

تعیین نیاز آبی سیب زمینی در اقلیم های مختلف استان اصفهان Determination of water requirement for potato in different climates of Isfahan province

امیر هوشنگ جلالی^{۱*}، حمیدرضا سالمی^۲، علیرضا نیکویی^۳، ساناز گوانجی^۴، مصلح الدین رضایی^۵،
مرتضی خداقلی^۶، نورایر تومانیان^۷

۱. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران، (نگارنده مسئول)
۲. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۳. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و توسعه روستایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۴. مربی پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۵. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۶. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۷. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

جلالی، ا. ه.، سالمی، ح. ر.، نیکویی، ر.، گوانجی، س.، رضایی، م.، خداقلی، م.، تومانیان، ن.، تعیین نیاز آبی سیب زمینی در اقلیم های مختلف استان اصفهان نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۰ - شماره ۳ - پایبند ۱۱۶ زمستان ۹۶: ۷۳-۵۳

به منظور تعیین نیاز آبی گیاه سیب زمینی در سه اقلیم (خشک- زمستان سرد با دمای بالای نقطه انجماد - تابستان گرم W-C-A)، (خشک- زمستان سرد با دمای برابر یا کمتر از صفر- تابستان گرم W-K-A) و (نیمه خشک- زمستان سرد با دمای برابر یا کمتر از صفر- تابستان گرم W-K-SA) در استان اصفهان، پژوهشی در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و با انتخاب مزارع نمونه در هر شهرستان انجام شد. تفاوت معنی دار از نظر آب مصرفی و بهره‌وری آب بین شهرستان‌های مختلف وجود داشت. در اقلیم W-C-A نیاز آبی خالص دامنه ای از ۶۷۴۶ (مبارک) تا ۵۴۳۲ (اصفهان) متر مکعب در هکتار داشت. در این اقلیم دامنه ی بهره وری آب بر اساس سه شیوه آبیاری قطره ای، آبیاری بارانی و آبیاری جویچه ای به ترتیب برابر (۴/۰۳-۵/۷۷)، (۳/۵۲-۵/۰۴) و (۲/۹۹-۴/۲۸) کیلوگرم بر متر مکعب بود. در اقلیم W-K-A مقدار آب خالص در هر هکتار از ۴۶۰۹ (نطنز) تا ۵۲۵۷ (شاهین شهر) متفاوت بود. در اقلیم W-K-SA بیشترین نیاز آبی (۶۴۲۶ متر مکعب) و کمترین بهره وری در آبیاری جویچه ای (۱/۷۹ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب آب) به ترتیب مربوط به شهرستان های تیران و دهاقان بود. به طور متوسط نیاز آبی خالص سیب زمینی در سه اقلیم W-C-A، W-K-A و W-K-SA به ترتیب برابر ۵۰۴۴، ۵۰۷۸ و ۵۷۰۳ متر مکعب در هر هکتار محاسبه شد. بنابراین اگرچه اقلیم W-K-SA مهم‌ترین اقلیم تولید سیب زمینی استان اصفهان محسوب می‌شود ولی میانگین‌های پایین عملکرد با وجود آب مصرفی زیاد لزوم بازنگری عوامل مدیریتی در این اقلیم را خاطر نشان می‌سازد.

واژه های کلیدی: آبیاری، بهره‌وری آب، سیب زمینی، عملکرد

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: jalali51@yahoo.com

مقدمه

سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) گیاهی یک ساله و آتوتراپلوئید از خانواده سولاناسه است. تولید جهانی این گیاه در سال ۲۰۱۴ به ۳۸۵ میلیون تن در سال رسید که حدود ۴۰ درصد از این مقدار در کشور های آسیایی است. تولید سیب زمینی در ایران در این سال ۴/۷ میلیون تن در سطحی معادل ۲۹۵ هزار هکتار بوده است (FAO, 2014). گیاه سیب زمینی برای رشد به ۴۰۰ تا ۸۵۰ میلی متر آب نیاز داشته و برخی پژوهشگران این میزان را ۹۰۰ میلی متر نیز گزارش نموده اند (Carli et al., 2014).

گیاه سیب زمینی به عنوان گیاهی حساس به کم آبی ممکن است حتی در تنش های جزئی آب دچار افت عملکرد شده و دلیل این امر ریشه های سطحی و قدرت کم گیاه برای بازسازی پس از تنش آبی است (Iwama, 2008). بسته شدن روزنه ها در اثر کم آبی با کاهش جذب دی اکسید کربن، عملکرد سیب زمینی را به حدی پایین تر از حد بهینه کاهش داده (Sinclair, 2011) و با توجه به این که سیب زمینی واکنش بسیار خوبی به افزایش دی اکسید کربن دارد و با دو برابر شدن مقدار دی اکسید کربن عملکردش ۳۰ درصد افزایش می یابد (Katerji et al., 2008)، بسته شدن روزنه ها به معنی کاهش شدید عملکرد گیاه خواهد بود.

همان طور که در مورد سایر گیاهان مطرح است، کارایی مصرف آب که گاهی راندمان تعرق نیز نامیده می شود، در سیب زمینی به صورت نسبت عملکرد غده به تبخیر و تعرق و یا عملکرد غده به آب مصرفی تعریف می شود

(Xie et al., 2012). کارایی مصرف آب سیب زمینی در ایران بر اساس تبخیر و تعرق ۵/۳-۱/۹ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب آب گزارش شده است (Rashidi & Gholami, 2008). در شرایط ترکیه و استفاده از سامانه های آبیاری تحت فشار مقدار آب مورد نیاز برای سیب زمینی ۵۶۵ تا ۸۳۰ میلی متر بوده است (Unlu et al., 2006). در گزارش های دیگر در این کشور این مقدار برای سیب زمینی ۵۷۲ میلی متر گزارش شده است (Yavuz, 2011). در اسپانیا این عدد ۵۹۷ میلی متر بوده است (Fabeiro et al., 2001). به طور کلی دامنه اعداد ذکر شده برای آب مورد نیاز سیب زمینی با توجه به شرایط اقلیمی دامنه ای از ۳۵۰ تا ۸۰۰ میلی متر داشته است (Yavuz et al., 2016). استان اصفهان شامل بویین و میاندشت (راندمان آبیاری ۳۵ درصد)، چادگان (راندمان آبیاری ۳۵ درصد)، سمیرم (راندمان آبیاری ۳۲ درصد)، تیران و کرون (راندمان آبیاری ۱۵ درصد)، گلپایگان (راندمان آبیاری ۳۴ درصد)، مبارکه (راندمان آبیاری ۴۵ درصد)، میمه (راندمان آبیاری ۵۰ درصد)، نجف آباد (راندمان آبیاری ۴۰ درصد) به ترتیب ۱/۲۰، ۲/۱۸، ۱/۴۰، ۱/۸۰، ۱/۰۳، ۲/۵، ۱/۶۹ و ۲/۰۲ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب گزارش شده است (Dehghan et al., 2009). اغلب مراجعی که نیاز آبی گیاهان زراعی را در کشور برآورد نموده اند از قبیل سند ملی آب کشور و برآورد نیاز آبی گیاهان عمده زراعی و باغی کشور توسط فرشی و همکاران و نرم افزار NETWAT دارای تفاوت های قابل ملاحظه ای بوده است (Farshi et al., 1997)

موجود در استان اصفهان و برخی از استان های همجوار کسب شد. در مطالعات مرتبط با خاک وزن مخصوص ظاهری و رطوبت های حجمی (ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی)، شوری خاک، بافت خاک و کلاس قابلیت کشاورزی اراضی در مناطق کشت مد نظر قرار داده شدند. از اطلاعات مرتبط با خاک در محاسبه ضریب تبخیر از خاک (Ke) استفاده شد که توصیف کننده جزء تبخیر در صفت (ETc) است. در حقیقت Ke مبنای محاسبه ضریب کاهش تبخیر از لایه سطحی (Kr) و کسر خاک خیس شده و در معرض هوا قرار گرفته (few) بوده و برای محاسبه آن وجود اطلاعات مرتبط با ویژگی های خاک ضروری است. برای محاسبه ویژگی های خاک علاوه بر نمونه گیری از مزارع موجود در پژوهش، از بانک اطلاعاتی ۱۶۰۰ پروفیل خاک موجود در بخش تحقیقات خاک و آب استان اصفهان نیز استفاده شد. با استفاده از پهنه بندی اقلیم کشاورزی ایران با استفاده از روش یونسکو بر مبنای سه معیار اصلی طبقه بندی یعنی رژیم رطوبتی، تیپ زمستان و تابستان، ۲۸ پهنه اقلیمی در ایران قابل تشخیص می باشد که از این تعداد شش ناحیه بیش از ۹۰ درصد کشور را شامل می شود. (Ghaffari et al., 2015) بر این اساس در استان اصفهان برای کشت سیب زمینی سه پهنه اقلیمی اصلی قابل تشخیص است (جدول ۱).

