مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۷ / شماره ۲۸/ پاییز ۱۳۸۵

آزمون و اصلاح مدل MEDIWY برای شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم و آبی در منطقه مراغه*

علیرضا سپاس‌خواه، فیاض آقایاری و علیرضا توکلی**

* برگرفته از طرح تحقیقاتی با عنوان: «بررسی عکس‌العمل گندم دیم نسبت به سطوح مختلف آبیاری تکمیلی و نیتروژن»

** به ترتیب استاد و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، نشانی: دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، بخش آبیاری، تلفن: ۲۲۸۶۲۲۶(۰۷۱۱)، و عضو هیئت علمی مرکز مطالعات دیم مراغه

تاریخ دریافت مقاله: ۸٤/۸/۸ ؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/۲/۱٦

چکیده

با توجه به ضرورت‌های موجود، در سال‌های اخیر مدل‌های فراوانی بسط و توسعه‌یافته است که با استفاده از آنها می‌توان میزان عملکرد محصول را پیش‌بینی کرد. یکی از این مدل‌ها، مدل MEDIWY (Model for Estimation of Dryland and Irrigated Wheat Yield) است که برای گندم زمستانهٔ رقم عدل در شرایط آبی و دیم و در شرایط آب و هوایی منطقهٔ باجگاه در بخش آبیاری دانشگاه شیراز ارائه شده است. کاربرد گسترده‌تر آن برای ارقام دیگر و در شرایط متفاوت آب و هوایی نیاز به آزمون دارد. در پژوهش حاضر آزمون و اصلاح مدل MEDIWY برای گندم زمستانهٔ رقم سبلان که دو منظوره (دیم و آبی) است در منطقهٔ مراغه (استان آذربایجان شرقی) در سال‌های ۸۱-۷۹ انجام شد. با مقایسهٔ آماری بین مقادیر محصول دانه برآورد شده و مقادیر مشاهده‌ای مشخص شد که مدل MEDIWY نتایج رضایت بخشی برای تیمارهای آبی نشان می‌دهد ولی نمی‌تواند نتایج قابل قبولی برای تیمارهای دیم رقم سبلان که رقمی دو منظوره است در منطقهٔ مراغه نشان دهد. بنابراین، با افزایش ضریب آب سهل‌الوصول خاک از ۰/٦۵ به ۰/۹۰، مدل برای تیمارهای دیم اصلاح شد. بدین ترتیب مدل MEDIWY اصلاح شده توانست مقادیر قابل قبولی از محصول دانه، برای تیمار دیم را برآورد کند. همچنین مدل MEDIWY برای مواقعی که میزان بارش (بهاره و تابستانه تا زمان برداشت) بیش از حد معینی باشد احتمالاً به دلیل احتمال بروز بیماری‌های گیاهی مانند زنگ گندم جواب رضایت بخشی از خود نشان نداد. مقدار این حد آستانه ۱٤۰ میلی‌متر شناخته شد و مدل برای این منظور نیز اصلاح گردید. بدین‌ترتیب، مدل اصلاح شده توانست برای گندم آبی و دیم سبلان در منطقهٔ مراغه حتی در سال‌هایی که بروز بیماری احتمالاً باعث کاهش عملکرد می‌شود پیش‌بینی خوبی از میزان محصول ارائه کند. مدل MEDIWY اصلاح شده با استفاده از اطلاعات مربوط به رقم الموت ارزیابی شد و به طور کلی جواب رضایت بخشی نیز برای این رقم نشان داد.

واژه‌های کلیدی

تخمین عملکرد دانه، گندم آبی، مدل MEDIWY، منطقهٔ مراغه

مقدمه

یکی از عوامل مهم برای امنیت غذایی جمعیت دارای رشد روز افزون، افزایش تولیدات زراعی است. دو منبع مهم تولید محصولات زراعی، آب و خاک است. نقش آب در تولیدات محصولات زراعی بسیار پیچیده است و با توجه به تداخل آن با دیگرعوامل مؤثر در رشد، به سادگی به صورت کمّی قابل بیان نیست. با رشد امکانات رایانه‌ای، محققان توانسته‌اند پدیده‌ای را، با شبیه سازی فرایندهای مؤثر بر آن، پیش‌بینی و تحلیل کنند. این شبیه‌سازی‌ها در تمام شاخه‌های علوم تجربی وارد شده است. در کشاورزی نیز مدل‌های

زیادی برای پیش‌بینی عملکرد محصول با توجه به عوامل مؤثر بر آن ارائه شده است. از اهم این عوامل می‌توان به تبخیر- تعرق، بارندگی، و دما اشاره کرد. با علم به چگونگی اثر تبخیر- تعرق و آب خاک برعملکرد محصول می‌توان طراحی و مدیریت آبیاری را بهینه، توسعهٔ آبیاری را از نظر اقتصادی و زراعی ارزیابی، و توجیه‌پذیری پروژه‌های آبی را بررسی کرد. همچنین می‌توان سود نسبی حاصل از استفاده آب در زراعت را با سایر موارد مصرف آب مقایسه کرد. توانایی پیش‌بینی اثر آب بر عملکرد در سراسر فصل رشد، امکان برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت کارآمدتر را برای توزیع آب فراهم می‌آورد. همچنین ادارهٔ فرایندهای ذخیره، حمل و نقل، و عرضهٔ محصولات کشاورزی با پیش‌بینی دقیق عملکرد بهبود می‌یابد (Sepaskhah, 1998). اگر مقدار عملکرد قبل از کاشت یا در زمان کاشت مشخص باشد، راهکارهای مدیریتی خیلی قابل انعطاف‌تر خواهد بود. بدیهی است برای گندم که از محصولات مهم کشاورزی است و تأثیر بسزایی در تغذیهٔ مردم دارد، این ضرورت‌ها دو چندان می‌شود به ویژه آن‌که بخش وسیعی از اراضی کشور سالانه تحت کشت گندم دیم قرار می‌گیرد و تغییرات سالانهٔ عوامل جوی نیز بسیار چشمگیر است (Tavakoli, 2002).

از ساده‌ترین مدل‌های ارائه شده جهت شبیه‌سازی بیلان آب خاک و تولید محصول، مدل هنکس (Hanks, 1974) است که با استفاده از معادلات ساده بیلان حجمی، مقدار تبخیر بالقوه، تعرق بالقوه، تعرق واقعی، و فرونشت عمقی محاسبه و در نهایت مقدار محصول نهایی تخمین زده می‌شود. راسموسن و هنکس (Rasmussen & Hanks, 1978) با ایجاد تغییراتی در مدل هنکس (Hanks, 1974) محصول گندم بهاره را شبیه‌سازی کردند. فرشی و همکاران (Farshi *et al.*, 1986) مدل SWLEWW-WTGRO را برای شبیه‌سازی رشد گندم زمستانه در بخش مرکزی و غربی ایران ارائه کردند که شامل مدل بیلان آب خاک SWLEWW و مدل پیش‌بینی مقدار محصول WTGRO است. مدل CRPSM را نیز هیل و همکاران (Hill *et al.*, 1984) پس از ۱۲ سال تحقیق و آزمایش در دانشگاه ایالتی یوتا ارائه دادند.

بر اساس روابط ارائه شده برای شبیه‌سازی مراحل رشد و اثر آب در این مراحل، کردری و گراهام (Cordery & Graham, 1989) یکی از این مدل‌ها را بنا نهادند. این مدل برای گندم زمستانه رقم عدل در شرایط آب و هوایی منطقهٔ باجگاه پس از بازسازی و واسنجی، MEDIWY نامگذاری شد (Ziaei & Sepaskhah, 2003). کاربرد گسترده‌تر آن نیاز به آزمون در شرایط متفاوت آب و هوایی دارد.

بنابراین، هدف نهایی این تحقیق آزمون و اصلاح مدل MEDIWY برای گندم رقم سبلان در شرایط آبی و دیم در منطقه مراغه است.

