه این تبخیر و تعرق ماهیانه ۱۱۳۱ میلی‌متر



شکل ۳. دمای روزانه متوسط (هاشور)، حداکثر (سیاه) و حداقل (سفید) بر حسب درجه سانتی‌گراد C⁰ در ماه‌های مختلف سال در منطقه



شکل ۴. متوسط بارندگی بر حسب میلی‌متر mm (هاشور) و تبخیر و تعرق پایه (سفید) در ماه‌های مختلف سال در منطقه

رشد گیاه قابل محاسبه می‌باشد (Ashraf et al., 2011). بدین ترتیب عملکرد پتانسیل از (رابطه (۱)) به دست خواهد آمد.

(رابطه ۱)

$$Y_{potential} = 0/36bgm * KLA I * HI / ((1/L) + 0/25C_t)$$

در رابطه ۱) bgm شدت تولید بیوماس حداکثر که خود از رابطه (۲) یا رابطه (۳) بر اساس مقدار Pm محاسبه می‌شود.

(رابطه ۲)

$$Pm > 20 \Rightarrow y = 5(Pm - 20) \Rightarrow bgm = f. bo. (1 + 0/002y) + (1 - f). bc. (1 + 0/005y)$$

مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید

بیوماس خالص و عملکرد پتانسیل در مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید بر اساس تابش و درجه حرارت برآورد می‌شود. این رابطه می‌تواند بین شدت تولید بیوماس و تنفس و به تبع آن بین حداکثر شدت تولید بیوماس و تنفس نیز برقرار باشد. مشروط بر اینکه بیوماس خالص تجمعی از یک نمودار سیگموئیدی پیروی نماید، شدت تولید بیوماس متوسط نیمی از شدت تولید بیوماس خالص بوده و نهایتاً بیوماس خالص تجمعی کل از شدت تولید بیوماس خالص متوسط در تعداد روز دوره

گیاه از رابطه $Z = (a - b) * 100/a$ که در آن Z درصد رطوبت، a وزن تر گیاه و b وزن خشک گیاه می‌باشد، محاسبه می‌شود.

مدل AquaCrop

بیوماس در مدل AquaCrop بر اساس میزان تبخیر و تعرق در کارایی مصرف آب نرمال گیاه محاسبه می‌شود؛ زیرا بسیاری از مطالعات رابطه خطی بین بیوماس و کارایی مصرف آب را نشان داده است (Steduto *et al.*, 2007). برای این منظور مقدار آب تبخیر شده از خاک و مقدار تعرق گیاه از یکدیگر تفکیک داده می‌شوند تا آب مصرف‌شده جهت مصارف غیر تولیدی خصوصاً در دوره‌ای که پوشش سطح مزرعه کامل نشده است، معین گردد. همچنین این مدل با جداسازی بیوماس از عملکرد به‌وسیله شاخص برداشت اثرات محیط، به‌طور مثال اثر تنش آبی در بیوماس و اثر آن در شاخص برداشت را نیز تفکیک می‌نماید. مدل AquaCrop از رابطه (۸) جهت محاسبه بیوماس پتانسیل استفاده می‌نماید.

$$w = a + \left[\frac{(b-a)(x-c)}{d-c} \right] \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$B = K_{sb} WP^* \sum [Tr/ET.] \quad (\text{رابطه ۸})$$

در رابطه (۸) K_{sb} ضریب تنش دمایی، بین صفر و یک می‌باشد. از آنجایی که ممکن است در هوای سرد تولید بیوماس مختل شود K_{sb} به‌عنوان ضریب تنش دمایی در مدل در نظر گرفته شده است. در نتیجه این ضریب، بیوماس در ارتباط با دما تعدیل خواهد شد. مقدار ضریب K_{sb} از طریق یک تابع نمایی بر حسب رنج درجه حرارت روز رشد، برای هر گیاه، توسط مدل محاسبه می‌شود و این ضریب، سطح خاصی، از درجه حرارت روز رشد را تضمین می‌نماید (De la Casa *et al.*, 2013). برای محاسبه تعرق گیاه از رابطه (۹) استفاده می‌نماییم. در این رابطه K_s معرف ضریب تنش آبی گیاه و K_{cb} ضریب پایه گیاهی است که با میزان توسعه پوشش کانوپی متناسب می‌باشد.

$$Tr = K_s * K_{cb} * ET. \quad (\text{رابطه ۹})$$

برای محاسبه تعرق، در دوره رشد گیاه به تبخیر و تعرق پایه ET_0 نیاز است. برای سهولت محاسبه تبخیر و تعرق پایه نرم‌افزاری به نام ماشین حساب تبخیر و تعرق پایه توسط فائو معرفی شده است (Allen *et al.*, 1998). کارایی مصرف آب نرمال WP^* مقدار کیلوگرم بیوماس تولیدشده در مترمربع برای هر میلی‌متر آبی است که در دوره شکل‌گیری بیوماس از گیاه تعرق شده است. کارایی مصرف آب نرمال از رابطه (۱۰) قابل محاسبه است.

$$WP^* = \sum B / (Tr/ET) \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

(رابطه ۳)

$$Pm < 20 \Rightarrow y = 5(Pm - 20) \Rightarrow bgm = f. bo. (1 - 0/25y) + (1 - f). bc. (1 - 0/01y)$$

