

قابلیت کاربرد شاخص CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت با آب شور در اهواز

مهری سعیدی نیا^{1*}، سعید برومند نسب²، عبدالرحیم هوشمند³، امیر سلطانی محمدی⁴، بهرام اندرزبان⁵

تاریخ دریافت: 93/05/02 تاریخ پذیرش: 94/08/18

¹ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

² استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

³ دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

⁴ استادیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

⁵ استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehri_saeedinia@yahoo.com

چکیده

برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط وجود تنش آبی و شوری، مشکل‌تر از برنامه‌ریزی آبیاری عادی است. برای بررسی پدیده تنش آبی گیاهان شاخص‌های متعددی ارائه شده است که یکی از آن‌ها شاخص تنش آبی گیاه¹ است. به‌منظور بررسی قابلیت این شاخص در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت (رقم KSC-704)، در شرایط استفاده از آب شور، در سال زراعی 93-1392، تحقیقی شامل 5 تیمار شوری آب آبیاری (S₀: آب کارون با شوری 2/3، S₁: آب با شوری 3/5، S₂: آب با شوری 4/5، S₃: آب با شوری 5/5 و S₄: آب با شوری 6/5 dS m⁻¹) به‌صورت مزرعه‌ای، در دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا گردید. نتایج نشان داد معادله خط مبنای پایین (بدون تنش) برای گیاه ذرت تابستانه به‌صورت (T_c-0.221VPD T_a)_{i,l}=2.161- و معادله خط مبنای بالا (تنش کامل) برابر Ch=3.69⁰ و مقدار شاخص CWSI که مبنای برنامه ریزی آبیاری هست 0/23 محاسبه شد. با افزایش شوری آب آبیاری، دمای پوشش سبز افزایش یافت. بنابراین می‌توان از شاخص CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط استفاده از آب شور هم استفاده کرد. به‌ازای افزایش شوری از dS m⁻¹ 2/2 به 6/5 dS m⁻¹، اختلاف دمای پوشش سبز نسبت به دمای هوا، حدود 3 درجه سلسیوس، افزایش پیدا کرد. در این تحقیق میزان CWSI در روز قبل از آبیاری، برای تیمار شاهد (آب کارون) 0/23، برای شوری‌های 3/5 برابر 0/35، برای شوری 4/5 برابر 0/46، برای شوری 5/5 برابر 0/58 و برای شوری 6/5 dS m⁻¹ برابر 0/73 محاسبه گردید. نتایج نشان داد، با تغییر شوری از 2/2 تا 6/5 dS m⁻¹ میزان شاخص CWSI حدوداً سه برابر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، دمای پوشش سبز گیاه، ذرت، شاخص تنش آبی گیاه، شوری

Applicability of CWSI Index for Irrigation Scheduling of Maize Using Saline Water in Ahvaz

M Saeedinia*¹, S Broomand Nasab², A Hooshmand³, A Soltani Mohammadi⁴, B Andarzian⁵

Received: 24 July 2014

Accepted: 09 November 2015

¹Ph.D. Student., Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

²Prof., Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

³Assoc. Prof., Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

⁴Assist. Prof., Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

⁵Assist. Prof., Agricultural & Natural Resources Research Center of Khuzestan, Iran

*Corresponding Author, Email: mehri_saeedinia@yahoo.com

Abstract

Irrigation scheduling under water and salinity stresses is more difficult than normal conditions. To investigate the effect of water stress on crop growth, numerous indices have been introduced which one of them is crop water stress index (CWSI). To evaluate the suitability of this index for irrigation scheduling of corn (maize) with using saline water, a field experiment consisted of irrigation water with five salinity levels (S_0 : Caroon River ($EC=2.3 \text{ dS m}^{-1}$), S_1 : $EC=3.5 \text{ dS m}^{-1}$, S_2 : $EC=4.5 \text{ dS m}^{-1}$, S_3 : $EC=5.5 \text{ dS m}^{-1}$ and S_4 : $EC=6.5 \text{ dS m}^{-1}$) was conducted at the research station of Shahid Chamran University, Iran. Results showed that the lower baseline equation (without stress) for the summer corn was $(T_c - T_a)_{II} = 2.161 - 0.221 \text{ VPD}$ and the upper baseline equation (with full stress) was $h = 3.69^\circ\text{C}$. The CWSI value as a base for irrigation scheduling was calculated to be 0.23. Also it was found that increasing water salinity caused to increase the foliage temperature. Thus, CWSI may be used for irrigation scheduling under conditions of using saline water. By increasing water salinity from 2.2 to 6.5 dS m^{-1} , the temperature difference between the canopy and air was increased by 3°C , approximately. In this research, CWSI values at the day just before the irrigation were 0.23 for S_0 , 0.35 for S_1 , 0.46 for S_2 , 0.58 for S_3 and 0.73 for S_4 scenarios. Also results showed by increasing water salinity from 2.3 to 6.5 dS m^{-1} , CWSI increased about three times.