تبخیر تعرق گیاه تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و مراحل رشد گیاه بوده و نشان دهنده میزان آب مورد نیاز یک گیاه سالم در یک مزرعه ی بدون محدودیت آب است و از رابطه

;Ministry of agriculture and meteorology, (2001 تغییرات اقلیمی چند سال گذشته مشکل را مضاعف نموده است. این در حالی است که اجرای طرح های آبیاری تحت فشار به دقت بالای تعیین نیاز آبی محصولات نیازمند است. با توجه به سطح زیر کشت قابل توجه سیب زمینی و پراکنش آن در استان اصفهان که به بیش از ۱۴ هزار هکتار بالغ می شود، پژوهش حاضر با تفکیک شهرستان های مختلف استان اصفهان به نواحی اقلیمی مختلف و با توجه به مراحل فنولوژیک گیاه سیب زمینی، با هدف ارزیابی نیاز آبی این گیاه و محاسبه بهره وری آب آبیاری انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در دو فصل کشت سیب زمینی (تاریخ کاشت بهمن و اسفند برای نواحی معتدله و تاریخ کاشت خرداد ماه برای نواحی سرد) در شهرستان های مختلف استان اصفهان که دارای کشت سیب زمینی بودند انجام شد. برای انجام پژوهش چهارگروه کاری تشکیل و موارد مربوط به اقلیم و هواشناسی، اطلاعات خاکشناسی، فرآیندهای فیزیولوژیکی و مدیریت زراعی و مدیریت آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. در بخش اقلیم و هواشناسی تجزیه و تحلیل داده های هواشناسی در مقیاس دهه ای انجام و موارد دما، بارش، سرعت باد، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و تبخیر از تشتک از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۳ به عنوان معیار در نظر گرفته شد و با تهیه معادلات گرادیان، تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شد. اطلاعات آماری مورد نیاز از ۲۸ ایستگاه هواشناسی سینئوپتیک و کلیماتولوژی

زیر محاسبه می شود:

$$ET_{crop} = \sum K_{ci} \times ET_{oi}$$

در فرمول فوق K_{ci} ضریب گیاهی و ET_{oi} میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش پنمن-ماتیتش-فائو محاسبه شد. (Allen et al., 2005) مراحل رشد گیاه در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارت بودند از مرحله ابتدایی از تاریخ کشت شروع و تا نزدیک به زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصد ادامه می یابد، مرحله توسعه از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد شروع و تا پوشش موثر کامل به طول می انجامد، مرحله میانی از زمان برقراری پوشش کامل موثر شروع و تا رسیدن محصول ادامه خواهد یافت و مرحله پایانی از زمان رسیدن محصول تا پلاسیدگی

کامل گیاه طول می کشد. این مراحل بر اساس نشریه ۵۶ آبیاری و زهکشی فائودر نظر گرفته شدند (Allen et al., 1998). مبنای محاسبه عملکرد سیب زمینی در این پژوهش متوسط عملکرد غده سیب زمینی در ۵ سال (سال ۱۳۹۳ و قبل از آن) بود که آمار رسمی منتشر شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان محسوب می شود (جدول ۲).

بهره وری آب از فرمول زیر محاسبه شد:

بهره وری آب = عملکرد (کیلوگرم) / تبخیر

و تعرق (متر مکعب)

راندمان آبیاری برای سامانه های مختلف آبیاری شامل قطره ای، بارانی و جویچه ای به ترتیب ۷۱، ۶۲/۱ و ۵۲/۷ درصد در نظر گرفته شد (Abbasi et al. 2015).

جدول ۱- ویژگی های اقلیمی مناطق کشت سیب زمینی در استان اصفهان

Table 1. Climatic properties of potato cultivation areas in Isfahan province

نام اقلیم Climate name	شهرستان ها در محدوده اقلیمی City within climate	ویژگی های اقلیم Climatic characteristics
A-C-W	اصفهان، نجف آباد، فلاورجان، مبارکه، خمینی شهر و لنجان Isfahan, Najaf Abad, Falavarjan, Mobarake, Khomeini Shahr, and Lenjan	رطوبت خشک، زمستان خنک، تابستان گرم، دمای زمستان ۰-۱۰ درجه، دمای تابستان ۲۰-۳۰ درجه Dry humidity, cool winter, hot summer, winter temperatures of 0-10 °C, summer temperatures of 20-30 °C
A-K-W	کاشان، اردستان، ناین، نطنز و شاهین شهر Kashan, Ardestān, Naein, and Shahin Shahr	رطوبت خشک، زمستان سرد، تابستان گرم، دمای زمستان کوچک تر یا مساوی صفر، دمای تابستان ۲۰-۳۰ درجه Dry humidity, cold winter, hot summer, smaller than or equal to zero winter temperatures, summer temperatures of 20-30 °C
SA-K-W	خوانسار، فریدن، فریدون شهر، گلپایگان و دهقان، تیران و کرون، شهرضا، بوئین، سمیرم و چادگان Khansar, Frieden, Fereydunshahr, Golpayegan, Dehaghan, Tiran and Karvan, Shahreza, Buin, Semirom and Chadegan	رطوبت نیمه خشک، زمستان سرد، تابستان گرم، دمای زمستان ۰-۱۰ درجه، دمای تابستان ۲۰-۳۰ درجه Semi-arid humidity, cold winter, warm summer, winter temperatures of 0-10 °C, summer temperatures of 20-30 °C

جدول ۲- عملکرد ۵ ساله (تن در هکتار) محصول سیب زمینی در شهرستان‌های دارای کشت سیب زمینی در استان اصفهان

Table 2. Five-year yield ($t ha^{-1}$) of potato crop in potato-producing cities in Isfahan province

نام شهرستان City name	۱۳۸۹ 2010	۱۳۹۰ 2011	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۲ 2013	۱۳۹۳ 2014	میانگین Mean
اصفهان Esfahan	34	36	43	45	35	38.60
نجف آباد Najafabad	26.9	25	30	30	35	29.38
فلاورجان Falavarjan	39	40	42	41	42	40.80
مبارکه Mobarake	29.8	35	40	40	30	34.96
خمینی شهر Khomeinshahr	34.9	33	41	42	41	38.38
نطنز Natanz	19.5	21	18	20	25	20.70
شهرضا Shahreza	23	25	23	27	35	26.60
دهاقان Dehaghan	20	18	19	24	25	21.20
تیران Tiran	22	21	21	25	29	23.60
شاهین شهر Shahin shahr	18	25	19	21	19	20.40
لنجان Lenjan	31.5	22	31	30	30	28.90
ناین Naein	18	18	20	21	20	19.40
کاشان Kashan	26.5	21	17	18	17	19.90
اردستان Ardestan	18	20	17	21	25	20.20
گلپایگان Golpayegan	26.5	25	23	26	23	24.70
خوانسار Khansar	18	21	21	23	35	23.60
فریدن Freidan	21	22	22	23	22	22.00
فریدون شهر Fereydunshahr	20	21	21	22	21	21.00
بویین Buin	22	21	22	22	21	21.60
چادگان Chadegan	23	22.5	22	23	24	22.90
سمیرم Semirom	25.5	27	23	28	23	25.30

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات بهره‌وری آب و آب مصرفی در مراحل مختلف فنولوژیک

Table 3. Analysis of variance for characteristics of water productivity, water consumption at different phenological growth stages

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS		
		آب مصرفی Water consumption	بهره‌وری آب Water productivity	آب مورد نیاز در مراحل فنولوژیک Water requirement at phenological growth stages
تیمار Treatment	20	1190.70**	980.01**	169.40*
خطا Error	42	375.45	60.01	87.19
ضریب تغییرات CV%		14.35	12.62	9.41

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به شهرستان‌های مختلف مرتبط با کشت سیب زمینی در سه اقلیم A-C-W، A-K-W و SA-K-W در استان اصفهان بیانگر تفاوت معنی دار مقادیر آب مصرفی و بهره‌وری آب در سطح آماری ۱ درصد و آب مصرفی در مراحل مختلف فنولوژیک در سطح آماری ۵ درصد بود (جدول ۳). بر این اساس مقایسه میانگین‌ها برای صفات نیاز آبی و بهره‌وری مصرف آب و آب مصرفی در مراحل مختلف فنولوژیک در هر اقلیم انجام شد.