حداکثر فتوسنتز برگ یا Pm بر اساس متوسط درجه

حرارت در ساعات روز در دوره رشد و نوع گیاه مربوطه قابل محاسبه می‌باشد. متوسط درجه حرارت در ساعات روز Td از رابطه (۴) و بر اساس متوسط حداکثر درجه حرارت دوره رشد Tmax و حداقل درجه حرارت متوسط دوره رشد Tmin بر پایه درجه سانتی‌گراد قابل محاسبه می‌باشد (Ye and Ranst, 2002).

$$d = [(T_{max} + T_{min})/2] + [(T_{max} - T_{min})/\pi] \quad (\text{رابطه ۴})$$

در روابط (۲) و (۳) به ترتیب bc نشانگر شدت حداکثر

رشد در روزهای آفتابی، bo نشانگر حداکثر رشد در روزهای ابری بوده و f کسری از روزهای دوره رشد که هوا آفتابی و (1-f) کسری از روز که هوا ابری می‌باشد. برای محاسبه f از رابطه (۵) که بر اساس نسبت ساعات آفتابی در منطقه موردنظر n، بر حداکثر ساعات آفتابی محاسبه‌شده در عرض جغرافیایی N، در همان منطقه محاسبه می‌شود. N برای عرض‌های مختلف جغرافیای محاسبه شده است (Sys *et al.*, 1993).

$$f = [1 - (n/N)] \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه (۱) L مربوط به تعداد روزهای دوره رشد گیاه و

HI شاخص برداشت می‌باشد. فاکتور تصحیح شاخص سطح برگ KLAI به‌عنوان شاخصی از سطح دریافت‌کننده تابش می‌باشد. این فاکتور برای تصحیح تغییرات سطح، سن و کارایی فتوسنتز برگ در طول دوره رشد، تبیین شده است. برای محاسبه آن باید از داده‌های فنولوژیک گیاه موردنظر سطح برگ در زمان حداکثر شدت رشد را استخراج کرده و با استفاده از نمودار مربوطه KLAI را تبیین نمود.

$$C_t = C_{30}(0/044 + 0/0019T_{min} + T_{mean}^2) \quad (\text{رابطه ۶})$$

C_t نیز ضریب تنفس است که با استفاده از رابطه (۶) بر

اساس متوسط درجه حرارت دوره رشد گیاه T_{mean} محاسبه می‌شود (Sys *et al.*, 1993). به جهت تفاوت میزان تنفس در گیاهان لگوم با غیر لگوم‌ها ضریب C_{30} به ترتیب مقادیر ۰/۰۲۸۳ و ۰/۰۱۰۸ را خواهد گرفت. برای محاسبه مقادیر مؤلفه‌های مختلف در عرض جغرافیایی منطقه موردنظر باید از رابطه (۷)

استفاده شود. در این فرمول به ترتیب a و b مقادیر محاسبه‌شده مؤلفه‌های d و c بوده و w مقدار مؤلفه x خواهد بود (Bagheri *et al.*, 2015). در نهایت این مدل بیوماس را بر اساس کیلوگرم ماده خشک (CH_2O) در هکتار محاسبه می‌نماید. باید درصد رطوبت خاص هر گیاه را هم لحاظ نمود. درصد رطوبت در هر

(رابطه ۱۱)

$Y_{potential} = HI * B_{potential}$

در رابطه (۱۱) عملکرد پتانسیل از شاخص برداشت پایه HI_0 در بیوماس پتانسیل محاسبه می‌شود. برای یکسان‌سازی مقایسه تولید پتانسیل در هر دو مدل از شاخص برداشت پایه استفاده نمودیم. شاخص برداشت پایه همان شاخص برداشت محصول در شرایط عدم تنش می‌باشد. شاخص برداشت پایه برای هر محصول در منابع مختلف ذکر شده است (Heng et al., 2009).

واسنجی مدل‌ها

واسنجی عبارت است از تغییر برخی پارامترهای مدل جهت انطباق قابل قبول نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده. مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید از مؤلفه‌های اقلیمی مبتنی بر اقلیم منطقه و مؤلفه‌های گیاهی شامل طول دوره رشد گیاه، فاکتور تصحیح شاخص سطح برگ و شاخص برداشت تشکیل شده است. در این پژوهش طول دوره رشد گیاه و فاکتور تصحیح شاخص سطح برگ با استفاده از داده‌های گیاهی در دو سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ واسنجی شد. برخلاف مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید، مدل AquaCrop نیاز به محاسبات کمتر اما واسنجی بیشتری دارد. در حقیقت این مدل از دو دسته مؤلفه ثابت و متغیر تشکیل شده است. مؤلفه‌ها متغیر که امکان واسنجی دارند، شامل شاخص‌های رشد، شاخص‌های مورفولوژیک، شاخص‌های فنولوژیک و شاخص برداشت پایه می‌باشد. البته مدل AquaCrop امکان محاسبه شاخص برداشت را دارد، اما برای حذف اختلافات بین تخمین‌ها که ناشی از شاخص برداشت غیرمشترک به وجود می‌آید، از شاخص برداشت پایه به‌عنوان شاخص برداشت مشترک استفاده شد. همچنین این مدل امکان اجرا بر اساس GDD (Growth Degree Day) و DAP (Day After Planting) را دارد که در پژوهش حاضر از حالت GDD استفاده شد.