مواد و روش‌ها

مدل MEDIWY را ضیائی و سپاس‌خواه (Ziaei & Sepaskhah, 2003) به زبان فرترن پاوراستیشن نوشته‌اند. از داده‌های هواشناسی ۳ ساله (۱۳۸۱-۱۳۷۸) برای تخمین عملکرد گندم آبی و دیم در منطقه مراغه استفاده شد (تهیه شده از مرکز مطالعات دیم مراغه) و مقادیر به دست آمده از مدل با مقادیر واقعی که توسط مرکز مطالعات دیم مراغه ارائه شده است (Tavakoli, 2002)، مقایسه شد. در این مدل، برای تعیین آب خاک از معادلات بیلان حجمی ساده آب خاک استفاده شد. بدین معنی که حداکثر آب قابل ذخیره در خاک حد ظرفیت زراعی دانسته شد و لایه سطحی خاک که مشتمل بر ۱۰ سانتی‌متر اولیه خاک می‌باشد تا رطوبت هوا خشک تخلیه می‌گردد. رطوبت در لایه دوم که از انتهای لایه اول تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری را در بر می‌گیرد تا حد نقطه پژمردگی دائم قابل تخلیه شدن می‌باشد.

مدل MEDIWY از دو زیر مدل بیلان آب خاک و عملکرد محصول تشکیل شده است که در زیر به طور مختصر نحوهٔ اجرای این دو زیر مدل تشریح می‌گردد.

- زیر مدل بیلان آب خاک

در زیر مدل بیلان آب خاک عوامل مورد استفاده، بارندگی و قدرت تبخیر پذیری اتمسفر است (Ziaei & Sepaskhah, 2003) که در قالب تبخیر از تشت کلاس الف تجلی یافته است. انرژی موجود برای تبخیر- تعرق، به تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح پوشش گیاهی با استفاده از درجه سایه‌انداز گیاه تفکیک می‌شود؛ این درجه با شاخص سطح برگ LAI بیان می‌گردد. هنگامی که در سطح خاک آب وجود ندارد (بدین معنی که نگهداشت سطحی و لایهٔ سطحی دارای آب قابل تبخیر نیستند)، تبخیری نیز صورت نمی‌گیرد و تنها تعرق باعث کاهش ذخیره آب می‌شود. مقدار تبخیر واقعی از سطح خاک و همچنین تعرق واقعی توسط گیاه به ترتیب بستگی دارد به فراهم بودن آب در لایهٔ سطحی خاک و عمق نفوذ ریشه. البته تعرق واقعی به عمق نفوذ ریشه، تراکم و خاصیت جذب آن نیز وابسته است. خاکی که ریشهٔ گیاه در آن رشد و نمو می‌کند به دو لایه تقسیم می‌شود که در هر یک از آنها تعرق، تبخیر، و زهکشی معمول‌ترین حالت خارج شدن آب از منطقهٔ ریشه است. علاوه بر این دو لایه، مقدار جزئی برگاب و نگهداشت سطحی نیز مد نظر واقع شده است. معادلات مورد استفاده برای تعیین پارامترهای مورد نظر در زیر مدل بیلان آب خاک در زیر به اختصار ارائه می‌گردد.

برای محاسبه شاخص سطح برگ از حاصل ضرب نسبت سطح برگ و ماده سبز بالای سطح زمین استفاده می‌شود (Ziaei & Sepaskhah, 2003).

$$LAI = LAR \times GDM \qquad (۱)$$

که در آن، LAI = نمایه سطح برگ به صورت نسبت؛ LAR = نسبت سطح برگ (بر حسب هکتار بر کیلوگرم)؛ و GDM = مقدار مادهٔ سبز بالای سطح خاک (بر حسب کیلوگرم بر هکتار) است.

برای محاسبهٔ LAR، از روابط جداگانه‌ای برای مرحله قبل از گلدهی و بعد از آن تا مرحلهٔ بلوغ استفاده شده است. رابطهٔ مورد استفاده برای مرحلهٔ قبل از گلدهی به صورت زیر است (Ziaei & Sepaskhah, 2003):

$$LAR = \min.\left(220,\ 238 - 0.846 \times EOS + 0.0009 \times EOS^2\right) \qquad (۲)$$

که در آن، EOS = تبخیر تجمعی از تشت از زمان کاشت (بر حسب میلی‌متر) است.

برای مرحلهٔ گلدهی و پس از آن تا بالغ شدن گیاه از رابطهٔ زیر استفاده شده است (Ziaei & Sepaskhah, 2003):

$$LAR = \max.\left(35, 120 - 0.11 \times EOS\right) \qquad (۳)$$

لازم است یادآوری شود که برای محاسبهٔ GDM از معادلاتی استفاده شده است که تابع مقدار مادهٔ خشک در مراحل مختلف است و در زیر مدل عملکرد ارائه شده است.

جهت برآورد تبخیر بالقوه از سطح خاک و تعرق بالقوهٔ گیاه، معادلات زیر به کار گرفته شده‌اند که شبیه معادلات بلمنز و همکاران (Belmans *et al.*, 1983) و سپاسخواه و ایلام‌پور (Sepaskhah & Ilampour, 1996) است:

$$E_{pot} = E_{pan} \times \exp\left(-0.55 LAI\right) \qquad (۴)$$

$$T_{pot} = E_{pan} \times \left[1 - \exp\left(-0.55 LAI\right)\right] \qquad (۵)$$

در این معادلات، E_{pot} = شدت تبخیر بالقوه از سطح خاک (بر حسب میلی‌متر در روز)؛ E_{pan} = شدت تبخیر از تشت کلاس الف (بر حسب میلی‌متر در روز)؛ LAI = شاخص سطح برگ (بدون بعد)؛ و T_{pot} = شدت تعرق بالقوه (بر حسب میلی‌متر در روز) است.

برای محاسبهٔ تعرق واقعی در این زیر مدل فرض می‌شود زمانی که لایه‌های خاک مرطوب بوده یعنی رطوبت قابل استفاده در خاک بالاتر از حد مشخصی است تعرق بالقوه صورت گرفته و پس از آن به صورت خطی همراه با خشک شدن خاک به صفر نزدیک می‌شود.

$$ASW \geq (1 - MAD)HCL \qquad (۶)$$
$$AT = T_{pot} \qquad \text{اگر}$$

$$ASW < (1 - MAD)HCL \qquad (۷)$$
$$AT = \left(\frac{T_{pot}}{1 - MAD}\right)\left(\frac{ASW}{HCL}\right) \qquad \text{اگر}$$

که در این معادلات، AT = مقدار تعرق واقعی (بر حسب میلی‌متر)؛ ASW = کل آب موجود در خاک (بر حسب میلی‌متر)؛ HCL = کل آب قابل استفاده در لایه‌های خاک (بر حسب میلی‌متر)؛ و MAD = ضریب تخلیه مجاز آب خاک (بدون بعد) است.

در اینجا نکتهٔ حائز اهمیت آن است که حد مقدار رطوبت سهل‌الوصول ثابت نیست و با توجه به شرایط محیطی تغییر می‌کند. برای لحاظ کردن این نکته، MAD برای گندم ۰/۶۵ در نظر گرفته شد که با توجه به تبخیر از تشت تغییراتی به صورت زیر برای آن در نظر گرفته شده است (Ziaei & Sepaskhah, 2003):

$$E_{pan} \geq 10 \qquad (۸)$$
$$MAD = 0.7 \times FMAD \qquad \text{اگر}$$

$$E_{pan} \leq 3.6 \qquad (۹)$$
$$MAD = 1.3 \times FMAD \qquad \text{اگر}$$

$$3.6 < E_{pan} < 10 \qquad (۱۰)$$
$$MAD = FMAD \qquad \text{اگر}$$

که در آنها، $FMAD$ = ضریب حداکثر تخلیه مجاز اولیه یعنی ۰/۶۵ است.

تبخیر واقعی بستگی به رطوبت در لایهٔ سطحی خاک و تبخیرپذیری بالقوه هوا دارد. در مدل مورد بحث این تحقیق از معادله‌ای ساده مشابه معادله‌ای به شرح زیر استفاده شده که آرین در مدل CRPSM به کار برده است (Arian, 1992):

$$E_{act} = E_{pot} \times t^{-0.50} \qquad (۱۱)$$

در این معادله، E_{act} = شدت تبخیر واقعی (بر حسب میلی‌متر در روز)؛ و t = تعداد روزهای سپری شده از آخرین زمان مرطوب شدن خاک است.