الف - اقلیم A-C-W

سطح عمده سیب زمینی کاری ۶ شهرستان اصفهان، فلاورجان، نجف آباد، مبارکه، خمینی شهر و لنجان در این اقلیم قرار دارند. مقادیر نیاز آبی و بهره‌وری آب این شهرستان‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. شهرستان اصفهان با نیاز آبی خالص ۵۴۳۲ متر مکعب در هکتار بالاترین

حال حاضر راندمان آبیاری برای شهرستان‌های مختلف معادل ۴۲ درصد در نظر گرفته می‌شود (Dehghan *et al.*, 2009). با توجه به این که مبنای محاسبه نیاز آبی در این پژوهش، اقلیم‌های مختلف بود و تعداد شهرستان‌های موجود در هر اقلیم نیز یکسان نبودند، برای تجزیه داده‌ها در هر اقلیم سیب زمینی کاری از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل استفاده و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن (در سطح ۵ درصد) مقایسه شدند. در طرح آزمایشی سه اقلیم A-C-W، A-K-W و SA-K-W به ترتیب دارای ۶، ۵ و ۱۰ شهرستان (مجموعاً ۲۱ تیمار) بودند و در هر شهرستان ۳ مزرعه به عنوان شاخص آن ناحیه اقلیمی انتخاب شد. کلیه مراحل چهارگانه رشد گیاه و همچنین نمونه‌گیری ویژگی‌های خاک در این مزارع شاخص انجام شد. در حقیقت وقتی مبنای محاسبات اقلیم باشد (که هر اقلیم دارای چند شهرستان است) مزارع شاخص نقش نمونه‌های ما در هر اقلیم را بازی می‌کنند.

جدول ۴- مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب بر اساس مقدار تبخیر و تعرق گیاه و بهره‌وری آب آبیاری بر اساس سه شیوه آبیاری قطره ای، بارانی و جوپچه ای در اقلیم A-C-W

Table 4. Comparison of the water requirement, water productivity based on crop evapotranspiration and irrigation water productivity based on three methods of drip, sprinklers, and furrow irrigation in the A-C-W climate

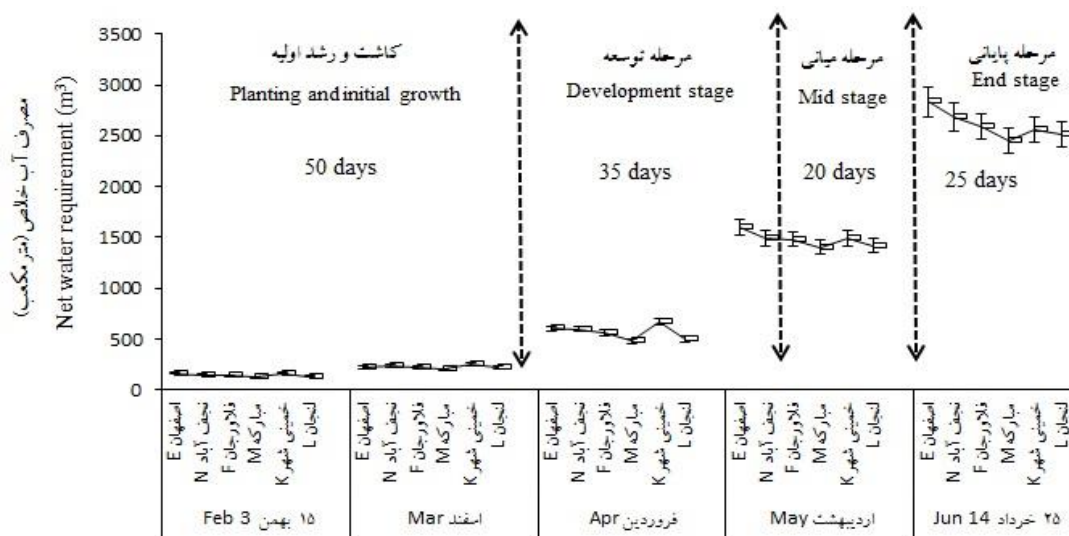
نام شهرستان City name	نیاز خالص آبی در هکتار Net water requirement (ha ⁻¹)	بهره‌وری آب * (کیلوگرم بر متر مکعب) Water productivity (kg m ⁻³)	بهره‌وری آب آبیاری ** (کیلوگرم بر متر مکعب) Irrigation water productivity (kg m ⁻³)	بهره‌وری آب آبیاری *** (کیلوگرم بر متر مکعب) Irrigation water productivity (kg m ⁻³)	بهره‌وری آب آبیاری **** (کیلوگرم بر متر مکعب) Irrigation water productivity (kg m ⁻³)
اصفهان	5432.2 ^a	7.11 ^b	5.05 ^a	4.41 ^a	3.74 ^a
Esfahan					
نجف آباد	5181.5 ^b	5.68 ^c	4.03 ^b	3.52 ^b	2.99 ^b
Najafabad					
فلورجان	5023.9 ^b	8.12 ^a	5.77 ^a	5.04 ^a	4.28 ^a
Falavarjan					
مبارکه	4674.3 ^c	7.48 ^b	5.32 ^a	4.64 ^a	3.94 ^a
Mobarake					
خمینی شهر	5152.4 ^b	7.45 ^b	5.30 ^a	4.63 ^a	3.92 ^a
Khomeinshahr					
لنجان	4801.3 ^c	6.02 ^c	4.28 ^b	3.74 ^b	3.17 ^b
Lenjan					

* ، ** ، *** و **** به ترتیب عبارتند از بهره‌وری آب بر اساس نیاز تبخیر و تعرق (نیاز خالص)، آبیاری قطره ای (راندمان ۷۱ درصد)، آبیاری بارانی (راندمان ۶۲٫۱ درصد) و آبیاری جوپچه ای (راندمان ۲۷ درصد) (Abbasi *et al.* 2015). حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری تفاوت معنی دار ندارند (دانکن در سطح ۵ درصد).
* ، ** ، *** and **** are respectively indicative of water productivity based on crop evapotranspiration (net water requirement), drip irrigation (71% efficiency), sprinkler irrigation (62.1% efficiency) and furrow irrigation (52.7% efficiency), (Abbasi *et al.* 2015). The similar letters in each column are not statistically significantly different (Duncan test 5%).

در برخی از گزارش های دیگر نیز شده است که تیمارهای تنش رطوبتی بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده و این افزایش وابسته به رقم استفاده شده است. (Ruttanaprasert *et al.*, 2016) در دیگر پژوهش‌ها عنوان شده است که تنش‌های رطوبتی متوسط بهره‌وری مصرف آب (بر اساس وزن غده) را ۷/۱ درصد کاهش داده و برعکس تنش‌های شدید بهره‌وری را ۵/۴ افزایش می‌دهد (Janket *et al.*, 2013). در شرایط تنش ملایم تعرق بیشتر از فتوستنتر کاهش یافته و در برخی از گزارش‌ها افزایش ۳۳ درصدی بهره‌وری آب در چنین شرایطی نیز گزارش شده است (Vos & Groenwold, 1989). متوسط بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب در کشور بر اساس نتایج ۶۷ طرح تحقیقاتی در کشور برای محصول سیب زمینی ۲/۷۴ بوده است (Heydari, 2012) و برتری بهره‌وری آب در برخی از شهرستان‌ها مثل فلاورجان و خمینی شهر را باید به مدیریت بهتر مزرعه و عملکردهای بالاتر این شهرستان‌ها (همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده) و بهره‌وری کمتر در شهرستان‌هایی مثل نجف آباد و لنجان را به وجود محصولات رقیب با نیاز آبی بالا (مثل گندم و سبزی و صیفی جات) که می‌توانند باعث افت عملکرد غده شوند نسبت داد. توجه به مراحل فنولوژیک رشد گیاه می‌تواند اطلاعات مفیدی در جهت مدیریت آب در مزرعه ارائه نماید (شکل ۱). در شهرستان‌های واقع شده در اقلیم A-C-W از اواسط بهمن (مصادف با کاشت سیب زمینی) تا آخر اسفند نیاز آب مصرفی زیاد نیست (کمتر

مقادیر نیاز آبی را در این ناحیه به خود اختصاص داده و شهرستان‌های نجف آباد، فلاورجان و خمینی شهر در رتبه دوم قرار داشتند. دو شهرستان مبارکه و لنجان به ترتیب با نیاز خالص آبی ۴۶۷۴ و ۴۸۰۱ متر مکعب در هکتار به طور معنی دار نسبت به سایر شهرستان‌های این اقلیم نیاز آبی کمتری دارند (جدول ۴). دامنه آب مصرفی برای سیب زمینی با توجه به شرایط اقلیمی، نوع سامانه آبیاری و ویژگی‌های خاک، ممکن است دامنه ای از ۳۵۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر داشته باشد (Yavuz *et al.*, 2016). به طور مثال مقدار آب مورد نیاز در ترکیه و اسپانیا این نیاز به ترتیب برابر ۵۷۲۰ و ۵۷۹۰ متر مکعب بوده است (Yavuz, 2011; Fabeiro *et al.*, 2001).

