



فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی
جلد ۱۳، شماره ۳، صفحات ۱۳-۱
(پاییز ۱۳۹۶)

تخمین بهره‌وری آب محصول گندم در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن استان فارس

الناز نوروزی اقدم

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران elnaz.norouzi.a@gmail.com (مسئول مکاتبات)

حسین بابازاده

گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مجید وظیفه دوست

گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

شناسه مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پژوهش: ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۰۷

واژه‌های کلیدی

- ◆ بیلان آب
- ◆ شبیه‌سازی
- ◆ مدل توزیعی SWAP
- ◆ مدیریت آبیاری

چکیده مدیریت آبیاری، تعیین کارایی مصرف آب و ارایه راه‌کارهای کارآمد برای افزایش بهره‌وری منابع آب محدود، مبتنی بر برآورد صحیح عملکرد محصول و میزان واقعی آب مصرفی است که اندازه‌گیری دقیق آن‌ها بدون استفاده از ابزار مناسب، بسیار دشوار می‌باشد. در این راستا شبکه آبیاری و زهکشی درودزن استان فارس بر اساس اراضی تحت پوشش یک آبگیر، در محیط GIS به ۸۶ واحد مطالعاتی تقسیم گردید و اجزای بیلان آب و عملکرد محصول در هر یک از واحدهای مکانی، در دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۰)، توسط مدل آگروهیدرولوژیکی-توزیعی SWAP و با کمک برنامه‌نویسی در محیط MATLAB برآورد شد. عملکرد گندم در شبکه درودزن با دقت قابل قبولی توسط مدل توزیعی SWAP، شبیه‌سازی گردید. پس از اعتبارسنجی مدل، اجزای بیلان آب توسط مدل واسنجی شده، شبیه‌سازی و متوسط بهره‌وری آب در شبکه درودزن برآورد شد. نتایج نشان داد با وجود کاهش میزان آب کاربردی در شبکه، بهره‌وری آب افزایش یافته است یعنی می‌توان با مدیریت آب، محصول بیشتری تولید نمود. برآورد اجزای بیلان آب و عملکرد محصول در شبکه به خصوص در شرایط بحران و کمبود آب که باید بالاترین بهره ممکن از آب‌های قابل دسترس حاصل گردد، می‌تواند برای ارزیابی مدیریت آب کشاورزی و یافتن راه‌کارهای افزایش کارایی مصرف آب راه‌گشا باشد.

فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی تحت لیسانس و تابع قوانین کپی رایت بین‌المللی Creative commons می‌باشد و این مقاله با دسترسی آزاد

تحت شرایط و قوانین The Creative Commons of BY-NC-ND انتشار یافته است.

رشد گیاه و محاسبه عملکرد تولید محصول در این مدل، بر اساس مدل رشد گیاه تفصیلی^۴ انجام می‌شود.^[۱۶]

مدل SWAP برای شبیه‌سازی توازن آب و مواد محلول در یک خاک کشت شده با شرایط مرزی مختلف شامل امکان زهکشی و مدیریت‌های مختلف آبیاری، تخمین نیاز آبی، عملکرد محصول و جریان آب و املاح در سیستم‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی در کشورهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج خوبی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های میدانی داشته است.^[۲۰،۲۳،۲۶]

وظیفه‌دوست و همکاران (۲۰۰۸) به منظور بررسی راه‌کارهای افزایش بهره‌وری آب، مدل SWAP را با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای گندم، ذرت علوفه‌ای، آفتابگردان و چغندر قند در برخوار اصفهان طی سال زراعی ۲۰۰۴-۲۰۰۵ اعتبارسنجی و اعلام نمودند که کاهش دور آبیاری و کم‌آبیاری به میزان چشم‌گیری کارایی مصرف آب آبیاری را افزایش داده ولی تأثیر چندانی بر کارایی مصرف آب گیاه ندارد.^[۲۸] سینگ و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای، مدل توزیعی SWAP را برای منطقه سیرسا^۵ هند اجرا و نتیجه گرفتند که عملکرد محصول به دست

مقدمه با توجه به توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی در کشور، مدیریت این شبکه‌ها و پیروی از برنامه‌ریزی‌های دقیق به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب، خاک و انرژی ضروری می‌باشد. تعیین کارایی مصرف آب و ارایه راه‌کارهای افزایش آن، مبتنی بر برآورد صحیح عملکرد محصول و میزان واقعی آب مصرفی است. گزینه‌های مدیریتی که به وسیله مطالعات میدانی بررسی می‌شوند به دلیل زمان‌بر بودن و نبود منابع مالی و انسانی کافی محدود می‌گردند و معمولاً اثرات بلندمدت مدیریت‌های مختلف آبیاری را بر عملکرد محصول و شوری خاک در نظر نمی‌گیرند.^[۵] استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز^۱، محدودیت‌های موجود در پژوهش‌های میدانی را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و ابزار توانایی در بررسی و تحلیل سناریوهای مختلف و انتخاب مدیریت مناسب آب به خصوص در شرایط کمبود منابع آب هستند.^[۲۴]

در این راستا، کاربرد مدل‌های آگروهیدرولوژیکی با قابلیت شبیه‌سازی اجزای بیلان آب و رشد محصول و برآورد صحیح از محصول تولیدی و میزان آب مصرفی گیاه در افزایش دقت برآوردها نقش به‌سزایی دارند. یکی از مدل‌هایی که در این زمینه از کارایی مناسبی برخوردار است، مدل SWAP^۲ می‌باشد.^[۱] اساس این مدل ارتباط فیزیکی بین پارامترهای خاک، آب، اتمسفر و گیاه است و در آن حرکت ناپایدار و غیریکنواخت آب در خاک بر اساس معادله ریچاردز^۳ که مؤلفه جذب آب توسط ریشه گیاه را نیز در نظر می‌گیرد، محاسبه می‌شود. با استفاده از این معادله مقدار محصول تحت تنش‌های آبی و شوری برآورد می‌گردد. در مدل شبیه‌سازی، حل عددی معادله ریچاردز بر اساس شرایط اولیه رطوبتی خاک، شرایط مرزی سطح خاک، شرایط مرزی پایین و روابط حاکم بین پارامترهای هیدرولیکی خاک شامل رطوبت، مکش و هدایت هیدرولیکی انجام می‌شود. شرایط مرزی سطح خاک در مدل شامل مؤلفه‌های تبخیر و تعرق مرجع، آبیاری و باران است. در این مدل، گزینه‌های مختلفی برای در نظر گرفتن شرایط مرزی پایین وجود دارد که مهمترین آنها عمق سطح ایستابی، زهکشی آزاد، جریان عمودی صفر و رابطه جریان عمودی و سطح ایستابی است. شبیه‌سازی