برای محاسبهٔ رشد ریشه، از رابطهٔ توانی بین میزان تبخیر ۵ روزه از تشت و میزان رشد عمقی بهره گرفته شد. سرعت رشد ریشه نیز در شرایط مرطوب کمتر از مقدار آن در شرایط خشک در نظر گرفته شده است. رابطهٔ استفاده شده برای رشد ریشه به صورت زیر است:

$$ASW < (1 - MAD)HCL \qquad (۱۲)$$
$$DR(inc.) = 11 \times \frac{EO^{0.5}}{5} \qquad \text{اگر}$$

$$ASW \geq (1 - MAD)HCL \qquad (۱۳)$$
$$DR(inc.) = 9 \times \frac{EO^{0.5}}{5} \qquad \text{اگر}$$

که در آن، EO = تبخیر از تشت (بر حسب میلی‌متر در ۵ روز)؛ و $DR(inc.)$ = گسترش عمودی ریشه (بر حسب میلی‌متر در روز) است.

- زیر مدل عملکرد محصول

زیر مدل عملکرد محصول می‌تواند با استفاده از اطلاعات به دست آمده از زیر مدل بیلان آب، عملکرد مادهٔ خشک و دانهٔ گندم را برآورد کند. از آنجا که قابلیت استفاده از انرژی و آب به عنوان ورودی و خروجی زیر مدل بیلان آب است، فرض می‌شود این دو تنها عواملی هستند که بر میزان عملکرد مؤثرند و بدین ترتیب دیگر متغیرها نظیر مواد غذایی، بیماری‌ها، آفات، و سایر خطرها لحاظ نشده‌اند. مدل دارای زیر مدلی برای تعیین مراحل فنولوژیکی بر اساس تبخیر تجمعی از تشت است و با استفاده از آن، دورهٔ رشد به سه مرحلهٔ کلی قبل از گلدهی، مرحلهٔ گلدهی، و پس از گلدهی تا بلوغ تقسیم شده است (Ziaei & Sepaskhah, 2003). مقدار مادهٔ خشک تا زمان گلدهی که دورهٔ رشد رویشی گیاه است، از حاصل ضرب بازده تعرق و مقدار تعرق روزانه محاسبه می‌شود. بازده تعرق عبارت از مقدار مادهٔ خشک تولید شده به ازای هر میلی‌متر تعرق واقعی است. مادهٔ خشک معمولاً تا انتهای زمان گلدهی و در صورت فراهم بودن آب لازم جهت رشد افزایش می‌یابد و از آن پس شروع به کاهش می‌کند. تعداد دانه در واحد سطح تابعی از مادهٔ خشک در انتهای زمان گلدهی در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از تعداد دانه در صورت دانستن حداکثر اندازهٔ دانه (جرم دانه) می‌توان مقدار محصول بالقوه را به دست آورد.

بنابراین، اگر قبل از گلدهی شرایط برای رشد مناسب نباشد تعداد دانه در واحد سطح کاهش می‌یابد و عملکرد بالقوه کم خواهد شد. در این مدل، فرض بر این است که شرایط پس از گلدهی در تعداد دانه مؤثر نخواهد بود. مقداری از مادهٔ خشک در زمان گلدهی در گیاه ذخیره و پس از گلدهی صرف توسعهٔ دانه می‌شود. پس از گلدهی، ممکن است رشد دانه به حد بالقوه خود نرسد زیرا محدودیت‌های انرژی و آب، یا هر دو، مقدار تعرق را محدود می‌کند. فراهم نبودن انرژی به تنهایی، رشد دانه را محدود نمی‌کند بلکه کم بودن شاخص سطح برگ در اثر کم بودن آب در دسترس قبل از گلدهی، باعث می‌شود که گیاه نتواند به خوبی از انرژی موجود استفاده برد. در زمان بلوغ، عملکرد دانه از حاصل ضرب تعداد دانه در وزن هر دانه به دست می‌آید. روابط استفاده شده در زیر مدل عملکرد محصول، به طور اختصار ارائه می‌شود.

برای محاسبهٔ بازده تعرق از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود (Ziaei & Sepaskhah, 2003) :

$$TE = 102 - 13E + 0.35E^2 \qquad (۱٤)$$

که در آن، TE = بازده تعرق (بر حسب کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر تعرق واقعی)؛ و E = مقدار روزانه تبخیر از تشت (بر حسب میلی‌متر) است.

افزایش روزانه افزایش مادهٔ خشک به صورت زیر محاسبه می‌شود (Ziaei & Sepaskhah, 2003):

$$DM(inc.) = TE \times AT \qquad (۱۵)$$

(اجزای این معادله قبلاً تعریف شده‌اند.)

وزن مادهٔ سبز بالای سطح زمین با استفاده از معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود (Ziaei & Sepaskhah, 2003):

$$GDM = 0.8DM - SEN \qquad (۱٦)$$

که در آن، DM = کل مادهٔ خشک در هر زمان (بر حسب کیلوگرم در هکتار)؛ و SEN = کاهش مقدار مادهٔ سبز بالای سطح زمین ناشی از کهولت و ریزش برگ‌ها (بر حسب کیلوگرم در هکتار) است.

برای محاسبهٔ تعداد دانه از رابطهٔ زیر استفاده شده است (Ziaei & Sepaskhah, 2003):

$$GN = \min.(-910 + 2.15 \times DMA,\ 3480 + 1.01 \times DMA) \quad (۱۷)$$

که در آن، GN = تعداد دانه در واحد سطح (بر حسب متر مربع)؛ و DMA = مقدار مادهٔ خشک در پایان زمان گلدهی (بر حسب کیلوگرم بر هکتار) است.

- اجزای مدل

مدل مذکور از واحدهای مجزا تشکیل شده و مشتمل بر یک برنامهٔ اصلی و ۹ زیر برنامه است. زیربرنامه‌ها به ترتیب فراخوانی در مدل عبارت‌اند از:

۱- زیر برنامهٔ مقادیرثابت،
۲- زیر برنامهٔ محاسبه تبخیر- تعرق،
۳- زیر برنامهٔ محاسبه شاخص تنش،
٤- زیر برنامهٔ بیلان آب خاک،
۵- زیر برنامهٔ تعیین تاریخ کاشت،
٦- زیر برنامهٔ محاسبه تبخیر از سطح خاک،
۷- زیر برنامهٔ مراحل فنولوژیکی،
۸- زیر برنامهٔ برآورد محصول،
۹- زیر برنامهٔ محاسبه پارامترهای آماری

به طور کلی، مدل ابتدا بخشی از داده‌های ورودی را به صورت پرسشی از صفحهٔ کلید و بخشی دیگر را که مقادیری ثابت هستند، از زیر برنامهٔ مقادیر ثابت دریافت می‌کند. داده‌های ورودی که به صورت پرسشی از طریق صفحه کلید وارد مدل می‌شود عبارت‌اند از:

تاریخ کاشت (روز از ابتدای مهر)، ضخامت لایهٔ اول، ضخامت لایهٔ دوم، ظرفیت زراعی لایهٔ اول، ظرفیت زراعی لایهٔ دوم، نقطهٔ پژمردگی دائم در لایهٔ اول، نقطهٔ پژمردگی دائم در لایهٔ دوم، مقدار رطوبت در تاریخ کاشت در لایهٔ اول، مقدار رطوبت در تاریخ کاشت در لایهٔ دوم، شرایط آبیاری (دیم یا آبی)، ضریب رواناب، ظرفیت نگهداشت سطحی.

یادآوری می‌شود که اگر تاریخ کاشت معلوم نباشد و وارد مدل نشود، تاریخ کاشت را زیر برنامهٔ تعیین تاریخ کاشت در مدل تخمین می‌زند.