محاسبه بهره‌وری آب بر اساس نیاز تبخیر و تعرق در اقلیم A-C-W دامنه ای از ۵/۶۸ (نجف آباد) تا ۷/۱۱ (اصفهان) کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب را نشان می‌دهد (جدول ۴). این اعداد بیشتر از گزارش‌های موجود در کشور است (۵/۳-۱/۹ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب آب) (Rashidi & Gholami, 2008). دلایل این مسئله را باید در شرایط کم آبی ایجاد شده در سال‌های اخیر جستجو نمود. در گذشته کشاورزان با اتکا به وجود آب رودخانه زاینده رود اقدام به کشت سیب زمینی می‌نمودند اما با بروز خشکسالی‌های اخیر و قطع پی در پی آب رودخانه، عملاً کشت سیب زمینی با شرایط تنش (نوعی کم آبیاری) انجام می‌شود. تناوب منطقه و شروع کشت غلاتی مثل جو در خرداد ماه که هم زمان با حجیم شدن غده‌های سیب زمینی است، تنش مضاعفی برای کشت سیب زمینی ایجاد می‌کند.



شکل ۱- توزیع نیاز آبی سیب زمینی با توجه به مراحل فنولوژیک رشد در اقلیم A-C-W

Figure 1. Distribution of potato water requirement according to the phenological growth stages in the A-C-W climate

و بد شکلی غده‌ها را به همراه خواهد داشت (Carli *et al.*, 2014). به طور کلی مدیریت منابع آبی از اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد در اقلیم A-C-W با توجه به تناوب‌های موجود، از چالش‌های بزرگ در این ناحیه محسوب شده و محاسبه دقیق نیاز آبی محصول بر اساس مراحل مختلف رشد گیاه می‌تواند در مدیریت آبیاری مفید باشد.

ب- اقلیم A-K-W

اقلیم A-K-W دارای ۵ شهرستان است که دارای سطح زیر کشت سیب زمینی هستند (جدول ۵). تنها شهرستان نطنز است که با نیاز آبی ۴۶۰۹ متر مکعب به طور معنی دار نیاز آبی کمتری نسبت به دیگر شهرستان‌های این اقلیم دارد. مناطق سیب زمینی کاری این شهرستان بیشتر در نواحی مرتفع‌تر نسبت به دیگر شهرستان‌ها قرار گرفته و دماهای کمتری را نیز تجربه می‌کند. به طور کلی شهرستان‌هایی مثل اردستان، کاشان، نایین و نطنز جزو شهرستان‌های

از ۳۸۰ متر مکعب (شکل ۱). این دوره اگرچه طولانی است اما به دلیل دمای پایین محیط و سطح سبز اندک (نیاز تعرق پایین) با مقدار آب نسبتاً کمی سپری می‌شود. تفاوت معنی داری نیز بین شهرستان‌ها در این دوره قابل مشاهده نیست. در مرحله توسعه گیاه (فروردین تا اوایل اردیبهشت) نیز وضعیت مشابهی دیده می‌شود و با حدود ۸۰۰ متر مکعب آب این مرحله خاتمه می‌یابد. دو مرحله میانی و پایانی رشد با اوج گرمای تابستان مواجه شده و به ترتیب نیاز به حدود ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ متر مکعب آب وجود دارد. بیشترین تفاوت میان شهرستان‌های این ناحیه از نظر آب مصرفی نیز درست در همین دو مرحله انتهایی است. شهرستانی مثل اصفهان با سطوح زیر کشت بالاتر و تنوع بیشتر شرایط خاک و عوامل مدیریتی، بیشترین نیاز آبی را در بین شهرستان‌ها در این ناحیه اقلیمی داشته است. به هر حال هر گونه تنش رطوبتی در فاصله زمانی مراحل میانی و پایانی کاهش رشد

تر بوده و گیاه به سرعت وارد مرحله توسعه رشد می شود (تقریباً نیاز آبی مرحله رشد اولیه ۴۰۰ متر مکعب آب است). مراحل توسعه، مرحله میانی و مرحله پایانی رشد سیب زمینی به ترتیب حدود ۸۰۰، ۱۶۰۰ و متر مکعب آب نیاز است. اقلیم A-K-W با طول دوره رشد ۱۰۰ روزه مقدار آب معادل با اقلیم A-C-W مصرف کرده که خود بیانگر وجود آب کافی برای رشد سیب زمینی بوده و یا لاقل تنش رطوبتی وجود نداشته است. به نظر می رسد طول دوره رشد کوتاه و الزام به استفاده از ارقام

زودرس یکی از دلایل افت عملکرد در این ناحیه باشد (جدول ۲). واریته های زودرس اصولاً رشد رویشی کمتری داشته و در مناطقی می توانند بهره وری آب بیشتری داشته باشند که در آخر فصل با تنش رطوبتی مواجه باشیم و این واریته ها با فرار از این دوره اثرات مضر کم آبی را کاهش دهند (Spitters & Schapendonk, 1990). در اقلیم A-K-W استفاده از واریته های زودرس بدون کاهش مصرف آب باعث افت راندمان های بهره وری شده است. به نظر می رسد با توجه به منابع آبی موجود استفاده از ارقام زودرس پر محصول و اصلاح شیوه های مدیریت تولید در مزرعه چالشی باشد که شهرستان های این اقلیم با آن مواجهند.

ج - اقلیم SA-K-W

ده شهرستان عمده تولید کننده سیب زمینی در استان اصفهان شامل خوانسار، فریدن، فریدون شهر، بوبین، شهرضا، گلپایگان، چادگان، سمیرم، دهاقان و تیران در این ناحیه قرار دارند (جدول ۶). دو شهرستان تیران و دهاقان به ترتیب

کویری محسوب شده و اقلیم A-K-W در حقیقت مناطق بسیار محدودی از این شهرستان ها را در بر گرفته است (عمدتاً مناطق روستایی در مناطق کوهستانی). بهره وری آب بر اساس مقدار تبخیر و تعرق در این ناحیه دامنه ای از ۳/۷۲ تا ۴/۴۹ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب آب دارد (جدول ۵) که در مقایسه با بهره وری های مشاهده شده در اقلیم A-C-W اعداد کوچک تری محسوب می شوند. وضعیت مشابهی برای بهره وری آب در سامانه های آبیاری قطره ای، آبیاری بارانی و آبیاری جویچه ای مشاهده می شود. دو دلیل برای این تفاوت می توان عنوان کرد یکی عملکردهای پایین غده در این ناحیه است که خود ناشی از ضعف عوامل مدیریتی (مثل توسعه کم ماشین آلات خاک ورزی اولیه و ثانویه، مدیریت تغذیه ضعیف، مصرف غده های بذری خود مصرفی) می باشد. دلیل دیگری که در این رابطه می توان عنوان نمود وجود آب کافی (عمدتاً وابسته به قنوات و چاه ها) در این ناحیه (بر خلاف اقلیم A-C-W) است. در برخی از گزارش ها افزایش تأمین رطوبت در دسترس گیاه با کاهش بهره وری آب همراه بوده است (Onder et al., 2005; Yuan et al., 2003).