¹ simulation models

² Soil, Water, Atmosphere, Plant

³ Richards equation

⁴ World Food Studies (WOFOST)

⁵ Sirsa

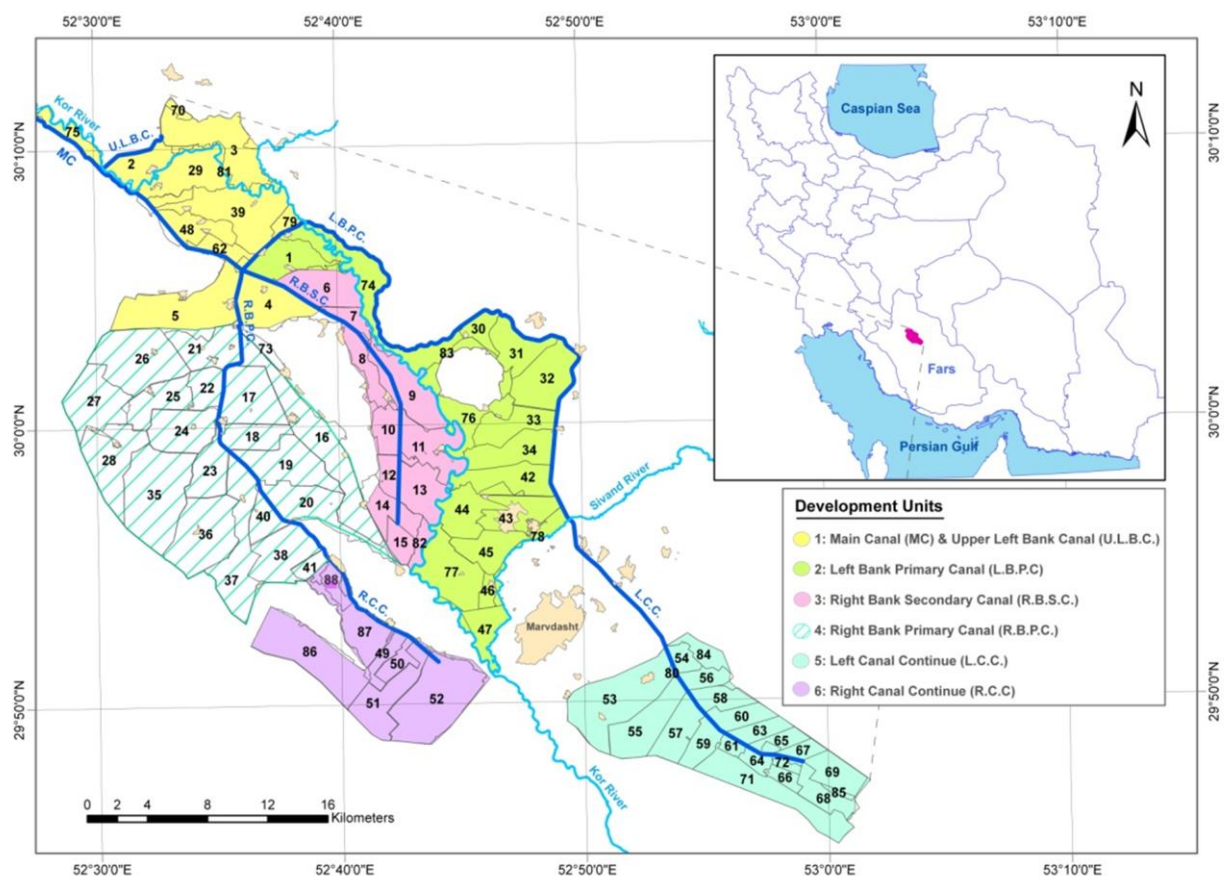
آمد.^[۳] واحدبندی مکانی شبکه بر اساس اراضی تحت پوشش یک آبگیر یا کانال درجه ۳ (واحد مزرعه)، در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10 انجام و شبکه به ۸۸ واحد شبیه‌سازی همگن تفکیک گردید که واحدهای شماره ۷۱ و ۸۵ آبخور شبکه آبیاری و زهکشی درودزن نیستند (شکل ۱). برای منطقه‌ای نمودن مدل SWAP 3.0.3 و برقراری ارتباط بین این مدل و داده‌های GIS یا Excel، برنامه‌ای در محیط MATLAB 7.9 نوشته شد. این برنامه داده‌های ورودی و خروجی را بین دو برنامه منتقل و برنامه را در هر واحد مکانی و برای دوره کشت گندم (۱۰ آبان تا ۲۰ خرداد ماه سال بعد) اجرا نمود. به دلیل مسطح بودن اراضی شبکه و شیب ملایم آن، کل شبکه از نظر اقلیمی و هواشناسی شرایط مشابهی داشت، بنابراین برای بررسی شاخص‌های هواشناسی مورد نیاز در بخش شبیه‌سازی مدل SWAP، از داده‌های آماری ایستگاه هواشناسی واقع در محدوده شبکه ایستگاه هواشناسی کشاورزی کوشک استفاده شد. شاخص-های گیاهی ورودی مورد نیاز مدل برای گندم از پژوهش‌های انجام شده، اطلاعات موجود در منطقه و منابع علمی معتبر استخراج گردید.^[۶،۲۱] در مدل SWAP برای کمی کردن رابطه بین متغیرهای هیدرولیکی خاک از معادله ونگنوختن