پس از آن، مدل با توجه به مقدار بارندگی روزانه، مقدار آب خاک را از طریق زیر برنامهٔ بیلان آب خاک محاسبه می‌کند و سپس زیر برنامهٔ تعیین روز کاشت برای شرایطی که روز کاشت نامشخص باشد تخمینی از روز کاشت را ارائه می‌دهد. در حین تعیین روز کاشت، مقدار تبخیر از سطح خاک توسط زیر برنامه تبخیر از سطح خاک تعیین می‌شود. پس از تعیین روز کاشت، رشد فیزیولوژیکی گیاه شروع و با توجه به مقدار تبخیر تجمعی از تشت، مراحل مختلف رشد به کمک زیر برنامهٔ مراحل فنولوژیکی مشخص می‌شود. در مراحل رشد، مقدار تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک به ترتیب توسط زیر برنامه‌های تبخیر و تبخیر- تعرق محاسبه می‌شود. مقدار تعرق واقعی نیز در زیر برنامهٔ تبخیر- تعرق محاسبهٔ و با استفاده از آن، زیر برنامه محاسبه شاخص تنش، این شاخص را در مراحل مختلف رشد تعیین می‌کند. زیر برنامهٔ برآورد عملکرد نیز مادهٔ خشک و پس از گلدهی تعداد دانه، وزن دانه، و سرانجام عملکرد دانه را برآورد می‌کند. نتایج حاصل از مراحل مختلف برنامه در فایل‌های خروجی درج می‌شود.

- داده‌های مورد استفاده

آنچه در این تحقیق مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد، آزمون مدل مورد نظر برای گندم زمستانهٔ آبی و دیم رقم سبلان برای شرایط آب و هوایی منطقهٔ مراغه است. برای این منظور از اطلاعات ٤ تیمار گندم رقم سبلان استفاده شد که مرکز مطالعات دیم مراغه (Tavakoli, 2002) در ۳ سال زراعی (۸۱-۱۳۷۸) اجرا کرده بود. در ضمن، سایر اطلاعات مورد نیازدیگر مانند اطلاعات هواشناسی (مقادیر روزانه تبخیر از تشت و بارندگی) از مرکز مطالعات دیم مراغه تهیه

شد. در مدل مورد نظر مقادیر مربوط به داده‌های هواشناسی (بارندگی و تبخیر از تشت) و آبیاری به عنوان عوامل ورودی، وارد مدل شد.

خاک محل آزمایش که مربوط به منطقهٔ مراغه است، از نوع رسی سیلتی و مقادیر حد ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی دائم به ترتیب برابر ۳۸ و ۲۰ درصد حجمی گزارش شده است. سطح آب زیرزمینی در این منطقه پایین است و لذا هیچ جریان آبی از آن به ناحیهٔ ریشه وجود ندارد. تیمارهای آبیاری شامل: دیم کامل (تیمار صفر)، تیمار ۳۳ درصد آبیاری کامل (تیمار ۱)، تیمار ٦٦ درصد آبیاری کامل (تیمار ۲) و تیمار آبیاری کامل (تیمار ۳) است. مقادیر عمق و زمان آبیاری در تیمارهای مختلف در جدول شمارهٔ ۱ ارائه شده است. اولین آبیاری پس از کشت در مهرماه برای سبز شدن یکنواخت بذر در مزرعه انجام شده و بنابراین میزان آن برای همهٔ تیمارها یکسان است. مقدار آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک در عمق ریشه قبل از آبیاری و رساندن آن به حد ظرفیت زراعی تعیین شده است.

به منظور اجرای مدل برای ٤ تیمار آبیاری در سال‌های ۷۹-۷۸ تا ۸۱-۸۰ ، مقادیر روزانهٔ تبخیر از تشت و بارندگی و همچنین میزان آبیاری تهیه شد. این اطلاعات (مقادیر روزانه تبخیر از تشت و بارندگی همراه با آبیاری) در قالب ۱۲ فایل (٤ فایل برای هر سال) ذخیره و سپس مدل برای این ۱۲ حالت اجرا شد.

با توجه به اینکه تاریخ کاشت برای سال‌های مختلف مورد مطالعه معلوم بود بنابراین در اجرای مدل از گزینه مربوط به قبول کردن یک تاریخ کاشت استفاده گردید. تاریخ کاشت برای سال‌های ۷۹-۷۸ تا ۸۱-۸۰ به ترتیب برابر ۲۲، ١٤ و ۱۷ روز از ابتدای مهر وارد مدل شد. با توجه به اطلاعات در دسترس، مقدار رطوبت در حالت ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی دائم به ترتیب برابر ۳۸ و ۲۰ درصد حجمی، در هر اجرا وارد مدل شد. ضخامت لایه‌های فرضی خاک به صورت ۱۰ سانتی‌متر برای لایه اول و ۱۰۰ سانتی‌متر برای لایهٔ دوم در نظر گرفته شد. میزان رطوبت اولیهٔ خاک در زمان کاشت برای لایه‌های اول و دوم به ترتیب برابر ۱۷ و ۲۱ درصد حجمی وارد مدل گردید (طبق اطلاعات مقادیر مشاهده‌ای). در ضمن، ضریب رواناب و ظرفیت نگهداشت سطحی برابر صفر وارد مدل شد. بعد از تخمین مقادیر عملکرد دانه در تیمارها و سال‌های مختلف، نتایج حاصل با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شد. یادآوری می‌شود که مقادیر عملکرد دانه مشاهده‌ای که مورد مقایسه قرار گرفت مربوط به تیمارهای کود نیتروژن ٦۰ و ۳۰ کیلوگرم بر هکتار است که مقادیر بهینه به ترتیب برای تیمارهای آبی و دیم می‌باشد.

- اصلاح مدل

پس از مقایسهٔ نتایج بین مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای معلوم شد که مدل جواب رضایت‌بخشی برای تیمارهای‌دیم نشان نمی‌دهد و مقادیر محصول‌دانه را خیلی‌کمتر از مقادیرمشاهده‌ای برآورد می‌کند. این طور به نظر می‌رسید که مدل میزان مصرف آب کمتری را برای تیمارهای دیم در نظر می‌گیرد. برای تصحیح این مسئله، مدل MEDIWY اصلاح شد؛ بدین‌ترتیب که ضریب حداکثر تخلیه مجاز اولیه (FMAD) برای شرایط آبی از مقدار ۰/٦۵ به ۰/۹۰ برای شرایط دیم تغییر یافت تا گیاه در مدل بتواند از آب بیشتری در خاک استفاده کند. با این تدبیر، مدل اصلاح شده قادر بود میزان آب بیشتری را برای‌گیاه جهت مصرف تعرق در نظر بگیرد. مدل MEDIWY اصلاح شده برای تیمارهای دیم اجرا و نتایج آن مقایسه و بررسی شد.

جدول شمارهٔ ۱- مقادیر عمق آبیاری در زمان‌ها، تیمارها و سال‌های مختلف

شمارهٔ آبیاری	سال زراعی	ماه	روز	سال	روز از ابتدای مهر	مقدار عمق آب آبیاری در تیمارهای مختلف (میلی‌متر)			
						دیم کامل	آبیاری ۳۳ درصد	آبیاری ٦٦ درصد	آبیاری کامل
۱	اول (۷۹-۷۸)	مهر	۲۲	۷۸	۲۲	۰	۳٦	۳٦	۳٦
۲	اول (۷۹-۷۸)	اردیبهشت	۳۱	۷۹	۲٤۱	۰	۲٤	٤۸	۷۲
۳	اول (۷۹-۷۸)	خرداد	۱۵	۷۹	۲۵٦	۰	۲٤	٤۸	۷۲
۱	دوم (۸۰-۷۹)	مهر	۲۳	۷۹	۲۳	۰	٤۰	٤۰	٤۰
۲	دوم (۸۰-۷۹)	اردیبهشت	٤	۸۰	۲۱٤	۰	۲٤	٤۸	۷۲
۳	دوم (۸۰-۷۹)	اردیبهشت	۲۵	۸۰	۲۳۵	۰	۲٤	٤۸	۷۲
٤	دوم (۸۰-۷۹)	خرداد	۸	۸۰	۲٤۹	۰	۲٤	٤۸	۷۲
۱	سوم (۸۱-۸۰)	مهر	۲۲	۸۰	۲۲	۰	٤۰	٤۰	٤۰
۲	سوم (۸۱-۸۰)	خرداد	۱	۸۱	۲٤۲	۰	۲٤	٤۸	۷۲
۳	سوم (۸۱-۸۰)	خرداد	۱۷	۸۱	۲۵۸	۰	۲٤	٤۸	۷۲