به هر حال در این ناحیه اقلیمی کشت سنتی سیب زمینی رواج داشته و سهم چندانی در تولید سیب زمینی استان اصفهان ندارد (مجموعاً کمتر از ۲۵۰ هکتار سطح کشت سیب زمینی). با توجه به تاریخ کاشت سیب زمینی (۵ خرداد)، مراحل فنولوژیک رشد در اقلیم A-K-W نسبت به اقلیم A-C-W متفاوت است (شکل ۲). مرحله رشد اولیه در این اقلیم نسبت به اقلیم A-C-W کوتاه

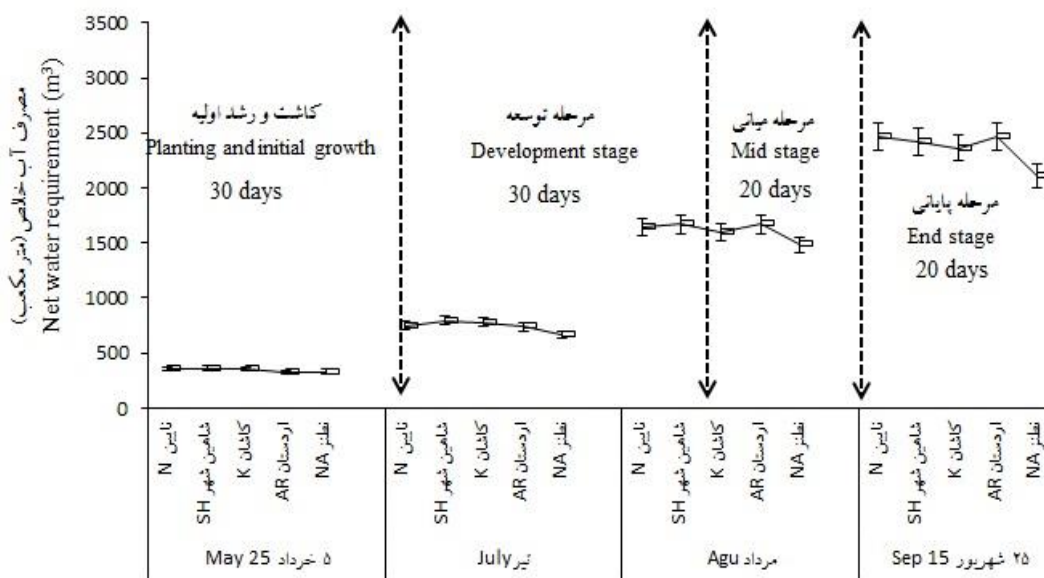
جدول ۵- مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب بر اساس مقدار تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب آبیاری بر اساس سه شیوه آبیاری قطره ای، بارانی و جریچه ای در اقلیم A-K-W

Table 5. Comparison of the water requirement, water productivity based on evapotranspiration and irrigation water productivity based on three methods of drip, sprinklers, and furrow irrigation in the A-K-W climate

نام شهر	نیاز خالص آبی در هکتار Net water requirement (ha ⁻¹)	بهره‌وری آب* (کیلوگرم بر متر مکعب)	بهره‌وری آب آبیاری** (کیلوگرم بر متر مکعب)	بهره‌وری آب آبیاری*** (کیلوگرم بر متر مکعب)	بهره‌وری آب آبیاری**** (کیلوگرم بر متر مکعب)
City name	Water productivity (kg m ⁻³)	Irrigation water productivity (kg m ⁻³)	Irrigation water productivity (kg m ⁻³)	Irrigation water productivity (kg m ⁻³)	Irrigation water productivity (kg m ⁻³)
ناین	5213.8 ^a	3.72 ^b	2.64 ^b	2.31 ^b	1.96 ^b
Naein					
شاهین شهر	5257.4 ^a	3.88 ^b	2.76 ^b	2.40 ^b	2.0 ^b
Shahin shahr					
کاشان	5103.7 ^a	3.85 ^b	2.74 ^b	2.40 ^b	2.0 ^b
Kashan					
اردستان	5209.8 ^a	3.88 ^b	2.75 ^b	2.40 ^b	2.0 ^b
Ardestan					
نظر	4609.2 ^b	4.49 ^a	3.19 ^a	2.79 ^a	2.3 ^a
Natanz					

* ، ** ، *** و **** به ترتیب عبارتند از بهره‌وری آب بر اساس نیاز تبخیر و تعرق (نیاز خالص)، آبیاری قطره ای (راندمان ۷۱ درصد)، آبیاری بارانی (راندمان ۶۲/۸ درصد) و آبیاری جریچه ای (راندمان ۲۷/۷ درصد). (Abbasi *et al.* 2015).

، * ، ** ، *** and **** are respectively indicative of water productivity based on crop evapotranspiration (net water requirement), drip irrigation (71% efficiency), sprinkler irrigation (62.1% efficiency) and furrow irrigation (52.7% efficiency) (Abbasi *et al.* 2015). The similar letters in each column are not statistically significantly different (Duncan test 5%).



شکل ۲- توزیع نیاز آبی سیب زمینی با توجه به مراحل فنولوژیک رشد در اقلیم A-K-W

Figure 2. Distribution of potato water requirement according to the phenological growth stages in the A-K-W climate

نیاز دارد. میانگین مصرف آب در این دوره به صورت روزانه ۰/۵ تا ۳ میلی متر ذکر شده است (Vreugdenhil *et al.*, 2007.) مرحله توسعه رشد گیاه در این ناحیه در تیر ماه و اوایل مرداد انجام می شود و حدود ۱۶۰۰ متر مکعب آب در این مرحله مصرف می شود. بخش مهمی از آب مصرفی زیادتر در شهرستان هایی مثل سمیرم به همین مرحله مربوط می شود (دمای بالاتر هوا و بافت سبک تر خاک نسبت به شهرستان های دیگر این ناحیه). مرداد و شهریور نقطه اوج نیاز آبی گیاه سیب زمینی در این اقلیم است. با این وجود در این دوره شهرستان هایی مثل فریدن، فریدون شهر، بویین، خوانسار و گلپایگان معمولاً نیاز آبی کمتری نسبت به سایر شهرستان های این ناحیه نشان دادند (شکل ۳). دماهای پایین تر هوا در این دوره دلیل اصلی کمتر بودن نیاز آبی در این شهرستان ها است. این دمای پایین تر اگرچه

با ۶۴۲۶ و ۶۲۲۹ متر مکعب آب مصرفی به طور معنی دار آب بیشتری نسبت به سایر شهرستان ها مصرف کرده اند. دامنه بهره وری آب بر اساس مقدار تبخیر و تعرق دامنه ای از ۳/۴۰ تا ۴/۹۶ داشت که با اعداد گزارش شده در کشور (۵/۳-۱/۹ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب آب) مطابقت دارد. (Rashidi & Gholami, 2008)

تفکیک نیاز آبی محصول سیب زمینی در اقلیم SA-K-W در شکل ۳ نشان داده شده است. از ۲۵ اردیبهشت تا اواخر خرداد که مرحله رشد اولیه سیب زمینی در این ناحیه است و ۳۵ روز به طول می انجامد، خنکی هوا اجازه رشد سریع گیاه را نمی دهد و بنابراین نیاز آبی در این دوره زیاد نیست (حدود ۲۸۰ متر مکعب) (شکل ۳). در سایر منابع نیز به این نکته اشاره شده است که دوره استقرار اولیه بیش از آن که به آب و مواد غذایی نیاز داشته باشد به دمای مناسب

جدول ۶- مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب بر اساس مقدار تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب آبیاری بر اساس سه شیوه آبیاری قطره‌ای، بارانی و جوینچه‌ای در اقلیم SA-K-W
 Table 6. Comparison of the water requirement, water productivity based on evapotranspiration and irrigation water productivity based on three methods of drip, sprinklers, and furrow irrigation in the SA-K-W climate

نام شهر City name	نیاز خالص آبی در هکتار Net water requirement (ha ⁻¹)	* بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب) Water productivity (kg m ⁻³)	** بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) Irrigation water productivity (kg m ⁻³)	*** بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) Irrigation water productivity (kg m ⁻³)	**** بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) Irrigation water productivity (kg m ⁻³)
خونسار Khansar	5581.8 ^{bc}	4.23 ^{ab}	3.00 ^{ab}	2.65 ^{ab}	2.22 ^{ab}
فریدن Freidan	5809.4 ^b	3.78 ^b	2.69 ^b	2.35 ^b	1.99 ^b
فریدون شهر Fereydunshahr	5340.4 ^c	3.93 ^b	2.79 ^{ab}	2.44 ^{ab}	2.07 ^{ab}
بوئین Buin	5371.0 ^c	4.00 ^b	2.85 ^{ab}	2.49 ^{ab}	2.11 ^{ab}
شهرضا Shahreza	5360.4 ^c	4.96 ^a	3.53 ^a	3.08 ^a	2.61 ^a
گیلان Golpayegan	5985.5 ^b	4.12 ^{ab}	2.93 ^{ab}	2.56 ^{ab}	2.17 ^{ab}
چادگان Chadegan	5044.8 ^c	4.54 ^{ab}	3.22 ^{ab}	2.82 ^a	2.39 ^{ab}
سمنان Semnan	5883.2 ^b	4.30 ^{ab}	3.06 ^{ab}	2.67 ^{ab}	2.26 ^{ab}
دهقان Dehghan	6228.7 ^a	3.40 ^b	2.42 ^b	2.11 ^b	1.79 ^b
تیران Tiran	6425.8 ^a	3.67 ^b	2.61 ^b	2.28 ^b	1.93 ^b