اعتبارسنجی مدل‌ها

مهم‌ترین مرحله در سنجش کارایی یک مدل، اعتبارسنجی نتایج آن مدل نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده مستقل که در مرحله واسنجی استفاده نشده‌اند، می‌باشد. برای این منظور از میانگین عملکرد و بیوماس حداکثر محصولات مورد مطالعه در منطقه در سه سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳، ۱۳۹۲-۱۳۹۱ و ۱۳۹۱-۱۳۹۰ استفاده شد. با توجه به تخمین عملکرد پتانسیل و بیوماس پتانسیل توسط هر دو مدل، استفاده از عملکرد و بیوماس حداکثر محصولات، دقت در مقایسه بین مدل‌ها را افزایش خواهد داد؛ زیرا تولید حداکثر مناسب‌ترین و نزدیک‌ترین نماینده‌ی تولید پتانسیل می‌باشد. همچنین با توجه به این نکته

که تولید حداکثر هر محصول در منطقه در سال‌های مختلف با توجه به اقلیم نوسان دارد، استفاده از میانگین تولید حداکثر در سه سال زراعی شاخص مناسب‌تری جهت مقایسه خواهد بود (Kobayashi and Salam, 2000). برای ارزیابی بین تخمین‌های هر محصول و مشاهدات مربوطه، از مؤلفه‌های آماری ضریب تبیین R^2 و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده $NRMSE$ استفاده شد. $RMSE$ نرمال شده همان $RMSE$ است که با استفاده از میانگین مشاهدات به صورت درصد بیان می‌شود. در رابطه (۱۲) P_i نمایانگر تخمین‌ها، O_i نشان‌دهنده مشاهدات، n معرف تعداد تخمین و مشاهده و M میانگین مشاهدات می‌باشد. اگر درصد این معیار بین ۰ تا ۱۰ باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰، خوب، ۲۰ تا ۳۰، قابل قبول و بیشتر از ۳۰، ضعیف خواهد بود (Jamieson et al., 1991).

$$NRMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \times \frac{100}{M} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

از آماره شاخص توافق (d) یا Index of Agreement نیز استفاده شد. هرچه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد مؤید دقت بالاتر مدل می‌باشد. در رابطه (۱۳) P'_i معرف مقدار تخمین منهای متوسط مشاهدات و O'_i مشخص‌کننده مقدار مشاهده منهای متوسط مشاهدات می‌باشد (Willmott et al., 1985).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right] \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

نتایج و بحث

پس از واسنجی مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید با استفاده از داده‌های گیاهی در دو سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ و داده‌های اقلیمی منطقه، مقادیر مورد نیاز برای محاسبه عملکرد پتانسیل شش محصول عمده زراعی در دشت مغان محاسبه شد. این مقادیر و روش تعیین آن‌ها در جدول (۱) آمده است.

همچنین با استفاده از داده‌های گیاهی در دو سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ و داده‌های اقلیمی منطقه مقادیر مؤلفه‌های قابل تغییر در مدل AquaCrop و روش تعیین آن‌ها در جدول (۲) آمده است. در این مدل امکان استفاده از داده‌های اقلیمی روزانه فراهم است درحالی‌که بسیاری از ضرایب در مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید به صورت ماهیانه محاسبه شده است. استفاده از داده‌های روزانه موجب بالا رفتن دقت تخمین مدل خواهد شد. (Schuol and Abbaspour, 2007). در مقابل تنظیمات و واسنجی مدل AquaCrop برای محصولات مختلف در یک منطقه نیز به داده‌های گیاهی بسیاری نیازمند است. هرچه دقت داده‌های مذکور بالاتر باشد شبیه‌سازی مقدار عملکرد پتانسیل نیز دقیق‌تر خواهد بود.

در جدول (۳) مقادیر بیوماس و عملکرد پتانسیل شش محصول منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل AquaCrop محاسبه شده است. در این جدول میانگین عملکرد حداکثر محصولات مورد مطالعه در منطقه در سه سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲، ۱۳۹۲-۱۳۹۱ و ۱۳۹۱-۱۳۹۰ و شاخص برداشت پایه که در هر دو روش استفاده قرار گرفت نیز آمده است.

جدول ۱. ضرایب محاسبه شده برای مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید در شش محصول راهبردی منطقه

سویا	ذرت	پنبه	چغندر قند	جو	گندم	روش تعیین	ضرایب مدل پتانسیل حرارتی-تابشی تولید
۳۹	۶۵	۳۸	۲۰	۱۸	۱۹	محاسبات	Pm: حداکثر میزان فتوسنتز برگ ($\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1}\text{h}^{-1}$)
۲۳/۴	۲۳/۰۸	۲۱/۶۲	۱۲/۵۳	۹/۷۲	۱۰/۱۲	محاسبات	bc _{39.4} : حداکثر تولید بیوماس در هوای صاف ($\text{kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$)
۲۲۵/۴	۲۴۲/۴	۲۱۷/۸	۱۶۰/۴	۱۵۷/۷	۱۵۷/۵	محاسبات	bo _{39.4} : حداکثر تولید بیوماس در هوای ابری ($\text{kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$)
۰/۴۰۳	۰/۴۰۷	۰/۴۰۷	۰/۵۱۹	۰/۵۶۷	۰/۵۶۵	محاسبات	f: نسبت روزهایی که هوا ابری است
۰/۵۹۷	۰/۵۹۳	۰/۵۹۳	۰/۴۸۱	۰/۴۳۲	۰/۴۳۵	محاسبات	(1-f): نسبت روزهایی که هوا صاف است
۰/۰۱۸	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۵۹۷	۰/۰۰۲۴۳	۰/۰۰۱۷۰	۰/۰۰۱۷۹	محاسبات	C _t : ضریب تنفس
۱۵۴	۱۷۰	۱۸۰	۲۸۰	۲۲۰	۲۴۰	واسنجی	L: تعداد روز تا رسیدن محصول
۰/۷	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۸	واسنجی	KLAI: فاکتور تصحیح برای LAI کمتر از $5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$
۴۸۹	۷۲۵/۱	۴۶۰/۲	۲۶۳	۱۹۰/۶	۲۰۹	محاسبات	Bgm: حداکثر میزان تولید خالص بیوماس
۱۸۹۷۷	۴۲۱۵۹	۲۷۴۳۹	۱۰۰۷۰۰	۱۴۶۴۵	۱۷۶۹۶	محاسبات	Bn: میزان تولید خالص بیوماس (kg ha^{-1})
۷۶۰۰	۲۰۰۰۰	۹۶۰۰	۷۰۵۰۰	۶۶۰۰	۸۵۰۰	محاسبات	Y _{potential} : عملکرد پتانسیل (kg ha^{-1})