همچنین، با مقایسهٔ مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای معلوم گردید که مدل MEDIWY جواب قابل قبولی برای سال ۸۱-۸۰ ارائه نداده و مقادیر برآوردی را خیلی بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای به دست آورده است. با بررسی‌های صورت گرفته شده، مشخص شد که میزان بارش‌های بهاره و تابستانه تا زمان برداشت در سال‌های زراعی اول تا سوم به ترتیب برابر ۱۱۰، ۱۲۲ و ۱۸۳ میلی‌متر است. با توجه به میزان بالای بارش بهاره و تابستانه در سال ۸۱-۸۰ میزان محصول دانه در مزرعه نسبت به سال‌های قبل بیشتر شده است ولی نه به اندازه‌ای که باید باشد. بنابراین، بالا بودن میزان بارش و احتمالاً بروز بیماری‌هایی مانند زنگ گندم در سال ۸۱-۸۰ باعث تخمین نادرست مدل شده است. برای فراهم آوردن زمینهٔ بررسی دقیق‌تر نتایج کار، بهتر بود که مقادیر برآورد شده ناصحیح اصلاح شود. اصلاح مدل برای احتمال بروز بیماری‌ها در مرحلهٔ آخر زیر برنامهٔ برآورد محصول وارد شده است.

برای اصلاح مقادیر برآورد شدهٔ محصول دانهٔ به دلیل بروز احتمالی بیماری‌ها در سال ۸۱-۸۰، بین مقادیر نسبت مجموع آبیاری و بارش به بارش (بهاره و تابستانه) و نسبت مقادیر محصول دانه مشاهده‌ای به برآورد شده در این سال همبستگی ایجاد گردید و ضرایب تصحیح در مدل به کار برده شد.

نتایج و بحث

نتایج محصول دانه برآورد شده حاصل از اجرای مدل و مقادیر مشاهده‌ای در تیمارهای مختلف و درصد خطای موجود بین آنها در جدول شمارهٔ ۲ ارائه شده است. برای بحث و بررسی هر چه بهتر مقادیر عملکرد دانهٔ برآورد شده و مشاهده‌ای، مقایسهٔ آنها لازم خواهد بود. شکل‌های شمارهٔ ۱ و ۲ مقایسه بین نتایج محصول دانه برآورد شده و مشاهده‌ای تیمارهای دیم و آبی با خط یک به یک در سال‌های ۷۹-۷۸ تا ۸۱-۸۰ را نشان می‌دهد که گویای نتایج بسیارخوب مدل برای تیمارهای آبی در سال‌های ۷۹-۷۸ و ۸۰-۷۹ و نتایجی با دقت کم برای سال ۸۱-۸۰ است. همان طور که مشاهده می‌شود، مدل نتوانسته است نتایج قابل قبولی را برای تیمار دیم از خود نشان دهد زیرا این مدل برای رقم عدل که رقمی آبی است واسنجی شده است.

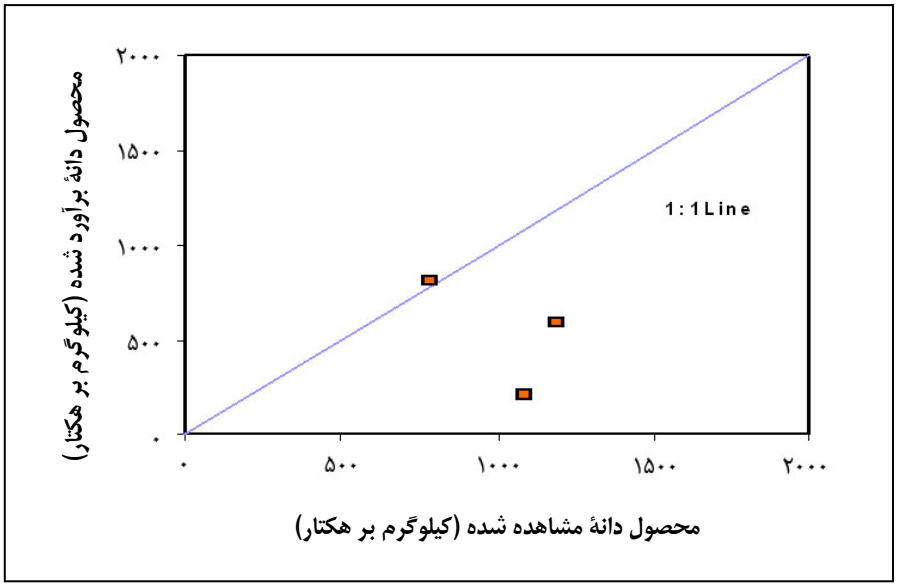
همان طور که در قسمت قبل هم گفته شده مدل MEDIWY به منظور تخمین صحیح محصول دانه تیمار دیم اصلاح شد. مدل MEDIWY اصلاح شده برای تیمار دیم در سال‌های ۷۹-۷۸ الی ۸۱-۸۰ اجرا گردید و نتایج آن در جدول شمارهٔ ۳ ارائه شده است.

جدول شمارهٔ۲- مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای (برحسب کیلوگرم بر هکتار) محصول دانهٔ گندم زمستانهٔ رقم سبلان در منطقهٔ مراغه در تیمارهای مختلف آبیاری در سال‌های ۷۹-۷۸ الی ۸۱-۸۰

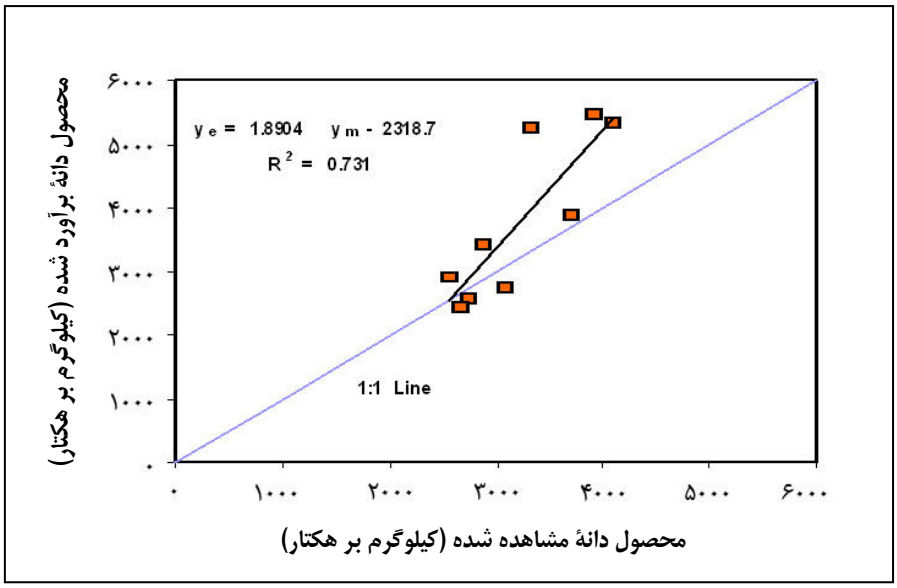
سال‌های زراعی	تیمارهای مختلف آبیاری	محصول دانه برآورد شده	محصول دانه مشاهده‌ای	درصد خطا
۷۹-۷۸	دیم کامل	۵۹۱	۱۱۸۸	۵۰/۲
	آبیاری ۳۳ درصد	۲۴۲۴	۲۶۶۱	۸/۹
	آبیاری ۶۶ درصد	۲۵۵۱	۲۷۲۶	۶/۴
	آبیاری کامل	۲۷۰۷	۳۰۷۹	۱۲/۱
۸۰-۷۹	دیم کامل	۲۰۱	۱۰۹۰	۸۱/۵
	آبیاری ۳۳ درصد	۲۹۱۱	۲۵۶۶	-۱۳/۴
	آبیاری ۶۶ درصد	۳۴۰۵	۲۸۹۵	-۱۷/۶
	آبیاری کامل	۳۸۵۷	۳۶۹۵	-۴/۴
۸۱-۸۰	دیم کامل	۸۱۲	۷۸۶	-۳/۳
	آبیاری ۳۳ درصد	۵۲۳۲	۳۳۱۸	-۵۷/۷
	آبیاری ۶۶ درصد	۵۳۳۶	۴۰۹۰	-۳۰/۵
	آبیاری کامل	۵۴۴۴	۳۹۲۴	-۳۸/۷