Keywords: Canopy temperature, Crop water stress index, Irrigation scheduling, Maize, Salinity

مقدمه

صنعت در اولویت قرار دارد، بنابراین در بخش کشاورزی می‌توان کاربرد آب‌های با کیفیت پایین و به عبارت دیگر آب‌های نامتعارف (آب زهکش‌ها، فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی، آب‌های شور زیرزمینی و...) را به عنوان یک منبع آب در نظر گرفته و آن را به عنوان یکی از راهکارهای توسعه کشاورزی پایدار، منظور نمود (شهیدی 1387). برنامه‌ریزی با آب شور بسیار مشکل‌تر

دشت خوزستان با اراضی بسیار گسترده و تقریباً هموار، یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران است. استان خوزستان با توجه به پتانسیل امکان کشت ذرت در دو فصل زراعی تابستان و زمستان جایگاه ویژه‌ای برای کشت این محصول محسوب می‌شود. لذا داشتن یک برنامه آبیاری خوب، برای این گیاه ضروری هست. استفاده از آب‌های شیرین برای شرب، بهداشت و

آبیاری با استفاده از شاخص تنش گیاه CWSI در شرایط آبیاری با آب شور هست.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی شماره یک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز با عرض جغرافیایی 31 درجه و 18 دقیقه و 10 ثانیه شمالی و طول جغرافیایی 48 درجه و 39 دقیقه و 41 ثانیه شرقی با ارتفاع حدود 20 متر از سطح دریا و در فصل زراعی 93-1392 روی کشت تابستانه ذرت (رقم 704-KSC) با روش آبیاری جویچه‌ای انجام شد. میانگین عوامل هواشناسی در طول فصل زراعی و میانگین بلندمدت عوامل هواشناسی در اهواز در جدول‌های 1 و 2 ارائه شده است.

آزمایش‌های مزرعه‌ای

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش در جدول 3 ارائه شده است. طرح آزمایشی مورد نظر در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با 5 تیمار شوری آب آبیاری در سه تکرار اجرا شد. ابعاد کرت‌های فرعی 4/5 (متر در متر) و فاصله کرت‌ها 1 متر در نظر گرفته شده است. طرح مورد نظر در شکل 1 نشان داده شده است. مراحل آماده‌سازی زمین شامل استفاده از گاوآهن و دو بار دیسک بود که در تیرماه 1392 انجام شد. کاشت گیاه ذرت رقم 704-KSC در اول مرداد انجام گرفت. با توجه به آزمایش حاصل-خیزی خاک، مقدار اوره به میزان 400 (1/3 پایه و 2/3 سرک)، سولفات پتاسیم 200 و سوپر فسفات تریپل 100 کیلوگرم در هکتار داده شد. فاصله ردیف‌ها 75 سانتی-متر انتخاب گردید. تیمارهای آبیاری آزمایش عبارت بودند از: 1- تیمار شاهد (S_0): آب آبیاری با آب رودخانه کارون با هدایت الکتریکی 2/3 دسی‌زیمنس بر متر، 2- تیمار اول (S_1): آب آبیاری با هدایت الکتریکی 3/5 دسی‌زیمنس بر متر، 3- تیمار دوم (S_2): آب آبیاری با هدایت الکتریکی 4/5 دسی‌زیمنس بر متر، 4- تیمار سوم