آمده از مدل SWAP در شرایط محدودیت آب و نمک، همبستگی بالایی با عملکرد به دست آمده از داده‌های سنجش از دور و داده‌های میدانی نشان می‌دهد.^[۳۳] دهقان و همکاران (۲۰۱۱) اجزای بیلان آب را در مزارع گندم دشت نیشابور با مدل SWAP شبیه‌سازی و اعلام نمودند که از مدل واسنجی شده SWAP می‌توان به عنوان ابزاری مفید بدون صرف وقت و هزینه زیاد برای محاسبه اجزای بیلان آب در سطح مزرعه استفاده نمود.^[۴] نوری و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی عملکرد گندم و ذرت علوفه‌ای و همچنین انتقال آب و نمک خاک در دو واحد زراعی واقع در شبکه آبیاری و زهکشی وشمگیر پرداخته و نشان دادند تطابق قابل توجهی بین مقادیر برآورد شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده وجود دارد و لحاظ شرایط مرزی پایین در مدل در برآورد مناسب مقادیر رطوبت و شوری خاک بسیار مؤثر است.^[۲۰] کامیاب طالش و همکاران (۲۰۱۶) نیز برای شبیه‌سازی عملکرد گندم و جو در منطقه گرمسار از مدل SWAP استفاده نموده و به نتایج مطلوبی دست یافتند.^[۱۳]

هدف از این پژوهش شبیه‌سازی اجزای بیلان آب و عملکرد گندم به عنوان محصول اصلی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن در یک دوره آماری ۱۰ ساله و در نهایت برآورد متوسط بهره‌وری آب با استفاده از مدل اگروهیدرولوژیکی-توزیعی SWAP بود. این پژوهش می‌تواند امکان ارزیابی مدیریت‌های مختلف آبیاری و انتخاب بهترین گزینه را فراهم نموده و راهکارهایی برای افزایش کارایی مصرف آب در شرایط محدودیت منابع آب در شبکه ارایه دهد.

مواد و روش‌ها این پژوهش در اراضی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن واقع در ۵۰ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان شیراز و در قسمت شمالی دشت رودخانه کُر انجام شد. این دشت با شیب ملایم شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، بین سد درودزن تا جاده اصلی شیراز- مرودشت امتداد یافته و رودخانه کُر تقریباً از مرکز آن عبور می‌نماید.^[۳]

داده‌های مورد نیاز مدل SWAP شامل داده‌های هواشناسی، نقشه طبقه‌بندی پوشش گیاهی، پارامترهای گیاهی، پارامترهای هیدرولیکی خاک و اطلاعات آبیاری از سازمان هواشناسی و شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس به دست



شکل ۱) نواحی عمرانی و واحدهای شبیه‌سازی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن

Figure 1) Development and simulation units in Doroudzan Network

شبکه، آبیاری سستی و مهم‌ترین منابع آب زراعی در محدوده مطالعاتی، آب تنظیمی سد مخزنی درودزن و منابع آب زیرزمینی بود. بنابراین، با توجه به این که در محدوده شبکه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به صورت تلفیقی استفاده شده است، در این پژوهش با توجه به اطلاعات موجود، کمیت و کیفیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی مورد استفاده در هر واحد مطالعاتی برآورد شده و وارد مدل گردید. لازم به ذکر است در بیش از ۹۰٪

(۱۹۸۰) و معلم (۱۹۷۶) استفاده می‌شود. [۱۸،۲۵] ضرایب مورد نیاز در این معادله با استفاده از توابع انتقالی HYPRESS بر اساس داده‌های دانه‌بندی، مواد آلی و وزن مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید. [۳۰]

در این پژوهش، خصوصیات خاک در هر واحد مطالعاتی با توجه به سری خاک غالب هر مزرعه تعیین و وارد مدل شد. میانگین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سری‌های خاک غالب شبکه در دو لایه بالایی و پایینی در جدول ۱ ارائه شده است. داده‌های باران روزانه و مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده به عنوان مؤلفه‌های شرایط مرزی بالا در مدل لحاظ گردید. همچنین، با استفاده از شدت جریان آب آبیاری، زمان آبیاری و سطح زیر کشت هر واحد شبیه‌سازی، عمق آب آبیاری در تاریخ‌های مختلف برای محصول گندم محاسبه و به عنوان یکی دیگر از شرایط مرزی بالا وارد مدل شد. روش آبیاری در اغلب مزارع

جدول ۱) خصوصیات سری‌های خاک در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن استان فارس، ایران

Table 1) Soil properties for main soil series in Doroudzan irrigation and drainage network, Fars Province, Iran

Soil Series	layer (cm)	texture	C (%)	Si (%)	Pb (kg/m ³)	organic carbon (%)	EC (ds/m)
Beyzad	0-35	CL	37	40	1.49	0.75	1.02
	35<	SiC	48	44	1.48	0.74	1.08
Takht-e-Jamshid	0-50	SiCL	37	47	1.24	0.71	1.24
	50<	SiC	49	41	1.44	0.80	2.20
Marvdasht	0-35	SiCL	34	51	1.36	1.38	1.34
	35<	SiC	43	47	1.49	0.90	1.22
Kooshkak	0-30	CL	32	46	1.43	1.28	2.05
	30<	CL	29	42	1.51	0.96	0.87
Kor	0-30	SiCL	33	55	1.33	1.13	1.78
	30<	C	60	33	1.50	1.09	1.78
Ramjerd	0-30	SiCL	36	45	1.35	1.52	1.37
	30<	SiCL	35	52	1.73	1.11	1.13
Jahan Abad	0-30	SiC	29	49	1.34	0.47	1.03
	30<	C	62	33	1.40	0.74	1.10
Hesam Abad	0-30	CL	29	43	1.32	1.03	0.92
	30<	CL	35	44	1.53	0.69	1.18
Karbala	0-30	SiCL	34	59	1.13	1.48	12.48
	30<	C	63	29	1.33	1.09	10.76

C رس، Si سیلت، L لوم، pb چگالی ظاهری، OC درصد مواد آلی، EC هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

C: Clay, Si: Silt, L: Loam, pb: bulk density, OC: Organic matter Content, EC: Electrical Conductivity

نرمال و خشک در هر واحد مطالعاتی شبیه‌سازی و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد (جدول ۴).

در این مطالعه، ضریب همبستگی^۲ بالا و مجذور میانگین مربعات خطا^۳ پایین و میانگین مربعات خطا کمتر از انحراف معیار^۴ بود که نشان دهنده کارکرد مطلوب مدل می‌باشد. حداکثر مقدار خطای شبیه‌سازی^۵ عملکرد در واحدهای مکانی، ۱/۶۰ تن در هکتار به دست آمد. مقدار شاخص کارایی مدل^۶ در شبیه‌سازی ۰/۸۴

از اراضی منطقه، آب زیرزمینی در اعماق بیش از ۳ متر قرار گرفته بود، بنابراین در این مطالعه شرایط مرزی پایین دست به صورت زهکشی آزاد^۱ در نظر گرفته شد.