جدول شمارهٔ ۳- مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای (برحسب کیلوگرم بر هکتار) محصول دانهٔ گندم زمستانه رقم سبلان در منطقهٔ مراغه در تیمار دیم در سال‌های ۸۱-۷۸ توسط مدل MEDIWY اصلاح شده

سال‌های زراعی	محصول دانه برآورد شده	محصول دانه مشاهده‌ای	درصد خطا
۷۸-۷۹	۱۲۷۹	۱۱۸۸	-۷/۶
۷۹-۸۰	۷۶۳	۱۰۹۰	۳۰/۰
۸۰-۸۱	۱۶۷۶	۷۸۶	-۱۱۳/۰



شکل شمارهٔ ۱- مقایسهٔ نتایج مشاهده‌ای (y_m) و برآورد شدهٔ (y_e) محصول دانهٔ گندم زمستانه سبلان در مراغه برای تیمار دیم در سال‌های ۸۱-۷۸ با مدل MEDIWY



شکل شمارهٔ ۲- مقایسهٔ نتایج مشاهده‌ای (y_m) و برآورد شده (y_e) محصول دانهٔ گندم زمستانه سبلان در مراغه برای تیمارهای آبی در سال‌های ۸۱-۷۸ با مدل MEDIWY

برای اصلاح مقادیر برآورد شده محصول دانه به دلیل احتمال بروز بیماری در سال ۸۱-۸۰، بین مقادیر نسبت مجموع آبیاری و بارش به بارش (بهاره و تابستانه) و نسبت مقادیر محصول دانه مشاهده‌ای به برآورد شده در این سال رگرسیون زده شد. یادآوری می‌شود که چون مقدار بارش در فصول بهار و تابستان احتمالاً بر بروز بیماری مؤثر است از مقدار بارش در این دو فصل برای محاسبهٔ نسبت و انجام رگرسیون استفاده شده است. معادلهٔ حاصل از رگرسیون به صورت زیر است:

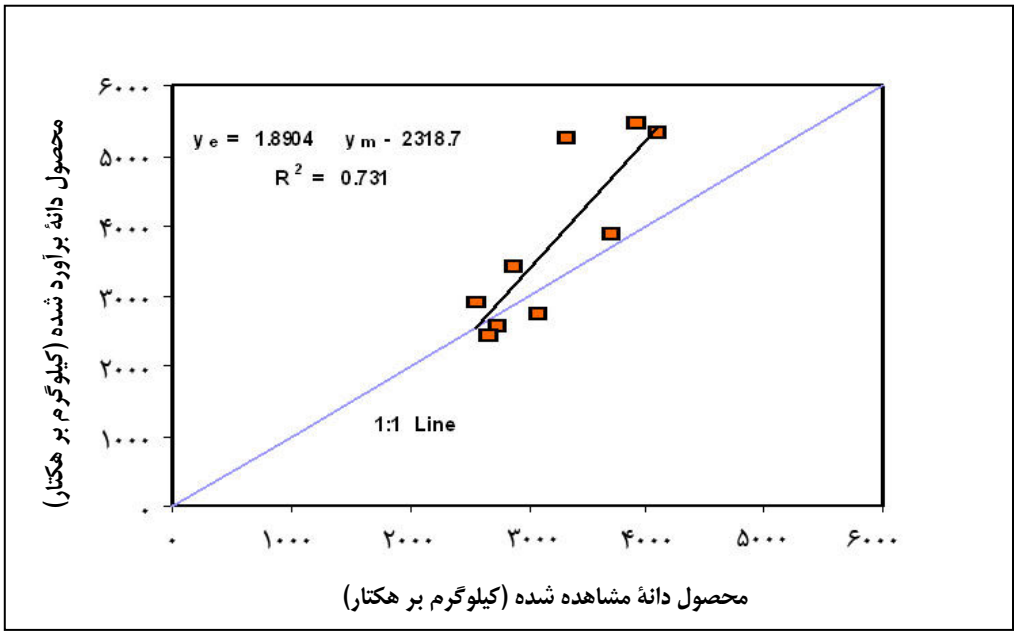
$$y = 0.282x + 0.208 \quad ، \quad R^2 = 0.922 \qquad (۱۸)$$

که در آن، y = نسبت مقادیر محصول دانه مشاهده‌ای به برآورد شده (ضریب اصلاحی برآورد)؛ و x= نسبت مجموع عمق آبیاری و بارش به ارتفاع بارش در فصل بهار و تابستان است.

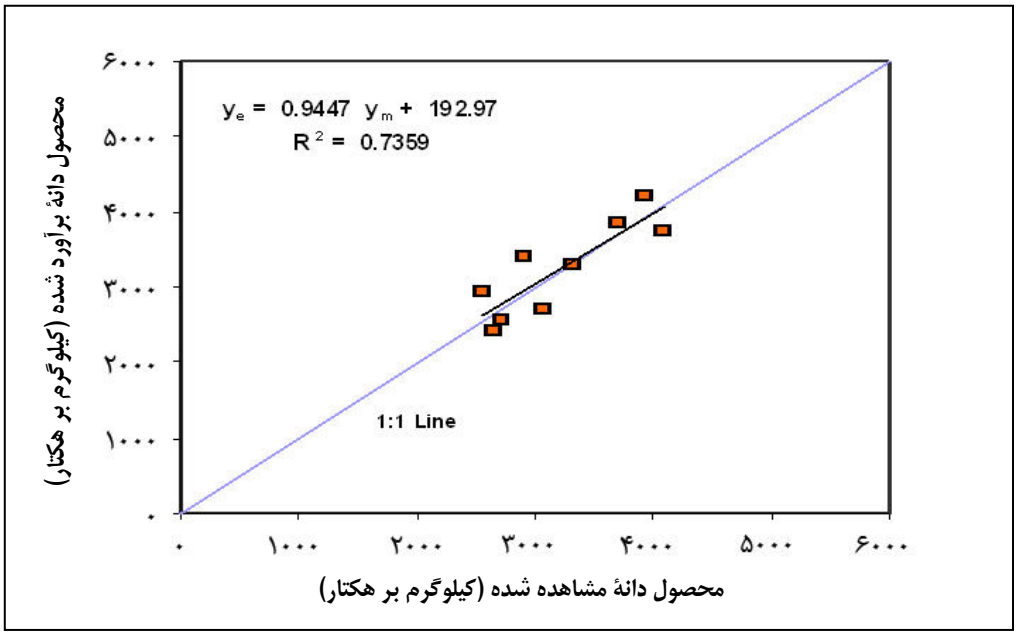
با اِعمال ضریب اصلاحی برآورد برای هر یک از تیمارها در سال ۸۱-۸۰، مقادیر محصول دانه برآورد شده توسط مدل MEDIWY اصلاح گردید، که جزئیات نحوهٔ اصلاح در جدول شمارهٔ ٤ ارائه شده است.

شکل‌های شمارهٔ ۳ تا ۵، مقایسهٔ بین نتایج دانهٔ برآورد شده با مشاهده‌ای در حالت اصلاح شده را نشان می‌دهد که گویای نتایج خیلی خوب مدل MEDIWY اصلاح شده در شرایط بروز احتمالی بیماری در تیمارهای دیم و آبی است.