جدول ۲. مؤلفه‌های استفاده شده در مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی تولید محصولات در منطقه مورد مطالعه

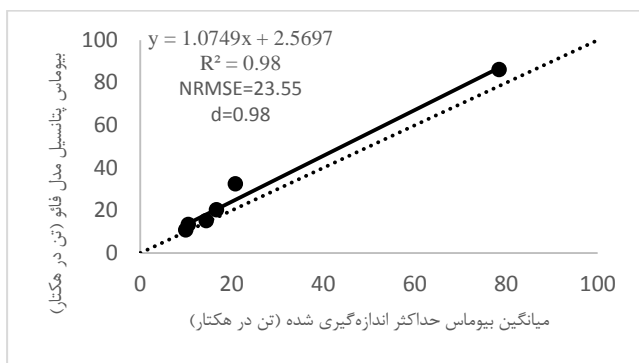
مؤلفه‌های گیاهی	گندم	جو	چغندر قند	پنبه	ذرت	سویا	واحد	روش تعیین
مؤلفه‌های رشد								
دمای پایه (T_{base})	۰	۰	۵	۱۲	۸	۵	C^0	پیش فرض
دمای حداکثر ($T_{\text{cut-off}}$)	۲۶	۱۵	۳۰	۳۵	۳۰	۳۰	C^0	پیش فرض
بهره‌وری آب نرمال شده برای اقلیم و CO_2	۱۵	۱۵	۱۷	۱۵	۳۳/۷	۱۵	gr/m^2	پیش فرض
آستانه بالای تخلیه رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱۴	۰/۱۵	-	پیش فرض
P_{upper}								
آستانه پایین تخلیه رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی	۰/۶۵	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۰/۷۲	۰/۶۵	-	پیش فرض
P_{lower}								
مؤلفه‌های مورفولوژیک								
پوشش کانوپی اولیه در زمان تکمیل 90% سبز شدن	۶/۷۵	۶	۰/۱	۰/۷۲	۰/۴۹	۰/۱	%	تخمین
ضریب رشد پوشش گیاهی CGC	۳/۹	۳/۷	۵/۱	۷/۸	۱۲/۷	۱۳/۶	%day	واسنجی
حداکثر کانوپی گیاهی CC_x	۹۰	۹۵	۹۶	۹۵	۹۰	۸۰	%	واسنجی
ضریب کاهش کانوپی CCD	۰/۳۸۶	۰/۶	۰/۳۸	۰/۲۴۷	۰/۵۶۷	۰/۱۵	%GDD	واسنجی
حداکثر عمق مؤثر ریشه	۱۵۰	۱۳۰	۱۰۰	۲۰۰	۲۳۰	۲۰۰	Cm	پیش فرض
مؤلفه‌های فنولوژیک								
زمان از کاشت تا سبز شدن	۱۵۰	۹۸	۵۰	۳۶	۹۶	۲۰۰	GDD	واسنجی
زمان از کاشت تا حداکثر کانوپی	۱۲۰۳	۱۰۰۳	۹۱۹	۱۲۴۲	۹۰۱	۱۵۲۲	GDD	واسنجی
طول دوره گلدهی	۲۱۷	۲۰۱	-	۷۶۲	۳۱۴	۶۰۰	GDD	واسنجی
زمان از کاشت تا شروع پیری	۱۷۰۴	۱۵۱۷	۱۷۱۹	۱۴۱۹	۱۶۶۴	۲۲۰۰	GDD	واسنجی
زمان از کاشت تا بلوغ فیزیولوژیکی	۲۴۱۴	۱۸۰۵	۲۰۵۴	۱۹۱۸	۲۱۶۵	۲۷۰۰	GDD	واسنجی

جدول ۳. تخمین بیوماس و عملکرد پتانسیل با استفاده از مدل AquaCrop و میانگین عملکرد حداکثر در منطقه مورد مطالعه

میانگین عملکرد حداکثر	عملکرد پتانسیل	شاخص برداشت پایه	بیوماس پتانسیل	محصول
۸۰۰۰	۹۷۰۰	۰/۴۸	۲۰۲۰۰	گندم
۶۵۰۰	۶۸۰۰	۰/۴۵	۱۵۱۵۰	جو
۵۵۰۰۰	۶۰۲۰۰	۰/۷	۸۶۰۰۰	چغندر قند
۳۷۰۰	۴۶۵۰	۰/۳۵	۱۳۳۰۰	پنبه
۱۰۰۰۰	۱۵۵۵۰	۰/۴۸	۳۲۴۰۰	ذرت
۴۰۰۰	۴۳۰۰	۰/۴	۱۰۷۰۰	سویا

مدل فائو

مقادیر محاسبه شده ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص تطابق در مقایسه بیوماس پتانسیل برای مدل فائو به ترتیب ۵۸/۱۰ و ۰/۹۳ و برای مدل AquaCrop به ترتیب ۲۳/۵۵ و ۰/۹۸، محاسبه شد. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مدل فائو، بیشتر از ۳۰ و ضعیف و برای مدل AquaCrop بین ۲۰ تا ۳۰ که قابل قبول می باشد.