ورودی‌های مدل SWAP آماده شده و از این پارامترها برای واسنجی و ارزیابی مدل استفاده گردید. در این پژوهش ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و شاخص‌های گیاهی واسنجی شده و به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه گردید.

پس از این‌که مدل با داده‌های مزرعه‌ای واسنجی شد، این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گندم و اجزای بیلان آب و در نهایت برای برآورد بهره‌وری آب استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد تولید محصول گندم

پس از واسنجی مدل، با استفاده از الگوریتم تفضیلی رشد گیاه در مدل SWAP و پارامترهای ورودی (جدول ۱، ۲، ۳)، عملکرد تولید گندم در سه سال مرطوب،

² coefficient of determination (R²)

³ Root Mean Square Error (RMSE)

⁴ Standard deviation (SD)

⁵ Maximum Error (ME)

⁶ Modeling Efficiency (EF)

¹ free drainage

جدول ۲) مقادیر ویژگی‌های هیدرولیکی و اسنجی شده خاک در مزارع شبکه آبیاری و زهکشی درودزن فارس، ایران

Table 2) Calibrated soil hydraulic parameters of main soil series in Doroudzan network, Fars Province, Iran

Soil Series	layer (cm)	Θ_s (cm ³ /cm ³)	Θ_r (cm ³ /cm ³)	Ks (cm/d)	α (/cm)	λ (-)	n (-)
Beyzad	0-35	0.42	0.01	23.1	0.03	-3.79	1.13
	35<	0.44	0.01	5.8	0.02	-3.65	1.08
Takht-e-Jamshid	0-50	0.50	0.01	39.4	0.02	-2.31	1.17
	50<	0.45	0.01	6.2	0.02	-3.44	1.08
Marvdasht	0-35	0.46	0.01	21.9	0.03	-3.31	1.15
	35<	0.43	0.01	7.0	0.02	-3.89	1.09
Kooshkak	0-30	0.44	0.01	22.3	0.03	-3.58	1.15
	30<	0.42	0.01	14.7	0.03	-3.66	1.13
Kor	0-30	0.47	0.01	21.6	0.02	-2.96	1.16
	30<	0.44	0.01	2.3	0.01	-3.61	1.06
Ramjerd	0-30	0.46	0.01	27.7	0.03	-3.47	1.14
	30<	0.35	0.01	4.3	0.01	-4.77	1.08
Jahan Abad	0-30	0.47	0.01	30.6	0.03	-2.20	1.19
	30<	0.48	0.01	3.0	0.01	-2.07	1.07
Hesam Abad	0-30	0.47	0.01	40.8	0.03	-2.88	1.18
	30<	0.42	0.01	10.7	0.03	-3.74	1.11
Karbala	0-30	0.53	0.01	31.1	0.02	-2.18	1.18
	30<	0.50	0.01	3.4	0.01	-1.62	1.08

Θ_s و Θ_r : رطوبت اشباع و باقی مانده خاک، Ks هدایت هیدرولیکی اشباع، α و n پارامترهای شکل و λ ضریب تجربی

Θ_s & Θ_r : Saturated & Residual water content, Ks: Saturated conductivity, α & n: Empirical shape factor, λ : Empirical coefficient

جدول ۳) مقادیر شاخص‌های گیاهی و اسنجی شده مدل پیشرفته گیاهی

Table 3) Main crop parameters of the detailed crop growth module

Parameter	wheat
Temperature sum from emergence to anthesis, TSUMEA (°C)	1225
Temperature sum from anthesis to maturity, TSUMAM (°C)	980
Specific leaf area, S_{la}	0.0018
Maximum relative increase in LAI (m ² /m ² day)	0.008
Light use efficiency, EFF (Kg CO ₂ /J)	0.47
Maximum CO ₂ assimilation rate, A_{max} (Kg/ha.hr)	48.07

جدول ۴) مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده عملکرد گندم (تن در هکتار) در شبکه درودزن فارس، ایران

Table 4) Observed and simulated wheat yield (t/ha) in Doroudzan network, Fard Province, Iran

Development units	wet year			normal year			dry year		
	observed	simulated	error (%)	observed	simulated	error (%)	observed	simulated	error (%)
1	6.7	7.9	17.9	5.6	5.2	-7.1	4.3	4.5	4.7
2	6.3	7.9	25.4	5.2	5.5	5.8	3.3	3.9	18.2
3	5.6	5.3	-5.4	4.7	5.3	12.8	3.4	4.0	17.6
4	5.5	7.0	27.3	4.1	4.4	7.3	2.7	3.5	29.6
5	4.1	3.5	-14.6	3.0	2.7	-10.0	1.7	1.5	-11.8
6	4.7	3.3	-29.8	4.1	3.3	-19.5	2.1	1.8	-14.3
total	5.5	5.8	3.5	4.5	4.4	-1.8	2.9	3.2	7.3

جدول ۵) مقادیر شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی عملکرد گندم در شبکه درودزن فارس، ایران

Table 5) Statistical parameters for evaluating of SWAP for wheat yield simulation in Doroudzan network, Fars, Iran

Climatic year	R ²	RMSE	SD	ME	CRM	EF
Wet	0.85	1.20	0.89	1.60	-0.06	0.84
Normal	0.81	0.49	0.83	0.75	0.01	0.85
Dry	0.90	0.53	0.84	0.80	-0.33	0.80
Average	0.83	0.81	1.78	1.60	-0.05	0.84

صورت غیرخطی تغییر می‌کند.^[۱۳] همچنین در شرایط توأم دو تنش شوری و آبی، SWAP فرض می‌کند که تابع جذب آب از حاصلضرب دو تابع کاهش شوری و کم آبی پیروی می‌کند، در حالی که مطالعات نشان دادند که در شرایط توأم شوری و کم آبی، تابع حاصلضربی نمی‌تواند اثر دو تنش را به خوبی کمی نماید.^[۱۱،۱۲] احتمالاً همین عامل باعث شده است مدل در شرایط توأم خشکی و شوری (ناحیه عمرانی ۶)، دقت کمتری داشته باشد.