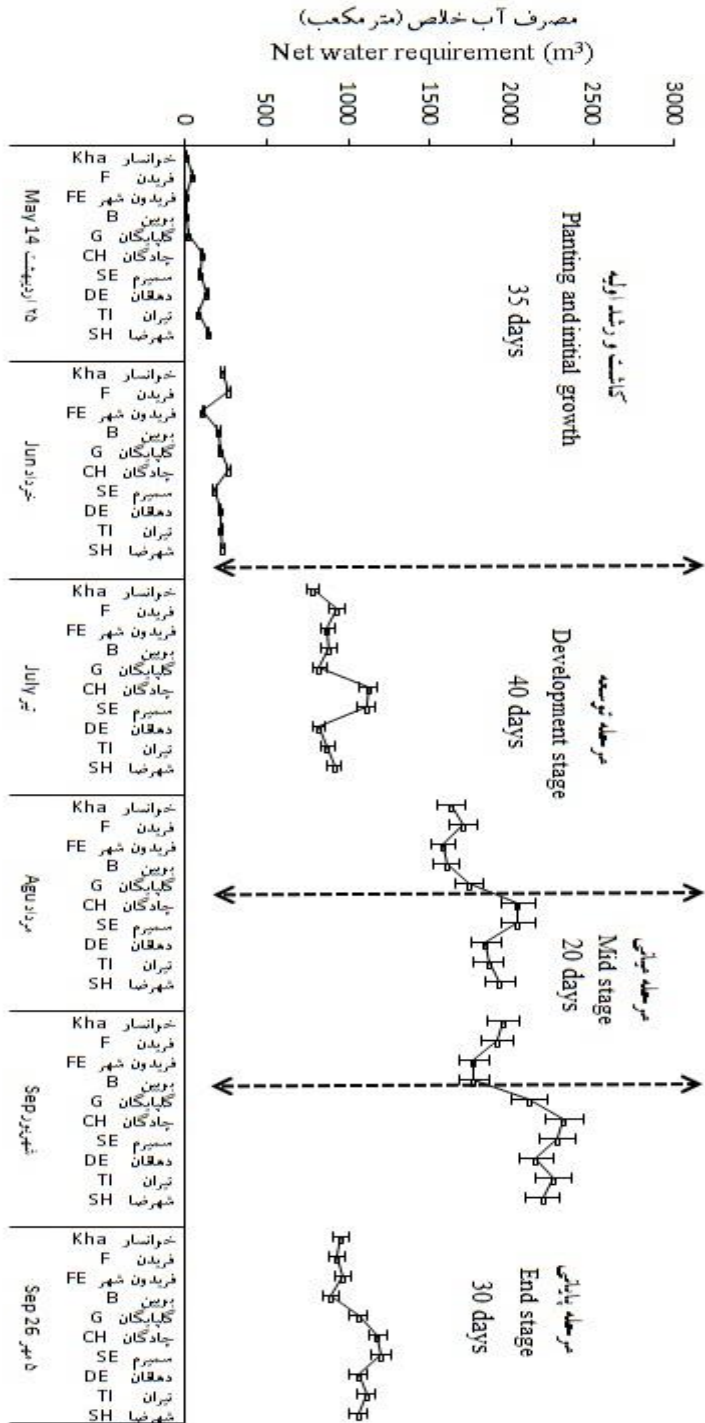
* ، ** ، *** و **** به ترتیب عبارتند از بهره‌وری آب بر اساس نیاز تبخیر و تعرق (نیاز خالص)، آبیاری بارانی (راندمان ۷۱ درصد)، آبیاری جوینچه‌ای (راندمان ۷۷ درصد)، (Abbasi *et al.* 2015). حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری تفاوت معنی دار ندارند (دانکن در سطح ۵ درصد).

**** and ***** are respectively indicative of water productivity based on crop evapotranspiration (net water requirement), drip irrigation (71% efficiency), sprinkler irrigation (62.1% efficiency) and furrow irrigation (52.7% efficiency) (Abbasi *et al.* 2015).

The similar letters in each column are not statistically significantly different (Duncan test 5%).

هرز و بیماری‌ها و استفاده مداوم از غده های سیب زمینی خود مصرفی برای کشت مجدد. در برخی از پژوهش‌ها تنها کنترل علف‌های هرز باعث افزایش دو برابری عملکرد و بهره‌وری استفاده از آب شده است (Christen *et al.*, 2006). یکی دیگر از عوامل مهم دخیل در کاهش عملکرد غده سیب زمینی در این اقلیم علاقه کشاورزان برای انتخاب ارقام دیررس مثل آگریا است. در سال‌هایی که به دلیل بارش‌های بهاره، تاریخ کاشت با تأخیر مواجه شود و یا سرماهای زودرس در پاییز رشد گیاه را متوقف نماید، بخش زیادی از محصول ارقام دیررس به صورت غده های غیر قابل فروش درآمده و باعث افت عملکرد می‌گردد (Jalali, 2013). به هر حال توجه به مواردی مثل انتخاب رقم مناسب منطقه، مبارزه صحیح با آفات و بیماری‌ها استفاده از کودهای پتاسیم دار و انتخاب تاریخ کاشت مناسب از عوامل مدیریتی است که می‌تواند موجب افزایش چشم گیر عملکرد در این ناحیه اقلیمی شود. مقایسه نیاز آبی محصول سیب زمینی در دو سند ملی آب کشور (Ministry of agriculture and meteorology, 2001) و برآورد نیاز آبی گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (Farshi *et al.*, 1997) با مطالعه حاضر در جدول ۷ نشان داده شده است. اولین نکته ای که در این جدول قابل ذکر است فقدان اطلاعات جامع در مورد زراعت سیب زمینی در نواحی مختلف است. به عنوان مثال در اقلیم A-C-W سالیانه بیش از ۴۰۰۰ هکتار سیب زمینی کشت می‌شود که در زمان تهیه سند ملی آب و دیگر پژوهش های مشابه (۲۰ سال قبل) این مقدار سطح در این

از نقطه نظر نیاز آبی مطلوب است اما در برخی از مواقع مانع تجمع دمای مورد نیاز برای رسیدن محصول شده و در صورت استفاده از ارقام دیررس ممکن است موجب افت عملکرد شود. مرداد و شهریور (مرحله میانی و انتهایی) مصادف با رشد سریع غده‌ها بوده و عدم تأمین آب کافی در این دوره موجب افت عملکرد خواهد شد. در سایر پژوهش‌ها نیز طول این دوره رشد را ۴۵ تا ۶۵ روز عنوان کرده و نیاز روزانه به آب را ۵ تا ۷ میلی‌متر گزارش کرده‌اند (Vreugdenhil *et al.*, 2007). سیب زمینی به دلیل ریشه های سطحی و قدرت کم گیاه برای بازسازی پس از تنش به کمبود آب حساس بوده و به ویژه اگر این تنش با آغاز حجیم شدن غده‌ها همراه شود افت قابل توجه عملکرد غده را به همراه خواهد داشت (Carli *et al.*, 2014). محدودیت منابع آبی در این ناحیه اقلیمی به حالت بحرانی وجود ندارد. اما عملکردهای سیب زمینی در مقایسه با اقلیمی مثل A-C-W و یا متوسط کشوری پایین بوده و عموماً بین ۲۰-۲۵ تن در هکتار است (جدول ۲). به عنوان مثال در شهرستانی مثل شهرستان چادگان بهره‌وری آب در سه شیوه آبیاری قطره‌ای، آبیاری بارانی و آبیاری جویچه ای به ترتیب برابر ۳/۲۲، ۲/۸۲ و ۲/۳۹ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب است. وضعیت مشابهی در شهرستان‌های دهاقان و حتی تیران قابل مشاهده است. توجه ناکافی به عوامل مدیریتی یکی از دلایل اصلی افت عملکرد سیب زمینی در این ناحیه است. برخی از مهم‌ترین این عوامل عبارتند از: تأخیر در کاشت به علت تداوم طول دوره رشد غلات پاییزه، عدم کنترل علف‌های



شکل ۳- توزیع نیاز آبی سیب زمینی با توجه به مراحل فنولوژیک رشد در اقلیم SA-K-W
Figure 3. Distribution of potato water requirement according to the phenological growth stages in the SA-K-W climate