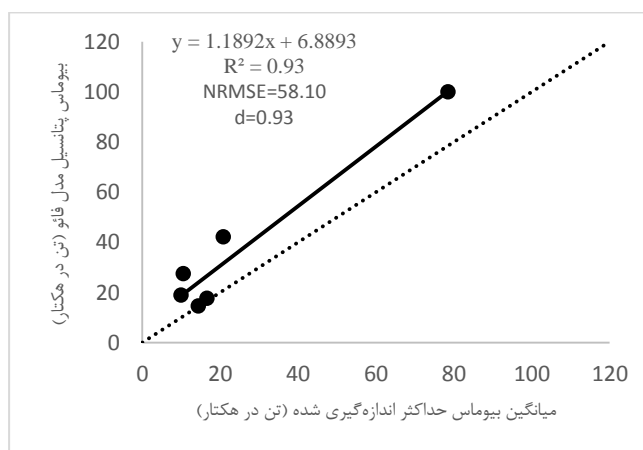


شکل ۶. رابطه رگرسیونی بین بیوماس حداکثر و تخمین متناظر با آن در مدل AquaCrop

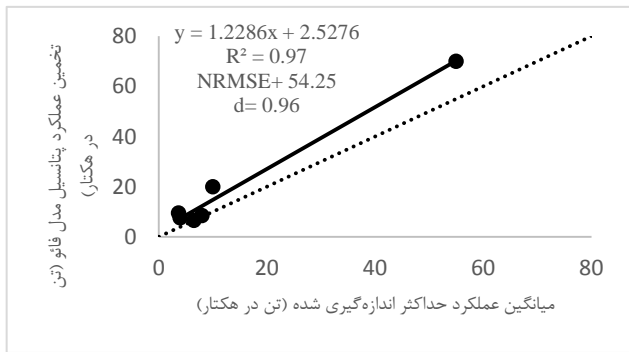
عملکرد پتانسیل محاسباتی هر مدل نیز با عملکرد حداکثر سه سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳، ۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۱-۱۳۹۰ مقایسه گردید. ضریب تبیین بین مشاهدات و تخمینها اولین مؤلفه برای مقایسه دو مدل بود. در شکل (۷ و ۸) مقایسه مدل AquaCrop با ضریب تبیین ۰/۹۹ نسبت به روش فائو با ضریب تبیین ۰/۹۷، دقت بالاتری را در تخمین عملکرد پتانسیل نشان داد. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در تخمین عملکرد پتانسیل برای مدل AquaCrop و مدل فائو به ترتیب ۲۱/۷۲ و ۵۴/۲۵ و شاخص تطابق برای مدل AquaCrop و مدل فائو به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۶ محاسبه شد. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مدل AquaCrop بین ۲۰ تا ۳۰، است. این آماره نمایانگر دقت قابل قبول تخمینها با استفاده از این

برای مقایسه دقت دو روش تخمین پتانسیل عملکرد، تخمینهای هر دو مدل نسبت به مشاهدات موجود از میانگین عملکرد و بیوماس حداکثر محصولات مورد مطالعه در منطقه در سه سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳، ۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۱-۱۳۹۰ ارزیابی شد. برای این منظور بین تخمینهای عملکرد پتانسیل و بیوماس پتانسیل هر مدل با میانگین عملکرد و بیوماس حداکثر سه سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳، ۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۱-۱۳۹۰ محصولات مورد مطالعه در منطقه رگرسیون گرفته شد. از آنجا که عملکرد پتانسیل نمایانگر بالاترین تولید ممکن یک محصول در یک اقلیم مشخص می باشد، برای مقایسه روشهای مختلف تخمین آن، از میانگین بیوماس و عملکرد حداکثر هر محصول به عنوان بهترین مشاهدات ممکن از تولید هر محصول در منطقه استفاده شد.

در شکل (۵ و ۶) پس از واسنجی مدلها و استخراج خروجی هر مدل، رگرسیون بین بیوماس حداکثر هر محصول در منطقه و تخمین متناظر با آن برای هر مدل انجام شد. ضریب تبیین بین مشاهدات و تخمینها در مدل AquaCrop ۰/۹۸ و روش فائو با ضریب تبیین ۰/۹۳ بود.



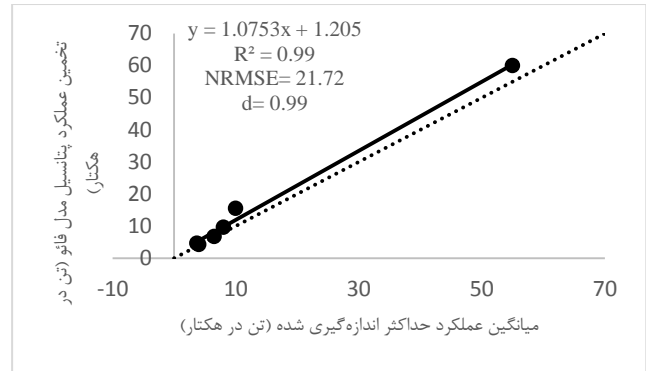
شکل ۵. رابطه رگرسیونی بین بیوماس حداکثر و تخمین متناظر با آن در



شکل ۸. رابطه رگرسیونی بین میانگین عملکرد حداکثر و تخمین عملکرد پتانسیل با استفاده از مدل فائو