شبیه‌سازی اجزای بیلان آب

مقدار بارندگی به عنوان عامل مهمی برای تبخیر و تعرق گیاهی در طول فصل رشد در سال‌های مختلف اقلیمی از ۱۷۵ تا حدود ۵۰۰ میلی‌متر متغیر بود. با این میزان بارندگی می‌توان آبیاری‌های غیرضروری در فصل پاییز و زمستان را حذف کرد. مقدار آب آبیاری اختصاص داده شده سالانه برای گندم به طور متوسط در حدود ۴۶۲ میلی‌متر است. مدل، تبخیر و تعرق واقعی گندم را ۴۰۰ تا ۵۳۰ میلی‌متر برآورد نمود (جدول ۶).

دورنبس و کسام (۱۹۷۹)، مقدار تبخیر و تعرق گندم را بین ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر گزارش کردند.^[۸] سینگ و همکاران (۲۰۰۶) مقدار تبخیر و تعرق گندم را در منطقه‌ای در هند ۳۹۳ میلی‌متر محاسبه نمودند.^[۳۳] وظیفه‌دوست و همکاران

محاسبه گردید. ضریب باقی‌مانده^۱ مقداری کوچک و منفی محاسبه شد که تمایل مدل را در برآورد عملکرد بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد (جدول ۵). تحلیل‌های آماری و نیز ارزیابی مدل توسط آزمون مقایسه میانگین، آزمون تی^۲، در سطح اعتماد ۹۵٪ نشان می‌دهد که عملکرد گندم با دقت قابل قبولی توسط مدل SWAP شبیه‌سازی گردیده است.

کوهی چله‌کران و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی روی ذرت در ارزویه کرمان با استفاده از SWAP، عملکرد ذرت را بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد نمودند.^[۱۵] کیانی و همایی (۲۰۰۷) تمایل مدل در برآورد بیشتر عملکرد گندم را در منطقه‌ای در شمال گرگان نشان دادند.^[۴] وردی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۱) عملکرد محصولات جو، پنبه و آفتابگردان را در اکثر موارد بیشتر از مقدار واقعی و عملکرد گندم، چغندر قند و پیاز را کمتر از مقدار واقعی برآورد نمودند.^[۲۹] نحوی‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) عملکرد گندم روشن در بیرجند را کمتر از مقادیر واقعی برآورد نمودند.^[۱۹] علیرغم بیش یا کم برآورد بودن مدل SWAP در شبیه‌سازی عملکرد محصول، تمامی پژوهشگران ذکر شده، اذعان داشتند که مدل SWAP در برآورد عملکرد محصول کارایی مطلوبی دارد.

تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد محصول، ناشی از خطاهای اندازه‌گیری، ناهمگنی مکانی داده‌های اندازه‌گیری شده و احتمالاً عدم دقت معادله کاهش عملکرد مدل SWAP در شرایط توأم شوری و خشکی است. علاوه بر این، در مدل SWAP برخی عوامل مؤثر بر عملکرد تولید از جمله بیماری‌ها، آفات و کمبود مواد مغذی در نظر گرفته نشده است.^[۳۳] تنش گیاه به دلیل کاهش رطوبت خاک یا افزایش شوری خاک، سبب کاهش جذب آب توسط ریشه و به تبع آن کاهش عملکرد محصول می‌گردد. میزان کاهش جذب آب به علت کاهش میزان آب و افزایش شوری در مدل SWAP به ترتیب توسط توابع پیشنهادی فلدس و همکاران (۱۹۷۸) و ماس و هافمن (۱۹۷۷) تعیین می‌گردد.^[۱۰،۱۷] این تابع، شیب عملکرد- شوری را بعد از آستانه و برای شرایط بدون تنش آبی، به صورت خطی در نظر می‌گیرد، در حالی که کیانی و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که در اثر تغییر رطوبت خاک، شیب فوق نیز ثابت نبوده و به

¹ Coefficient of Residual Mass (CRM)

² t-test

جدول ۶) مقادیر متوسط اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده گندم در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن فارس، ایران
Table 6) Average computed water balance components by SWAP for wheat in Droudzan network, Fars, Iran

Year	water balance components (cm)					
	P	I	ET _a	R	D _p	ΔW
2000-2001	17.5	37.1	43.9	0.0	-19.2	-8.6
2001-2002	43.0	51.4	52.6	0.8	-30.4	10.5
2002-2003	41.4	48.9	45.4	0.0	-32.3	12.5
2003-2004	45.5	50.9	44.8	1.5	-33.0	17.1
2004-2005	49.1	50.3	50.6	0.0	-33.9	14.9
2005-2006	42.0	48.7	42.5	1.1	-29.5	17.6
2006-2007	47.3	45.9	41.9	2.9	-31.3	17.2
2007-2008	22.9	45.1	43.0	0.5	-17.9	6.6
2008-2009	20.8	43.8	40.5	4.9	-15.9	3.4
2009-2010	25.6	40.1	42.7	0.0	-28.3	-5.3
Average	35.5	46.2	44.8	1.2	-27.2	8.6

P بارندگی، I میزان آب آبیاری، ET_a تبخیر و تعرق واقعی، R رواناب سطحی، D_p نفوذ عمقی و ΔW ذخیره رطوبتی

P: Precipitation, I: Irrigation, ET_a: Actual evapotranspiration, R: Runoff, D_p: Deep percolation, ΔW: Water storage

سیستم آبیاری کرتی، تلفات رواناب سطحی بسیار ناچیز است. میزان آب آبیاری در هر نوبت به عوامل مختلفی از جمله اندازه جریان در واحد عرض شیار یا نوار آبیاری، شیب زمین، ناهمواری‌های سطح زمین، میزان نفوذپذیری خاک و عمق آب قابل ذخیره در خاک بستگی دارد. با بهبود مدیریت زراعی و انتخاب پارامترهای فوق بر اساس اصول مهندسی آبیاری می‌توان میزان تلفات را کاهش داد.^[۲]

برآورد بهره‌وری آب

بهره‌وری به مفهوم تولید محصول به ازای واحد حجم آب^۱ است. به منظور تخمین بهره‌وری آب (WP_{ET}^۲ و WP_{I+P}^۳) برای مدیریت آبیاری، از اجزای بیلان آب و

(۲۰۰۸) با استفاده از مدل SWAP، تبخیر و تعرق گندم و ذرت علوفه‌ای را در برخوار اصفهان به ترتیب در حدود ۵۲۰ و ۶۱۰ میلی‌متر برآورد نمودند.^[۲۸] تبخیر و تعرق واقعی گندم در دشت نیشابور با استفاده از مدل واسنجی شده SWAP در حدود ۴۵۱ تا ۴۹۸ میلی‌متر به دست آمد.^[۷]