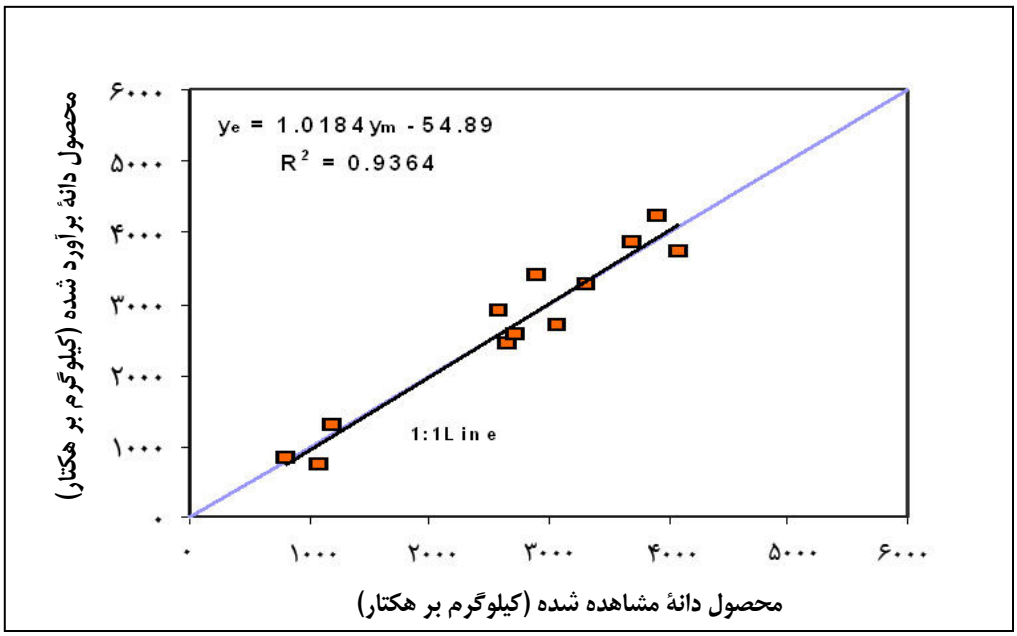
برای بررسی دقیق‌تر نتایج حاصل، بین مقادیر محصول دانه مشاهده‌ای و برآورد شده با خط یک به یک در سطح ۹۵ درصد با آزمون آماری F مقایسه رگرسیون انجام شد. نتایج این مقایسه در جدول شمارهٔ ۵ ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود اختلاف آماری معنی‌داری بین مقادیر محصول دانهٔ مشاهده‌ای و برآورد شده در سطح ۰/۹۵ وجود ندارد.



شکل شمارهٔ ۳- مقایسهٔ نتایج مشاهده‌ای (y_m) و برآورد شده (y_e) تیمار دیم در سال ۸۱-۷۸ با مدل MEDIWY اصلاح شده و استفاده از ضریب اصلاحی برآورد



شکل شمارهٔ ٤- مقایسه نتایج مشاهده‌ای (y_m) و برآورد شده (y_e) تیمارهای آبی در سال‌های ۸۱-۷۸ با مدل MEDIWY اصلاح شده و استفاده از ضریب اصلاحی



شکل شمارهٔ ٥- مقایسهٔ نتایج مشاهده‌ای (y_m) و برآورد شده (y_e) تیمارهای آبی و دیم در سال‌های ۸۱-۷۸ با مدل MEDIWY اصلاح شده و استفاده از ضریب اصلاحی

جدول شمارهٔ ٤- جزئیات نحوهٔ اصلاح مقادیر برآورد شدهٔ محصول دانه در سال ۸۱-۸۰ توسط مدل

تیمار	عمق آبیاری (میلی‌متر)	عمق بارش (میلی‌متر)	مقادیر مشاهده‌ای (کیلوگرم بر هکتار)	مقادیر برآورد شده (کیلوگرم بر هکتار)	نسبت مجموع آبیاری و بارش به بارش بهار و تابستان	نسبت مقادیر محصول دانهٔ مشاهده‌ای به برآورد شده	ضریب اصلاحی برآورد	محصول تخمینی اصلاح شده (کیلوگرم بر هکتار)
دیم کامل	۰	۱۸۳	۷۸٦	۱٦۷٦	۱/۰۰۰	۰/٤٦۹	۰/٤۸۹	۸۱۹
۱	۸۸	۱۸۳	۳۳۱۸	۵۲۳۲	۱/٤۸۱	۰/٦۳٤	۰/٦۲٦	۳۲۷۵
۲	۱۳٦	۱۸۳	٤۰۹۰	۵۳۳٦	۱/۷٤۳	۰/۷٦٦	۰/۷۰۰	۳۷٤۰
۳	۱۸٤	۱۸۳	۳۹۲٤	۵٤٤٤	۲/۰۰۵	۰/۷۲۱	۰/۷۷٤	٤۲۱۹

جدول شمارهٔ ۵- نتایج آماری مقایسه بین مقادیر محصول دانه با خط یک به یک در سطح ۹۵ درصد در مدل MEDIWY اصلاح شده با در نظرگرفتن ضریب اصلاحی برای سال‌های زراعی ۷۹-۷۸ الی ۸۱-۸۰

نوع تیمار	تعداد تیمار	شیب	عرض از مبدأ	R^2
دیم	۳	ns	ns	۰/۳۸
آبی	۹	ns	ns	۰/۷٤
آبی و دیم	۱۲	ns	ns	۰/۹٤

ns نبود اختلاف معنی‌دار

- ارزیابی مدل با استفاده از اطلاعات رقم الموت

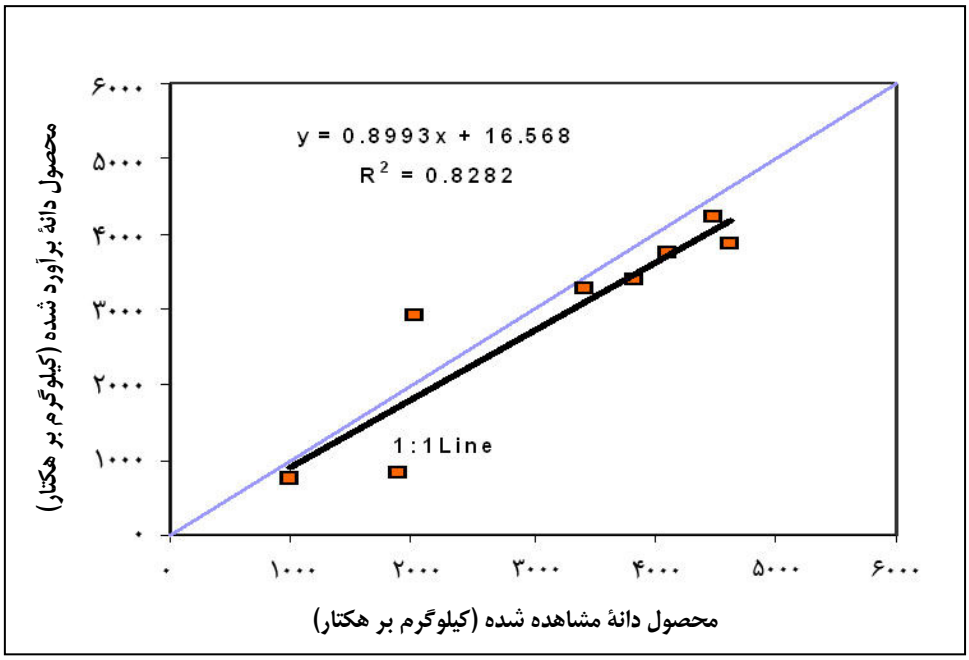
اگر مدلی بتواند محصول ارقام متفاوت گندم را شبیه‌سازی کند از دقت بالاتری برخوردار است.

بنابراین، مدل MEDIWY اصلاح شده با استفاده از اطلاعات محصول دانهٔ رقم الموت در سال‌های ۸۱-۷۹ ارزیابی شد. رقم الموت در منطقهٔ مراغه طی سال‌های ۸۱-۷۹ در طرح پژوهشی مشابه طرح پژوهشی گندم سبلان کشت شده و عملکرد دانه در تیمارهای مختلف و سال‌های ۸۱-۷۹ موجود است (Tavakoli, 2002). شرایط آب و هوایی و همچنین تیمارهای مختلف از نظر عمق و زمان آبیاری در رقم الموت، با رقم سبلان یکسان است. نتایج محصول دانهٔ برآورد شده و مقادیر مشاهده‌ای در تیمارهای مختلف رقم الموت در جدول شمارهٔ ٦ ارائه شده است.