همچنین نرمال کردن کارایی مصرف آب به تبخیر و تعرق پایه بهتر از نرمال کردن آن به کسر فشار بخار می‌باشد؛ زیرا رابطه پنمن مونتس (Penman-Monteith equation) تفاوت دمایی بین دمای هوا و سطح تبخیر را در نظر می‌گیرد. لذا امکان برآورد دقیق‌تری از عملکرد پتانسیل با استفاده از مدل AquaCrop فراهم است (Steduto *et al.*, 2007). در مقایسه بین تخمین‌های دو مدل مشخص شد، عمده‌ترین اختلاف بین تخمین‌های دو مدل در محصولات بهاره پنبه، ذرت و سویا می‌باشد؛ زیرا محصولات پاییزه گندم، جو و چغندر قند با تشابه بالایی تخمین زده شده بود. در حقیقت مدل AquaCrop تخمین عملکرد گندم را نسبت به روش فائو 1200 kg h^{-1} بیشتر، برای جو 200 kg h^{-1} بیشتر و برای چغندر قند 10000 kg h^{-1} کمتر پیش‌بینی کرده بود؛ اما در محصولات بهاره به ترتیب برای محصول پنبه 5000 kg h^{-1} کمتر، ذرت 4500 kg h^{-1} کمتر و سویا 3300 kg h^{-1} کمتر تخمین زده شده بود. مقدار کم اختلاف تخمین‌ها بین دو مدل در محصولات پاییزه به علت کمتر بودن تبخیر و تعرق در بیشتر دوره رشد این محصولات است (Torriani *et al.*, 2007)؛ زیرا همان‌طور که در روابط (۷) تا (۱۰) آورده شد، مدل AquaCrop اثر تبخیر و تعرق محیط را در تولید بیوماس در نظر می‌گیرد. در حالی که مدل فائو این مؤلفه را در نظر نمی‌گیرد. لذا در فصول رشدی که تبخیر و تعرق کمتر می‌باشد، این اختلاف کوچک‌تر خواهد بود و تخمین‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر است. در حالی که در فصول رشد بهار و تابستان که عامل تبخیر و تعرق شدیدتر می‌باشد، اختلاف بین تخمین‌های دو مدل هم زیادتر است. البته باید توجه داشت که بخشی از اختلاف بین دو تخمین در محصول بهاره پنبه ناشی از واسنجی مدل AquaCrop برای رقم بومی منطقه می‌باشد. در صورتی که این بومی‌سازی صورت نمی‌گرفت اختلاف

مدل می‌باشد. در مقابل ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مدل فائو بالاتر از ۳۰ بوده و غیرقابل قبول می‌باشد. همچنین شاخص تطابق برای مدل AquaCrop نسبت به مدل فائو به عدد یک نزدیک‌تر است.



شکل ۷. رابطه رگرسیونی بین میانگین عملکرد حداکثر و تخمین عملکرد پتانسیل با استفاده از مدل AquaCrop

با در نظر گرفتن آماره‌های مختلفی که محاسبه شد، مشخص شد مدل AquaCrop برای تخمین عملکرد در منطقه مورد مطالعه کارایی بهتری دارد؛ زیرا ضریب تبیین که نشان‌دهنده نسبت پراکندگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد هم برای بیوماس پتانسیل و هم برای عملکرد پتانسیل به ۱ نزدیک‌تر بود. این دقت بالاتر در آماره ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص تطابق نیز مشاهده شد. همچنین مشخص شد ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مؤلفه بسیار مناسبی برای مقایسه دو مدل می‌باشد؛ زیرا دو مؤلفه ضریب تبیین و شاخص تطابق به‌طور مشخص امکان قضاوت بین دو مدل را فراهم نمودند. در حالی که مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده به‌خوبی کارایی بهتر AquaCrop مدل را نشان داد. نتیجه‌ای مشابه با همین نتیجه در مقایسه بین سه مدل AquaCrop، CropSyst و WOFOST نیز در شبیه‌سازی رشد و تخمین عملکرد آفتابگردان حاصل شده است. همچنین بر اساس این مطالعه مدل AquaCrop نسبت به دیگر مدل‌ها نیاز به داده کمتر بدون کاهش دقت و همچنین کاربری آسان‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها دارا می‌باشد (Todorovic *et al.*, 2009). به نظر می‌رسد دلیل اصلی تخمین‌های بهتر مدل AquaCrop تسلط بهتر این مدل بر مؤلفه‌های اقلیمی می‌باشد؛ زیرا روش فائو فقط دو عامل دما و تابش را در نظر می‌گیرد؛ اما مدل AquaCrop علاوه بر مؤلفه‌های اقلیمی، مؤلفه‌های گیاهی رشد، مؤلفه‌های مورفولوژیک و مؤلفه‌های فنولوژیک را نیز در نظر می‌گیرد.

نماید (Bhatia et al., 2008). همچنین رسم خط رگرسیونی $Y=X$ در همه نمودارها و قرار گرفتن اکثر نقاط در بالای این خط نشان‌دهنده بیش برآورد مدل‌ها نسبت به مشاهدات می‌باشد. البته از آنجاکه تخمین‌های عملکرد و بیوماس پتانسیل با میانگین حداکثر عملکرد و میانگین حداکثر بیوماس مقایسه شده است، این بیش برآورد، طبیعی و قابل پیش‌بینی بود.