یکی از قابلیت‌های مدل SWAP، برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاه به صورت دو ترم جدا از هم می‌باشد که اندازه‌گیری آن در مزرعه سخت و وقت‌گیر است. مدل قادر به تفکیک تبخیر- تعرق گیاه به تبخیر (آب مصرفی غیرمؤثر) و تعرق (آب مصرفی مؤثر) با استفاده از شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد.^[۷] در ابتدای فصل رشد به دلیل کم بودن پوشش گیاهی، سهم تبخیر بیشتر از تعرق است. با نزدیک شدن به انتهای دوره رشد گندم از مقدار تبخیر کاسته شده و بر میزان تعرق افزوده می‌شود، به طوری که در مراحل انتهایی دوره رشد، تبخیر به صفر و تعرق به حداکثر مقدار خود می‌رسد (شکل ۲). این مسأله اهمیت کاهش جزء تبخیر در ابتدای فصل رشد را نشان می‌دهد که می‌تواند از طریق مالچ‌پاشی خاک یا استفاده از روش‌های آبیاری زیر سطحی در مدیریت آب در مزرعه لحاظ شود. مقدار تعرق در فصل رشد، بیشتر تحت تأثیر شرایط و وضعیت رطوبتی خاک، تنش آبی و میزان پوشش گیاهی قرار می‌گیرد.

در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن با وجود خاک نسبتاً سنگین، به دلیل آبیاری سنگین و عدم طراحی سیستم‌های صحیح آبیاری، از مجموع آب ورودی به مزارع در حدود ۳۰٪ به صورت نفوذ عمقی تلف می‌شود. در این شبکه به دلیل

¹ Crop Per Drop (CPD)

² EvapoTranspiration

³ irrigation+ precipitation (water use of the crop)

به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر در شبکه درودزن، میزان آب کاربردی کاهش یافته ولی بهره‌وری آب تقریباً در حد سال‌های گذشته باقی مانده یا بیشتر نیز شده است (شکل ۳). افزایش بهره‌وری آب مستلزم رعایت و به کارگیری مجموعه‌ای از هماهنگی‌ها، نهاده‌ها و ابزارها به همراه اصلاحاتی در ساختار و قوانین و همچنین اراده و خواست دولت‌مردان، مدیران، کارشناسان و کشاورزان است. از آن‌جا که مهم‌ترین فاکتور در بالا بودن کارایی مصرف آب، مدیریت زراعی بوده و مهارت و دانش فنی کشاورز نقش کلیدی در این زمینه ایفا می‌نماید، بنابراین افزایش مهارت و آگاهی کشاورزان از طریق برنامه‌های آموزشی و ترویجی از روش‌هایی است که می‌تواند در افزایش کارایی مصرف آب در منطقه نقش به‌سزایی ایفا نماید. حداکثر کارایی مصرف آب با استفاده از به کارگیری تقویم بهینه آبیاری صورت می‌گیرد.^[۹] اما به دلیل آشنا نبودن کشاورزان با اصول فنی آبیاری سطحی، به کارگیری تقویم بهینه آبیاری در منطقه چندان رایج نبوده و در عوض آبیاری با عمق ثابت و دور زمانی ثابت شایع‌ترین شکل آبیاری سطحی در این منطقه است. با استفاده از مدل SWAP و با تغییر عمق و دور آبیاری می‌توان به کارایی بهینه آب دست یافت.^[۳]

جدول ۷) شاخص‌های کارایی مصرف آب گندم در شبکه آبیاری و زهکشی

درودزن فارس، ایران

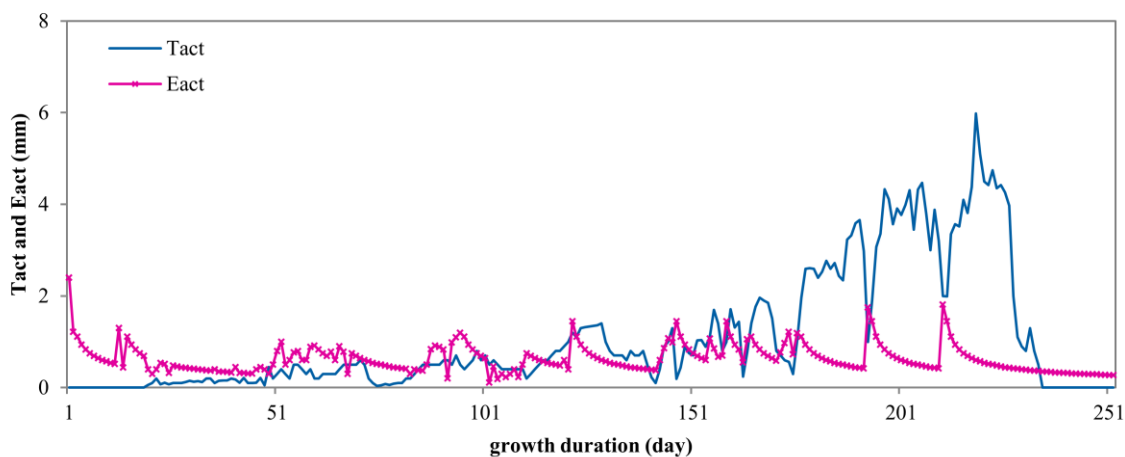
Table 7) Water productivity indicators for wheat in Doroudzan irrigation and drainage network

Year	WP _{ET} (kg/cm ³)	WP _{I+P} (kg/cm ³)
2000-2001	0.64	0.51
2001-2002	0.98	0.55
2002-2003	0.99	0.50
2003-2004	1.17	0.54
2004-2005	1.08	0.55
2005-2006	1.14	0.54
2006-2007	1.39	0.63
2007-2008	1.16	0.73
2008-2009	1.09	0.68
2009-2010	1.05	0.69
Average	1.07	0.59

عملکرد محصول که توسط مدل توزیعی SWAP شبیه‌سازی شده است، استفاده گردید (جدول ۷).