از برنامه‌ریزی آبیاری با آب معمولی است. مدیر مزرعه نه‌تنها باید میزان آب باقیمانده در پروفیل خاک را ارزیابی نماید، بلکه بایستی درجه تحمل گیاه برای تنش و چگونگی اثر تنش و میزان آن روی عملکرد و کیفیت محصول را بررسی نماید. متخصصین برای نیل به این هدف از روش‌های متفاوتی استفاده می‌کنند. شاخص‌های مزرعه‌ای، یکی از مقوله‌های مهم هست که جهت ارزیابی شرایط مزرعه و محصول و در نهایت استفاده بهینه از شرایط موجود، می‌توان از آن بهره جست. روش‌های زمان‌بندی آبیاری به سه دسته استفاده از روش بیلان آبی، استفاده از نمایه‌های خاک و استفاده از نمایه‌های گیاهی تقسیم می‌شوند (طاهری قناده 1381). سعی محققان بر آن بوده که بتوان از روش‌هایی استفاده کرد که از کلیه عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق و جذب گیاه جهت انتخاب برنامه آبیاری مناسب‌تر استفاده نمود. به-همین منظور در بررسی پدیده تنش آبی گیاهان شاخص‌های متعددی ارائه شده (برومند نسب و همکاران 1383). یکی از معتبرترین شاخص‌ها، شاخص تنش آبی¹ گیاه است که به اختصار CWSI نامیده می‌شود. این شاخص هم از جنبه نظری و هم از دیدگاه مشاهدات مزرعه‌ای از قابلیت بالایی برخوردار بوده و از مقبولیت زیادی برخوردار است (جکسون و همکاران 1981). شاخص تنش آبی گیاه برای استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری و ارزیابی عواملی نظیر تنش آبی گیاه، میزان تعرق، مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها و فتوسنتز توسط بسیاری از محققان از جمله جکسون و همکاران (1981)، کار و کومار (2007)، گونتیا و تیواری (2008)، لی و همکاران (2010)، لبورگنوس و همکاران (2010)، وانگ و گارتیونگ (2010)، اوشاوقنسی و همکاران (2012)، طاهری قناده (1381) و وردی نژاد و همکاران (1386) مورد استفاده قرار گرفته است. قابلیت شاخص CWSI تحت شرایط تنش ناشی از شوری کمتر بررسی شده است. لذا هدف از این تحقیق بررسی امکان برنامه‌ریزی

¹Crop water stress index

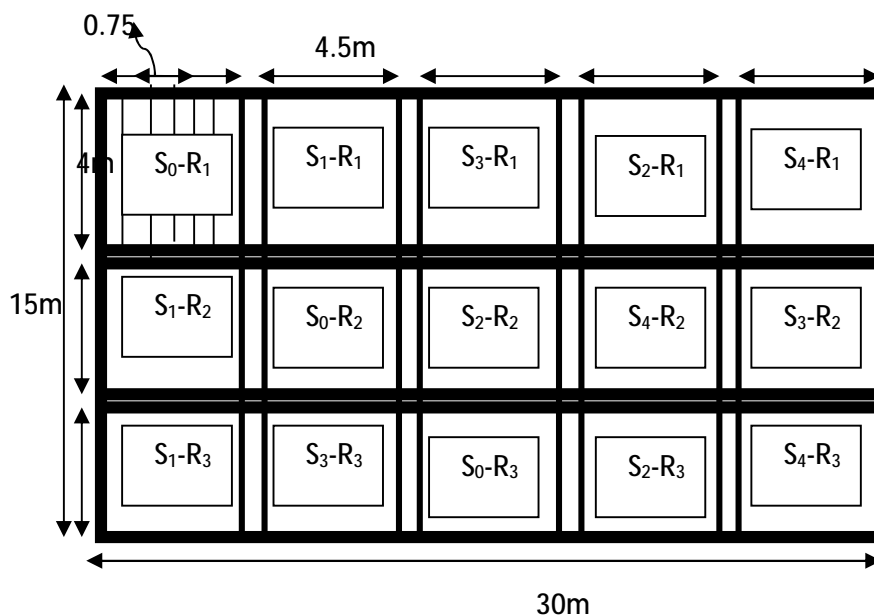
(S₃): آب آبیاری با هدایت الکتریکی 5/5 دسی‌زیمنس بر الکتریکی 6/5 دسی‌زیمنس بر متر.
متر و 5- تیمار چهارم (S₄): آب آبیاری با هدایت

جدول 1- میانگین مقادیر عوامل هواشناسی در طول فصل زراعی در منطقه مورد مطالعه.