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای محاسبه عملکرد پتانسیل، به دست آوردن اختلاف عملکرد در محصولات مختلف در منطقه می‌باشد. با استفاده از چنین داده‌هایی می‌توان مدیریت کشاورزی محصولات مختلف در یک منطقه را ارزیابی نموده و در نهایت اولویت کشت هر محصول را تبیین کرد. نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد، میانگین سه سال اخیر تولید حداکثر هر محصولات نسبت به تولید پتانسیل به ترتیب گندم ۸۲/۵٪، جو ۹۵/۹۶٪، چغندر پاییزه ۹۱/۶٪ و پنبه ۷۹/۶٪، ذرت ۶۳/۳٪ و سویای بهاره ۹۳٪ بود. مطالعات نشان داده است که اختلاف عملکرد به‌طور عمده مربوط به آب آبیاری در دسترس، تأثیرات بازار و نیروی کار کشاورزی می‌باشد (Neumann et al., 2010).

تخمین بین دو مدل بدین میزان نبود. به بیان دیگر مدل AquaCrop از طریق ضریب پایه گیاهی که از میزان توسعه پوشش کانوبی متأثر است و دیگر مؤلفه‌های مؤثر در واسنجی رقم، توانسته تخمین بهتری ارائه نماید. تخمین عملکرد پتانسیل در دو مدل برای ذرت نیز از اختلاف بالایی برخوردار بود. به نظر می‌رسد دمای بالا در دوره رشد این محصول در منطقه موجب بروز این اختلاف عملکرد شده باشد. مشابه با همین نتیجه نیز در جنوب استان خراسان گزارش شده است (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2012). در واقع مدل Aquacrop توانسته عملکرد پتانسیل ذرت را با استفاده از ضریب تعدیل دمایی محاسبه نماید. در نهایت سویا نیز به‌عنوان آخرین محصول بهاره بررسی شد که اختلاف تخمین 3300 kg h^{-1} بین مدل‌ها را نشان داد. با توجه به حساسیت گیاه سویا به کمبود آب در فصل رشد و اثر دمای بالا در تحریک تبخیر و تعرق در فصل رشد سویا، این اختلاف در تخمین عملکرد پتانسیل قابل توجیه است. در حقیقت مدل AquaCrop توانسته این حساسیت محصول را به دماهای بالا در طول فصل رشد از طریق تأثیر ضریب تنش آبی در تبخیر تعرق پایه نشان دهد و عملکرد پتانسیل را تعدیل

جدول ۴. عملکرد پتانسیل مدل AquaCrop، میانگین عملکرد حداکثر، نسبت عملکرد پتانسیل محاسباتی به میانگین عملکرد حداکثر و کسر اختلاف عملکرد

محصول	عملکرد پتانسیل (Kgh^{-1})	میانگین عملکرد حداکثر (Kgh^{-1})	اختلاف عملکرد	میانگین عملکرد حداکثر به پتانسیل	کسر اختلاف عملکرد
گندم	۹۷۰۰	۸۰۰۰	۱۷۰۰	۰/۸۲	۰/۱۸
جو	۶۸۰۰	۶۵۰۰	۳۰۰	۰/۹۶	۰/۰۴
چغندر قند	۶۰۰۰۰	۵۵۰۰۰	۵۰۰۰	۰/۹۲	۰/۰۸
پنبه	۴۶۵۰	۳۷۰۰	۹۵۰	۰/۸۰	۰/۲۰
ذرت	۱۵۵۵۰	۱۰۰۰۰	۵۵۵۰	۰/۶۴	۰/۳۶
سویا	۴۳۰۰	۴۰۰۰	۳۰۰	۰/۹۳	۰/۰۷

آب و تغذیه گیاهی و معرفی ارقام مناسب از دلایل کاهش اختلاف عملکرد این محصولات در جهان ذکر شده است (Mueller et al., 2012). جو پاییزه، سویا بهاره و چغندر قند پاییزه کمترین کسر اختلاف عملکرد را نشان دادند. البته باید توجه داشت که در صورت وجود آب کافی امکان کشت بهاره چغندر از عملکرد بسیار بالاتری برخوردار می‌باشد. محصول بهاره این گیاه تا دو برابر کشت پاییزه عملکرد خواهد داشت. همچنین امکان کشت محصول جو در نواحی دیگر کشور و حتی به‌صورت دیم نیز به‌خوبی فراهم است. لذا سویا به‌عنوان یک دانه روغنی راهبردی با عنایت به کسر اختلاف عملکرد و انگیزه‌های اقتصادی کشاورزان بالاترین اولویت کشت در منطقه را دارا می‌باشد.

هرچه کسر اختلاف عملکرد در یک محصول به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تطابق بهتر محصول با اقلیم منطقه و مدیریت بهتر کشاورزان در تولید زراعی آن محصول می‌باشد (Licker et al., 2010). کسر اختلاف عملکرد از رابطه (۱۴) به دست می‌آید. در رابطه (۱۴) کسر اختلاف عملکرد F ، Y_{actual} عملکرد واقعی و $Y_{potential}$ عملکرد پتانسیل می‌باشد.