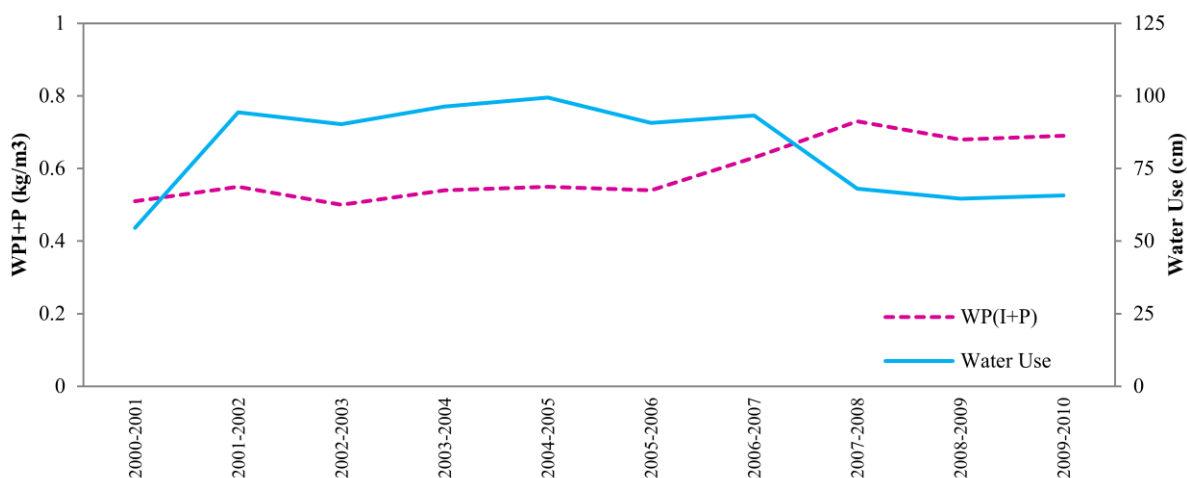
متوسط WP_{ET} برای گندم ۱/۰۷ کیلوگرم در مترمکعب برآورد گردید. نفوذ عمقی و رطوبت ذخیره شده در پروفیل خاک باعث کاهش کارایی مصرف آب شده و WP_{I+P} گندم ۰/۵۹ محاسبه شد که نشان دهنده کاهش ۴۵ درصدی مقادیر WP_{I+P} در مقایسه با WP_{ET} است. تحت شرایط خشک‌سالی نفوذ عمقی و ذخیره رطوبتی عموماً به عنوان افت در نظر گرفته می‌شوند. این موضوع به ویژه زمانی که عدم قطعیت در وقوع باران و یا آب آبیاری وجود دارد، فرض درستی است که باعث می‌شود کشاورز به کم‌آبیاری سوق یابد تا با همین مقدار آب قابل دسترس به حداکثر سود برسد. در شرایطی که آب کافی در دسترس باشد نفوذ عمقی به تغذیه آبخوان‌ها کمک نموده و جزء تلفات محسوب نمی‌شود.

اسدی و عقیلی (۲۰۰۹) با مرور ۸۴ منبع علمی ثبت شده جهان از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۴^[۳۱] همراه با نتایج پژوهش‌ها در زمینه بهره‌وری آب، متوسط جهانی مقادیر WP_{ET} گندم را ۱/۰۹ برآورد نمودند.^[۴] وظیفه‌دوست (۲۰۰۷) WP_{ET} و WP_{I+P} گندم را به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۴۹ کیلوگرم در هر مترمکعب آب برآورد نمود.^[۲۶] سینگ (۲۰۰۶) مقدار WP_{ET} را در سیرسای هند ۰/۸۶ کیلوگرم در متر مکعب تخمین زد.^[۳۳] تنوع مقادیر شاخص کارایی مصرف آب به عواملی چون آب و هوا، مدیریت آب آبیاری و مدیریت مواد غذایی خاک نسبت داده می‌شود.^[۲۸]



شکل ۲) مقادیر متوسط تبخیر و تعرق واقعی گندم در شبکه درودزن فارس، ایران

Figure 2) Mean of actual evaporation (Eact) and transpiration (Tact) of wheat in Droudzan network, Fars, Iran



شکل ۳) کارایی مصرف آب و میزان آب کاربردی گندم طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ در شبکه درودزن فارس، ایران

Figure 3) WP_{I+P} and water use for wheat in 2000-2010 at Doroudzan network, Fars, Iran

غیره به دقت اندازه‌گیری و یا با تصاویر ماهواره‌ای، به ویژه در شبکه‌هایی با وسعت زیاد، برآورد گردند. مدل توسعه یافته می‌تواند با برآورد منطقه‌ای عملکرد محصول و شبیه‌سازی اجزای بیلان آب در تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی منطقه راه‌گشا باشد.

نتیجه‌گیری کلی مدل توزیعی SWAP در شرایط شوری و محدودیت آب در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن از دقت قابل قبولی برای برآورد عملکرد گندم و شبیه‌سازی اجزای بیلان آب برخوردار بوده و می‌توان برای برآورد بهره‌وری آب و مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری از آن استفاده نمود. با وجود کاهش میزان آب کاربردی در شبکه، بهره‌وری آب افزایش یافته است یعنی با مدیریت آب آبیاری می‌توان محصول بیشتری تولید نمود. پیشنهاد می‌گردد برای دستیابی به نتایج واقعی‌تر، داده‌های ورودی مؤثر نظیر شاخص سطح برگ، تشعشع خورشیدی و