جدول ۷- مقایسه اعداد نیاز خالص آبیاری در سند ملی آب، پژوهش فرشی و همکاران و مطالعه حاضر

Table 7. Comparison of the values of the net water requirement in the national water document of Iran, the study of Farshi *et al.* (1997) and current research

نام شهر City name	نیاز خالص آبی پژوهش حاضر Net water requirement (ha ⁻¹) in the current research	نیاز خالص آبی در سند ملی Net water requirement (ha ⁻¹) in the national water document of Iran	نیاز خالص آبی پژوهش فرشی و همکاران Net water requirement (ha ⁻¹) in the study of Farshi <i>et al.</i> (1997)
	اقليم A-C-W A-C-W Climate		
اصفهان Esfahan	5432	-	6154
نجف آباد Najafabad	5181	6340	-
فلاورجان Falavarjan	5024	-	5966
مبارکه Mobarake	4574	4670	-
خمينی شهر Khomeinshahr	5152	-	-
لنجان Lenjan	4801	4800	-
	اقليم A-K-W A-K-W Climate		
ناین Naein	5214	-	-
شاهین شهر Shahin shahr	5257	7190	-
کاشان Kashan	5104	6300	-
اردستان Ardestan	5209	-	-
نطنز Natanz	4609	5810	-
	اقليم SA-K-W SA-K-W Climate		
خوانسار Khansar	5582	7520	6531
فریدن Freidan	5809	6900	-
فریدون شهر Fereydunshahr	5340	6950	-
بوين Buin	5371	6920	-
شهرضا Shahreza	5360	5690	-
گلبایگان Golpayegan	5985	7780	7139
چادگان Chadegan	5045	5060	-
سیرم Semirom	5883	5390	-
دهاقان Dehaghan	6228	-	-
تیران Tiran	6425	5450	-

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش نیاز آبی خالص گیاه سیب زمینی در هر هکتار در سه اقلیم A-C-W، A-K-W و SA-K-W استان اصفهان به ترتیب دامنه ای معادل (۵۴۳۲-۴۶۷۴)، (۵۲۵۷-۴۶۰۹) و (۶۴۲۵-۵۳۴۰) متر مکعب دارد. این اعداد بیانگر آن است که برخلاف تبلیغات جاری مبنی بر نیاز آبی بالای این محصول، در صورت مدیریت صحیح مزرعه و داشتن راندمان مناسب آبیاری، سیب زمینی محصولی مشابه سایر محصولات در تناوب‌های زراعی است. به عنوان مثال اگر بخواهیم بهره وری آب در سامانه آبیاری جویچه ای که بیشترین سطوح کشت با استفاده از آن آبیاری می شوند را مبنا قرار دهیم، در اقلیم A-C-W شهرستان نجف آباد با متوسط عملکرد ۲۹/۳۸ تن در هکتار و نیاز آبی ۵۱۸۱/۵ متر مکعب در هکتار و شهرستان فلاورجان با متوسط عملکرد ۴۰/۸ تن در هکتار و نیاز آبی ۵۰۲۴ متر مکعب در هکتار (با احتساب راندمان ۵۲/۷ درصد) به ترتیب بهره وری آبی معادل ۲/۹۹ و ۴/۲۸ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب داشتند. در اقلیم A-K-W شهرستان های ناین و نظنز به ترتیب با عملکردهای ۱۹/۴ و ۲۰/۷ تن در هکتار و نیاز آبی ۵۲۱۴ و ۴۶۰۹ متر مکعب در هکتار، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار بهره وری آب (۱/۹۶ تا ۲/۳ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب) را به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار بهره وری آب در اقلیم SA-K-W مربوط به شهرستان دهاقان (متوسط عملکرد ۲۱/۲ هکتار و نیاز آبی ۶۲۲۹ متر مکعب در هکتار) به میزان ۱/۷۹

ناحیه وجود نداشته است. بنابراین مطالعه حاضر سعی کرده نگاه به روز تری به سطوح کشت سیب زمینی داشته باشد. در اقلیم A-C-W اعداد نیاز آبی سیب زمینی در شهرستان های نجف آباد و مبارکه نسبت به سند ملی آب به ترتیب ۱۸/۲ و ۲ درصد کاهش و در شهرستان لنجان برابر سند ملی آب بود (جدول ۷).

در دو شهرستان اصفهان و فلاورجان نیز به ترتیب روند کاهشی ۱۱/۷ و ۱۵/۸ درصدی نسبت به مطالعه Farshi et al. (1997) مشاهده شد. در اقلیم A-K-W، سه شهرستان شاهین شهر، کاشان و نظنز به ترتیب نسبت به نیاز آبی برآورد شده در سند ملی ۲۶،۱۹/۹ و ۲۰/۷ کاهش نشان دادند. در اقلیم SA-K-W که مهم ترین اقلیم کشت سیب زمینی در استان اصفهان محسوب می شود همه برآوردهای نیاز آبی در مطالعه حاضر نسبت به دو مطالعه دیگر کمتر بود. درصد کاهش برآورد نیاز آبی سیب زمینی در این اقلیم نسبت به سند ملی دامنه ای از ۰/۳ درصد (در چادگان) تا ۲۵/۸ درصد (در خوانسار) داشت. اینکه چرا اعداد ذکر شده برای نیاز آبی سیب زمینی در مطالعه حاضر و پژوهش های قبل متفاوت هستند مسئله عجیبی نیست. فناوری و ابزار هر کدام از این پژوهش ها متفاوت بوده و تغییرات انجام شده در چگونگی تولید محصولات در حال حاضر با دو دهه قبل قابل مقایسه نیست. نویسندگان معتقدند در شرایط فعلی استفاده از نتایج پژوهش حاضر برای استان اصفهان می تواند دقت بیشتری نسبت به پژوهش های قبل فراهم نماید.

سیاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می دانند از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان به ویژه مدیریت آب و خاک سازمان به جهت همکاری و تأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش سپاسگزاری نمایند.

کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب و بیشترین مقدار آن معادل ۲/۶۱ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب مربوط به شهرستان شهرضا (متوسط عملکرد ۲۶/۶ تن در هکتار و نیاز آبی ۵۳۶۰ متر مکعب در هکتار) بود. بنابراین در کشت سیب زمینی بیش از آنکه مسئله نیاز آبی به عنوان عامل محدود کننده مطرح باشد، سایر عوامل خارج از مزرعه و سیاست گذاری های مرتبط با کشت سیب زمینی حائز اهمیت هستند.

منابع

- Abbasi, F., Sohrab, F., and Abbasi, N. 2015. Evaluating on irrigation efficiencies and temporal and spatial variations in Iran. Technical Report, Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Karaj, Iran. 54pp. (In Persian with English abstract).
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. NO. 56, Rome, Italy
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., and Wright, J.L. 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131: 2-13.
- Carli, C., Yuldashev, F., Khalikov, Condori, B., Mares, V., and Monneveux, A. 2014. Effects of different irrigation regimes on yield, water use efficiency and quality of potato in the lowlands of Tashkent, Uzbekistan: A field and modeling perspective. *Field Crops Research* 163:90-99.
- Christen, E. Ayars, J. Hornbuckle, J. Hickey, M. 2006. Technology and Practice for Irrigation in Vegetables. NSW Department of Primary Industries, State of NewSouth Wales, Australia, 53pp.
- Dehghan, A., Zabihi-Afrouz, R., and Hosseini, M. 2009. Water use efficiency of crops for Iran and compare it with countries of the world. Research Institute of Planning, Economics and Rural Development, Ministry of Agriculture, Tehran, 82 pages. (In Persian).
- Fabeiro, C., de Santa Olalla, F.M. and De Juan, J.A., 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management*, 48:255-266.
- Farshi, A.A., Shariati, M.R., Jaroollahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabifar M., and Tavallaei, M.M. 1997. An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran, Vol: Field crops. Agricultural Education, Agricultural Research, Education and Extension organization of Iran. Karaj, Iran.
- Food and Agriculture Organization. 2014. FAOSTAT, Retrieved January 12, 2014, from <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>. (accessed 10 September 2014)
- Ghaffari, A. Ghasemi V.R., and Pauw E. D. 2015. Agro-Climatically Zoning of Iran by UNESCO approach. *Dryland Agriculture* 1:64-95.
- Heydari, N. 2012. Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmer's management in Iran. *Journal of Water and Irrigation Management*. 1: 43-57. (In Persian).
- Iwama, K. 2008. Physiology of the potato: new insights into root system and repercussions for crop management. *Potato Research* 51: 333-338.
- Jalali, A.H., 2013. Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) yield response to simulated hail damage.