(رابطه ۱۴) $F = 1 - (Y_{actual}/Y_{potential})$

رتبه‌بندی کمترین کسر اختلاف عملکرد محصولات در دشت مغان به ترتیب جو، سویا، چغندر قند، گندم، پنبه و ذرت محاسبه شد. با توجه به نتایج جدول (۳) ذرت بیشترین اختلاف عملکرد را در منطقه نشان داد. در مقابل گندم و خصوصاً جو از عملکرد خوبی در منطقه برخوردار می‌باشند. مدیریت مناسب

AquaCrop و مدل‌های اقتصادی اقدام به تعیین ترکیب کشت مناسب این منطقه نمود. به نظر می‌رسد می‌توان از رتبه‌بندی محصولات بر اساس عملکرد پتانسیل به دست آمده توسط این مدل به‌عنوان یک ضریب اکولوژیکی در تخصیص زمین به محصولات مختلف در الگوی کشت منطقه استفاده نمود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج، مدل AquaCrop نسبت به مدل فائو از عملکرد بهتری برخوردار بود. خصوصاً اینکه کاربرد این مدل نسبت به مدل فائو محاسبات کمتر اما نیاز به واسنجی مؤلفه‌های بیشتری دارد. همچنین می‌توان از تلفیق نتایج حاصل از مدل

REFERENCES

- Alishiri, R., Paknejad, F., & Aghayari, F. (2014). Simulation of sugarbeet growth under different water regimes and nitrogen levels by aquacrop. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 4(4), 1-9.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, 300(9), 05109.
- Ashraf, S., Ashraf, V., & Abbaspour, H. (2011). Assessment of land production potential for barley using geographic information system (GIS) method. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(12), 1775-1777.
- Bagheri Bodaghabadi, M., Martínez-Casasnovas, J. A., Khakili, P., Masihabadi, M. H., & Gandomkar, A. (2015). Assessment of the FAO traditional land evaluation methods, A case study: Iranian Land Classification method. *Soil Use and Management*, 31(3), 384-396.
- Bhatia, V. S., Singh, P., Wani, S. P., Chauhan, G. S., Rao, A. K., Mishra, A. K., & Srinivas, K. (2008). Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. *agricultural and forest meteorology*, 148(8), 1252-1265.
- Chandra, A. C., & Lontoh, L. A. (2010). Regional food security and trade policy in Southeast Asia: The role of ASEAN. Manitoba: International Institute for Sustainable Development.
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., & Martínez, J. (2013). AquaCrop model calibration in potato and its use to estimate yield variability under field conditions. *Atmospheric and Climate Sciences*, 3, 397-407
- Diepen, C. V., Wolf, J., Keulen, H. V., & Rappoldt, C. (1989). WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil use and management*, 5(1), 16-24.
- Etedali, s., givi, j., & nouri, m. (2012). Comparison between land production potential prediction for maize, using fao and wageningen models and assessment of management level for its cultivation around shahrekord city. *Journal of water and soil*, 26(4), 837-885
- Evans, L. T., & Fischer, R. A. (1999). Yield potential: its definition, measurement, and significance. *Crop Science*, 39(6), 1544-1551.
- Ghanbbari, A., & Tavassoli, A. (2013). Simulation of Wheat Yield Using AquaCrop Model in Shirvan Region. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(6), 342.
- Heng, L. K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T., & Steduto, P. (2009). Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*, 101(3), 488-498.
- Jamieson, P. D., Porter, J. R., & Wilson, D. R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field crops research*, 27(4), 337-350.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., ... & Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3), 235-265.
- Kobayashi, K., & Salam, M. U. (2000). Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal*, 92(2), 345-352.
- Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2012). Quantifying yield potential and yield gap for corn (*Zea mays* L.) in the Northeast Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4.
- Licker, R., Johnston, M., Foley, J. A., Barford, C., Kucharik, C. J., Monfreda, C., & Ramankutty, N. (2010). Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the 'yield gap' of croplands around the world?. *Global ecology and biogeography*, 19(6), 769-782.
- Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 179.
- Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419), 254-257.
- Neumann, K., Verburg, P. H., Stehfest, E., & Müller, C. (2010). The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural systems*, 103(5), 316-326.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2009). AquaCrop Reference Manual. FAO. *Land and Water Division, Rome, Italy*.
- Sadras, V. O. (2004). Yield and water-use efficiency of water-and nitrogen-stressed wheat crops increase with degree of co-limitation. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 455-464.
- Schuol, J., & Abbaspour, K. C. (2007). Using monthly weather statistics to generate daily data in a SWAT model application to West Africa. *Ecological Modelling*, 201(3), 301-311.
- Seyedjalali, s. (2004). Modelling of land production

- potential for irrigated cotton in qom masileh, qom province. *The fourth international iran & russia conference*, 642-647
- Sohrabi, a., & chegini, m. (2011). Evaluation of land suitability and radiation-thermal production potential of sugar beet by fao method in the fields of department of agriculture of lorestan, iran and its comparison with silakhoor plain. *Journal of Sugar beet*, 2(27), 185196
- Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2007). On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*, 25(3), 189-207.
- Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J., & Beernaert, F. (1985). *Land evaluation*. State University of Ghent, International Training Centre for post-graduate soil scientists.
- Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J., & Beernaert, F. (1993). Land evaluation part III, crop requirements. *Agricultural publication*, (7).
- Taati, A., Sarmadian, F., Mousavi, A., & Rahmani, A. (2015). Agro-ecological zoning for cultivation of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) using RS and GIS. *Scientia*, 9(2), 93-100.
- Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Saab, M. T. A., Stöckle, C., & Steduto, P. (2009). Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*, 101(3), 509-521.
- Torriani, D., Calanca, P. L., Schmid, S., Beniston, M., & Fuhrer, J. (2007). Potential effects of changes in mean climate and climate variability on the yield of winter and spring crops in Switzerland. *Climate Research*, 34, 59-69.
- Ye, L., & Ranst, E. V. (2002). Population carrying capacity and sustainable agricultural use of land resources in Caoxian County (North China). *Journal of Sustainable Agriculture*, 19(4), 75-94.