شکل شمارهٔ ٦، مقایسهٔ بین نتایج محصول دانهٔ برآورد شده و مشاهده‌ای رقم الموت با خط یک به یک در سال‌های ۸۱-۷۹ را نشان می‌دهد که گویای نتایج بسیار خوب مدل برای تیمارهای به کار رفته شده است. برای بررسی دقیق‌تر نتایج حاصل، مقایسهٔ رگرسیون بین مقادیر محصول دانهٔ مشاهده‌ای و برآورد شدهٔ رقم الموت با خط یک به یک در سطح ۹۵ درصد با آزمون آماری F انجام شد. نتایج حاصل از آزمون نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین مقادیر محصول دانه مشاهده‌ای و برآورد شده رقم الموت در سطح ۹۵ درصد وجود ندارد.

جدول شمارهٔ ٦- متوسط مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای (بر حسب کیلوگرم بر هکتار) محصول دانهٔ گندم زمستانه رقم الموت در منطقهٔ مراغه در سال‌های ۸۱-۷۹ توسط مدل MEDIWY اصلاح شده

سال‌های زراعی	تیمارهای مختلف آبیاری	محصول دانهٔ برآورد شده	محصول دانهٔ مشاهده‌ای
۸۰-۷۹			
	دیم کامل	۷٦۳	۹۹۰
	آبیاری ۳۳ درصد	۲۹۱۱	۲۰۱۹
	آبیاری ٦٦ درصد	۳٤۰۵	۳۸۵۵
	آبیاری کامل	۳۸۵۷	٤٦۲۱
۸۱-۸۰	دیم کامل	۸۱۹	۱۹۰۲
	آبیاری ۳۳ درصد	۳۲۷۵	۳٤۲۹
	آبیاری ٦٦ درصد	۳۷٤۰	٤۱۱۰
	آبیاری کامل	٤۲۱۹	٤٤۹۱



شکل شمارهٔ ٦- مقایسهٔ نتایج محصول دانه مشاهده‌ای (y_m) و برآورد شده (y_e) برای تیمارهای به کار رفته رقم الموت در سال‌های ۸۱-۷۹ با مدل MEDIWY اصلاح شده

نتیجه‌گیری

مدل MEDIWY اصلاح نشده نتایج رضایت بخشی را برای تیمارهای آبی در سال‌های کم‌باران نشان می‌دهد ولی این مدل نتوانست نتایج قابل قبولی برای تیمارهای دیم نشان دهد. مدل MEDIWY اصلاح شده برای ضریب آب سهل‌الوصول در شرایط دیم توانست مقادیر قابل قبولی از محصول دانه را برای تیمار دیم برآورد کند. با مقایسهٔ مقادیر محصول دانهٔ برآورد شده و مشاهده‌ای معلوم شد که مدل MEDIWY در سال ۸۱-۸۰ (سال پرباران) مقادیر برآوردی را خیلی بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای به دست می‌آورد. با بررسی‌های انجام شده، مشخص گردید که بالا بودن میزان بارش و احتمال بروز بیماری‌ها در این سال باعث تخمین نادرست مدل شده است. مقدار بارش (بهاره و تابستانه تا زمان برداشت) در سال‌های زراعی اول، دوم، و سوم به ترتیب برابر ۱۱۰، ۱۲۲، و ۱۸۳ میلی‌متر است. لذا پیشنهاد می‌شود در صورتی که بارش بهاره و تابستانه تا زمان برداشت از ۱٤۰ میلی‌متر بالاتر باشد، مقدار محصول تخمینی به دست آمده توسط مدل اصلاح شود. این اصلاحات در داخل مدل اصلاح شده نهایی اعمال شده و تحت عنوان مدل MEDIWY اصلاح شده معرفی شد. اگر مدلی بتواند محصول ارقام متفاوت گندم را شبیه سازی کند دقت بیشتری دارد و بنابراین مدل MEDIWY اصلاح شده با استفاده از اطلاعات مربوط به رقم الموت مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل MEDIWY اصلاح شده به طور کلی جواب رضایت‌بخشی نیز برای رقم الموت نشان داد.

مراجع

1- Arian, A. 1992. Calibration of computer model (CRPSM) for irrigation management and scheduling and yield estimation of irrigated wheat. M. Sc. Thesis. Irrigation Department. Shiraz University. Shiraz. Iran. (in Farsi)

2- Belmans, C., Wesseling, J. R. and Feddes, R. A. 1983. Simulation model of a water balance of a cropped soil: SWATRE. J. of Hydrol. 63, 271-286.

3- Cordery, I. and Graham, A. C. 1989. Forecasting wheat yield using a water budgeting model. Aust. J. of Agric. Res. 40, 715-728.

4-De it, C. T. 1958. Transpiration and Crop Yields. Versl. Landbouwk. Onderz. No. 64. Wageningen.Netherlands.

5-Farshi, A. A., Feyen, J., Belmans, C. and de Wijngaert, K. 1986. Modelling of field winter wheat as a function of soil water availability. Agric. Water Manag. 12, 323-339.

6-Hanks, R. J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. Agron. J. 66, 660-665.

7-Hill, R. W., Rayan, K. H., Buttars, R. L., Keller, A. A., Mulkay, L. M., Stewart, F. R. and Boman, B. J. 1984. CRPSM Yield Simulation Model. Utah State University. Logan Utah.

8-Rasmussen, V. P. and Hanks, R. J., 1978. Spring wheat yield model for limited moisture conditions. Agron. J. 70, 940-944.

9-Sepaskhah, A. R. and Ilampour, S. 1995. Effects of soil moisture stress on evepotranspiration partitioning. Agric. of Water. Manag. 28, 311-323. (in Farsi)

10-Sepaskhah, A. R. and Ilampour, S. 1996. Relationships between yield, crop water stress index (CWSI) and transpiration of cowpea (*Vigna sinensis* L.). Agronomie. 16, 269-279. (in Farsi)

11-Sepaskhah, A. R. 1998. Application of crop simulation models. Letter of Academy of Sciences. I. R. of Iran. 5 (10, 11): 89-106. (in Farsi)

12-Tavakoli, A. R. 2002. Optimum complementary irrigation and nitrogen application rate for wheat. Research Report. Maragheh Research Center for Dryland Agriculture. (in Farsi)

13-Ziaei, A. N. and Sepaskhah, A. R. 2003. Model for simulation of winter wheat yield under dryland and irrigated conditions. Agric. of Water Manag. 58, 1-17.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.7 /No.28 / Autumn 2006*

Evaluation and Modification of MEDIWY Model for Irrigated and Rainfed Wheat in Maragheh Area

A. R. Sepaskhah, F. Aghayari and A. R. Tavakoli

According to needs, many models have been developed for simulation of crop yields. MEDIWY (Model for Estimation of Dryland and Irrigated Wheat Yield) is one of these models which presented for simulation of yield for Adle winter wheat under irrigated and rainfed conditions in Badjgah area. This model has been developed in Irrigation Department of Shiraz University. However, its extensive application requires model evaluation for different wheat varieties under different climatic conditions. In present study, the MEDIWY model was evaluated and modified for simulation of Sabalan winter wheat under irrigated and rainfed conditions in Maragheh area (Eastern Azarbayejan province) for three consecutive crop years (1378-79 to 1380-81 , H.S.). The simulated and measured grain yields were compared. It was indicated that the simulated grain yield under irrigated condition was satisfactory, but it was not able to simulate the grain yield under rainfed condition. Therefore, the coefficient of soil readily available water was changed from 0.65 to 0.90 for rainfed grain yield simulation. The modified MEDIWY model properly simulated the grain yield under rainfed condition. Furthermore, it was found that this model was not able to simulate the grain yield for crop years with high rainfall during the growing season in spring and summer due to plant disease infection. The amount of this rainfall was more than 140 mm and the model was modified for this parameter. Therefore, the modified model for excess rain was able to simulate the grain yield of Sabalan winter wheat under irrigated and rainfed conditions in Maragheh area even for years with high rainfall during the growing season in spring and summer. Further, modified model was validated by data obtained for Alamoot cultivar and the results were satisfactory.

Key words: Grain Yield Estimation, Maragheh Area, MEDIWY Model, Rainfed Wheat