- Archives of Agronomy and Soil Science*, 59:981-987.
- Janket, A., Jogloy, S., Vorasoot, N., Kesmla, T., Holbrook, C.C., Patanothai, A. 2013. Genetic diversity of water use efficiency in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) germplasm. *Australian Journal of Crop Science* 7: 1670-1681.
- Katerji, N., Mastrorilli, M. and Rana, G. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28: 493-507.
- Ministry of Agriculture and Meteorology. 2001. National Water Evidence of Iran (Water requirement of plants, crop cultivation pattern, and irrigation efficiency), Tehran. Iran. (In Persian).
- Onder, S., Caliskan, M.E., Onder, D., Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. *Agricultural water management* 73:73-86.
- Rashidi, M. and Gholami, M. 2008. Review of crop water productivity values for tomato, potato, melon, watermelon and cantaloupe in Iran. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10: 432-436.
- Ruttanaprasert, R., Jogloy, S., Vorasoot, N., Kesmla, T., Kanwar, R.S., Holbrook, C.C. and Patanothai, A. 2016. Effects of water stress on total biomass, tuber yield, harvest index and water use efficiency in Jerusalem artichoke. *Agricultural Water Management*, 166:130-138.
- Sinclair, T. R. 2011. Challenges in breeding for yield increase for drought. *Trends in plant science* 16: 289-293.
- Spitters, C., and Schapendonk, A. 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. In Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. Springer Netherlands. pp. 151-161.
- Ünlü, M., Kanber, R., Şenyigit, U., Onaran, H. and Diker, K. 2006. Trickle and sprinkler irrigation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Middle Anatolian Region in Turkey. *Agricultural water management*, 79:43-71.
- Vos, J., Groenwold, J. 1989. Characteristics of photosynthesis and conductance of potato canopies and the effect of cultivar and transient drought. *Field Crops Research* 20: 237-250.
- Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., Mackerron, K.L.L., Taylor, M.A. and Ross, H.A. 2007. Potato biology and biotechnology. Advances and perspectives. First edition Elsevier Ltd. 823pp.
- Xie, K., Wang, X.X., Zhang, R., Gong, X., Zhang, S., Mares, V., Gavilán, C., Posadas, A. and Quiroz, R. 2012. Partial root-zone drying irrigation and water utilization efficiency by the potato crop in semi-arid regions in China. *Scientia Horticulturae*, 134:20-25.
- Yavuz, D., 2011. Comparison of different irrigation methods in term of water use, yield and energy consumption in potato cultivation (Doctoral dissertation, PhD. Thesis, Graduate School of Natural Sciences, Selcuk Uni., Turkey, 117 PP.

- Yavuz, D., Suheri, S. and Yavuz, N. 2016. Energy and water use for drip irrigated potato in the Middle Anatolian region of Turkey. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 35:212-220.
- Yuan, B.Z., Nishiyama, S. and Kang, Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. *Agricultural water management*, 63:153-167.

Determination of water requirement for potato in different climates of Isfahan province

A. Jalai^{*1}, H. Salemi², A. Nikouei³, S. Gavangy⁴, M. Rezaei⁵, M. Khodaghohi⁶,
N. Toomanian⁶, N. Toomanian⁷

1. Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran. . (Corresponding author)
2. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
3. Assistant Professor, Economic, Social and Extension Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
4. MSc. graduate of Irrigation and Drainage
5. Research trainer, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
6. Associate Professor, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
7. Associate Professor, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Received: October 2017 Accepted: July 2018

Extended Abstract

A. Jalai, A., Salemi, H., Nikouei, A., Gavangy, S., Rezaei, M., Khodaghohi, M., Toomanian, N.,
Determination of water requirement for potato in different climates of Isfahan province
Applied Research in Field Crops Vol 30, No. 4, 2017 10-12: 53-73(in Persian)

Introduction: Potato (*Solanum tuberosum* L.) is an annual and autotetraploid plant, which belongs to the family of Solanaceae. Global production of this crop was 385 million tons in 2014 with Asian countries approximately accounting for 40 % of the production (FAO, 2014). Potato requires 400 to 850 mm of irrigation water to grow, nevertheless, some researchers have reported that water needs of the crop could reach 900 mm (Carli *et al.*, 2014). Potato crop, as a drought-sensitive plant, may suffer yield losses even under mild-water stress conditions due to its shallow rooting system and limited ability for recovery after water stress. Water use efficiency for potato can be defined as the ratio of the tuber yield to evapotranspiration. Water use efficiency in potato-based evapotranspiration has been reported to be 1.9 to 5.3 kg.m⁻³. There are considerable discrepancies in the values determined for the crop water requirement by major references such as national water document of Iran, the study of Farshi *et al.*, (1997) and NETWAT software. This has become more problematic because of climate change in recent

Email address of the corresponding author: jalali51@yahoo.com

years. The aim of the study was to evaluate the potato crop water demand and to determine its water use efficiency at different phenological stages in Isfahan province.

Materials and Methods: This research was carried out in 2014-2015 in two potato growing seasons (February /March sowing for temperate regions and May/ June sowing for cold regions) in different cities of Isfahan province where the cultivation of potato is prevalent. According to UNESCO methodology using agroclimatic zone map of Iran constructed based on three main criteria including moisture regime, winter and summer types, 28 climatic zones can be identified in Iran, of which, six zones encompass more than 90 % of the country. Accordingly, three main climatic zones can be distinguished for the cultivation of potatoes in Isfahan province, Crop evapotranspiration, which is influenced by weather conditions and plant growth stages, represents the amount of water required by a healthy plant on a farm without water restriction and was calculated from the following equation: $ET_{crop} = \sum K_{ci} \times ET_{oi}$; where K_{ci} and ET_{oi} are crop coefficient, and the reference crop evapotranspiration, respectively. An unbalanced completely randomized design was used to analyze the data obtained from each potato cropping zone. The means were compared by Duncan's multiple range tests at 5% probability level.

Results and Discussion: Analysis of data for different cities located in three agro-climatic potato growing zones of A-C-W, A-K-W and SA-K-W in Isfahan province indicated that there were significant differences in water use rate and water productivity ($P \leq 1\%$) and crop water consumption at different phenological stages ($P \leq 5\%$). In the climate of A-C-W (including 6 cities), the highest and lowest water requirements were respectively associated with the cities of Isfahan (5432 m^3) and Mobarake (4674 m^3). Under this climate, water consumption based on three methods of drip, sprinkler and furrow irrigation was (4.03-5.30), (3.52-5.04), and (2.99-4.28) kg.m^{-3} , respectively. These figures fall in the range of values reported by other researchers (4.9-9.3 kg.m^{-3}). Water stress condition in the region is one of the reasons for high water productivity. In A-K-W climate (including 5 cities), the net water consumption per hectare ranged from 4609 m^3 (Natanz) to 5257 m^3 (Shahin Shahr). Under SA-K-W climate (including 10 cities), the highest water requirement (6426 m^3) and the lowest water productivity under furrow irrigation (1.79 kg.m^{-3}) were related to Tiran and Dehaghan, respectively. On average, the water requirement for potato production in three climates of A-C-W, A-K-W and SA-K-W was 5044, 5078 and $5703 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, respectively.

Conclusions: According to our results, contrary to what is being promoted about the high water requirement of potato, if proper farm management is practiced and

the water productivity is improved, potato similar to other crops can be included in rotations. Even under furrow irrigation, water productivity (expressed as $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) in three climates of A-C-W, A-K-W and SA-K-W was in a range of (2.99-3.94), (1.96-2.3) and (1.79-2.61), respectively. These figures are higher than what has been reported for cereal grains such as wheat and barley. This shows that external factors beyond farm and also policies related to potato production are more important limiting factors for potato than water requirement.

Keywords: Irrigation, water productivity, potato, yield

References:

- Carli, C., Yuldashev, F., Khalikov, Condori, B., Mares, V., and Monneveux, A. 2014. Effects of different irrigation regimes on yield, water use efficiency and quality of potato in the lowlands of Tashkent, Uzbekistan: A field and modeling perspective. *Field Crops Research* 163:90-99.
- Farshi, A.A., Shariati, M.R., Jaroollahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabifar M., and Tavallaei, M.M. 1997. An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran, Vol: Field crops. Agricultural Education, Agricultural Research, Education and Extension organization of Iran. Karaj, Iran.
- Food and Agriculture Organization. 2014. FAOSTAT, Retrieved January 12, 2014, from <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>. (accessed 10 September 2014)