References

1. Akbari M (2004) Improving irrigation management by integrating field data, satellite data and SWAP model. PhD Thesis, Tarbiat Modares University: Tehran, Iran. [in Persian with English abstract]
2. Akbari M, Dehghani Sanij H, Mirlatifi SM (2009) Impact of irrigation scheduling on agriculture water productivity. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 3(1): 69-79. [in Persian with English abstract]
3. Anonymus (2011) Studies for yield evaluation, and monitoring management of operation and maintenance, improvement, repair and rehabilitation of Doroudzan irrigation and drainage network. Final project report, Mahab Ghodss Consulting Engineering Company: Tehran, Iran. [in Persian]
4. Asadi ME, Aghili R (2009) Crop water productivity for irrigated wheat, rice, cotton and maize in the world and its comparison with Iran. Proceedings of the 12th Seminar of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. Tehran, Iran. [in Persian with English abstract]
5. Bastiaanssen WGM, Allen RG, Droogers P, D'urso G, Steduto P (2007) Twenty-five years modeling irrigated and drained soils: state of the art. Agricultural Water Management 92(3): 111-125.
6. Bessembinder JJE, Leffelaar PA, Dhindwal AS, Ponsioen T (2005) Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. Agricultural Water Management 73(2): 113-130.
7. Dehghan H, Alizadeh A, Haghayeghi SA (2011) Water balance components estimating in farm scale using simulation model SWAP (case study: Neyshabur region). Journal of Water and Soil 24(6): 1265-1275. [in Persian with English abstract]
8. Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield Response to Water. Food and Agriculture Organization Publications: Rome.
9. Droogers P, Torabi M, Akbari M, Pazira E (2001) Field-scale modeling to explore salinity problems in irrigated agriculture. Irrigation and Drainage 50(2): 77-90.
10. Feddes RA, Kowalik PJ, Zaradny H (1978) Simulation of Field Water Use and Crop Yield. Centre for Agricultural Publishing and Documentation: Wageningen.
11. Homae M, Dirksen C, Feddes RA (2002) Simulation of root and water uptake: I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. Agricultural Water Management 57(2):89-109.
12. Kamyab Taleh F, Mostafazadeh Fard B, Vazifedoust M, Shayannejad M, Navvabian M (2016) Yield simulation and salt tolerance determination of wheat and barley using SWAP model: A case study in Garmsar region. Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture) 39(2): 45-54.
13. Kiani AR, Asadi ME, Homae M, Mirlatifi M (2005) Wheat production function under salinity and water stress conditions. Proceedings of Modeling Tolls for Environment & Resources Management (MTERM) International Conference. Bangkok, Thailand.
14. Kiani AR, Homae M (2007) Evaluating SWAP model for simulation of water and solute transport in soil profile. Journal of Agricultural Engineering Research 8(1): 13-30. [in Persian with English abstract]
15. Koochi Chellekaran N, Eslami A, Asadi R (2011) Improving irrigation management for hybrid maize seeds in Kerman province using a SWAP model. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research 12(1): 17-32. [in Persian with English abstract]
16. Kroes JG, Van Dam J (2008) Reference Manual SWAP Version 3.03. Wageningen University and Research Center: Wageningen.
17. Maas EV, Hoffman GJ (1977) Crop salt tolerance-current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 103(2): 115-134.
18. Mualem Y (1976) A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research 12: 513-522.
19. Nahvinia MJ, Shahidi A, Parsinejad M, Karimi B (2011) Assessing the performance of SWAP model in estimating the production of wheat under salinity and water stress (case study: Birjand, Iran). Iranian Water Research Journal 4(6): 43-58. [in Persian with English abstract]
20. Noory H, Liaghat AM, Parsinejad M, Vazifedoust M (2011) Evaluation of SWAP model in simulating yield of wheat and fodder maize in simultaneous condition of water and salinity limitations (case study: Voshmgir network, Golestan province). Journal of Water and Soil 24(6):1224-1235. [in Persian with English abstract]
21. Penning de Vries FWT, Jansen DM, Ten Berge HFM, Bakema A (1989) Simulation of Ecofysiological Processes of Growth in Several Annual Crops. International Rice Research Institute Publications: Wageningen.

22. Shahidi E (2008) Integration of deficit irrigation and salinity on yield components of wheat cultivars and determining water-salinity production function in the Birjand region, Iran. PhD Thesis, Shahid Chamran University: Ahvaz, Iran. [in Persian with English abstract]
23. Singh R, Van Dam J, Feddes RA (2006) Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. *Agricultural Water Management* 82(3): 253-278.
24. Van Dam JC, Groenendijk P, Hendriks RFA, Kroes JG (2008) Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone Journal* 7(2): 640-653.
25. Van Genuchten MTh (1980) A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America* 44(5): 892-898.
26. Vazifedoust M (2007) Development of an agricultural drought assessment system, Integration of crop and soil modeling remote sensing and geographical information. PhD Thesis, Wageningen University and Research Centre: Wageningen, Netherlands.
27. Vazifedoust M, Van Dam JC, Bastiaanssen WGM, Feddes RA (2009) Assimilation of satellite data into agrohydrological models to improve crop yield forecasts. *International Journal of Remote Sensing* 30(10): 2523-2545.
28. Vazifedoust M, Van Dam JC, Feddes RA, Feizi M (2008) Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management* 95(2): 89-102.
29. Verdinejad VR, Sohrabi T, Feizi M, Heydari N, Araghinejad Sh (2011) Patterning different crops yield with saline water irrigation condition using SWAP model. *Water and Soil Science* 20.1(4): 97-111. [in Persian with English abstract]
30. Wosten JHM, Lilly A, Nemes A, Le Bas C (1998) Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. Final project report, DLO Winand Staring Centre: Wageningen, Netherlands.
31. Zwart SJ, Bastiaanssen WGM (2004) Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management* 69(2): 115-133.

Estimation of water productivity of wheat in Droudzan irrigation and drainage network, Fars Province, Iran



Agroecology Journal

Vol. 13, No. 3, Pages 1-13
(autmns, 2017)

Elnaz Norouzi Aghdam

Young Researchers and Elite Club, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran
✉ elnaz.norouzi.a@gmail.com (corresponding author)

Hossein Babazadeh

Water Sciece and Engineering Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Majid Vazifedoust

Water Engineering Department, University of Guilan, Rasht, Iran

Received: 09 May 2017

Accepted: 29 October 2017

Abstract Irrigation management, water use efficiency determination and provision of efficient solutions for increasing of limited water resources productivity are based on accurate estimation of crop yield and actual water consumption which its exact measurment is very difficult without proper tools. In this regard, Doroudzan irrigation and drainage network of Fars Province in Iran was divided into 86 simulation units using GIS. Water balance components and crop yield were determined in each spatial unit during a 10-year period (2000-2010) using distributed SWAP model and through MATLAB software programming. There was good correlation between the observed and simulated wheat yield amounts in each simulation unit. After validating of the model, the water balance components were simulated by calibrated model and the average water productivity in the Doroudzan network was estimated. The results showed despite decrement in water use in the network, water productivity has been increased means that higher yield can be produced by water managment. Estimating of water balance components and yield production in the network, especially in crisis situations and water deficit condition can be used for agricultural water management evaluation and finding ways to increase water use efficiency.

Keywords

- ◆ agrohydrology
- ◆ irrigation managment
- ◆ simulation
- ◆ SWAP model
- ◆ water balance



Agroecology Journal is under free license. This open-access article is distributed under the terms of the Creative Commons-BY-NC-ND which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.