پارامتر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
میانگین دمای بیشینه (°C)	45/1	43/7	36/3	27/7
میانگین دمای کمینه (°C)	28/8	26/4	18/6	15/2
میانگین رطوبت نسبی (%)	30	38	35	61
سرعت باد (m S ⁻¹)	7/1	5/4	5/2	4
میانگین تبخیر از طشتک (mm)	16/6	12/8	9/9	4
میانگین بارندگی (mm)	0	0	0	1/9

جدول 2- میانگین ماهانه 30 سال آمار دما و بارندگی در اهواز.

پارامتر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
دمای کمینه (°C)	23/9	19/8	14/0	6/8
دمای بیشینه (°C)	50/6	48/3	44	35
میزان بارندگی (mm)	0/1	0/2	3/2	30/6



شکل 1- نقشه

شماتیک

طرح آزمایشی.

رابطه زیر محاسبه گردید. در این تحقیق دور آبیاری ثابت و به طور متوسط هفت روز انتخاب شد.

$$d_n = (W_{fc} - W_i) \cdot \rho_b \cdot D \quad [1]$$

که در آن d_n : عمق خالص آب آبیاری W_{fc} و W_i (mm) به ترتیب درصد وزنی رطوبت در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و موجود در خاک، ρ_b : جرم مخصوص ظاهری خاک gcm^{-3} و D : عمق توسعه ریشه (mm) هست.

برای تهیه آب با شوری مختلف از ترکیبات CaCl_2 ، NaCl و MgCl_2 استفاده شد. نسبت ترکیبها به گونه‌ای بود که SAR محلول تقریباً به حد SAR آب رودخانه کارون برسد و همچنین نسبت Ca به Mg نیز برابر با همین نسبت در تیمار شاهد باشد (هنگلر 2004، سلطانی محمدی 1390). اندازه‌گیری رطوبت خاک از طریق نمونه برداری تا عمق ریشه گیاه در روزهای قبل از آبیاری صورت گرفت. عمق و حجم آب آبیاری، با توجه به کسری رطوبتی خاک و عمق ریشه (هر هفته یک بوته از یک کرت که با آب کارون آبیاری می‌گردید، از خاک جدا شده و پس از شستشو، طول ریشه اندازه‌گیری شد) از

جدول 3- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش.

PH	هدایت کتریکی (dSm^{-1})	جرم مخصوص ظاهری (gcm^{-3})	PWP درصد حجمی	FC درصد حجمی	بافت خاک	فراوانی نسبی و اندازه ذرات خاک (درصد)			عمق (cm)
						رس	سیلت	شن	
7/89	2/61	1/40	15	32	لومی سیلتی	25/30	52/10	22/60	0-30
8/25	2/55	1/55	15	32	لومی سیلتی	25/00	51/50	23/50	30-60
8/15	2/5	1/60	15	32	لومی سیلتی	25/20	51/70	23/10	60-90

همکاران 1983). لذا عمق ناخالص آبیاری و حجم آب مورد نیاز در هر آبیاری به شکل زیر محاسبه گردید:

$$d_g = \frac{d_n}{(1-LF) \times E_a} \quad [3]$$

$$V = d_g \times A \quad [4]$$

شاخص تنش آبی گیاه

ایدسو و همکاران (1981) شاخص تنش آبی را به صورت زیر ارائه داده‌اند:

$$CWSI = \frac{(T_e - T_a)M - (T_e - T_a)u}{(T_e - T_a)u - (T_e - T_a)u} \quad [5]$$

رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای با استفاده از دستگاه صفحات فشاری² حاصل گردید. تعیین عمق ناخالص آبیاری با توجه به نیاز آبتجویی به صورت زیر تعیین گردید (علیزاده 1383).

$$LF = \frac{EC_{iw}}{(SEC_e - EC_{iw})} \quad [2]$$

که در این رابطه، LF کسر آبتجویی، EC_{iw} هدایت الکتریکی آب آبیاری (dSm^{-1}) و SEC_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dSm^{-1}) که عملکرد را به صفر می‌رساند و برای ذرت 10 گزارش شده است (ماس و

²Pressure plate

$$VPG = e_s(a + T_a) - e_s(T_a) \quad [11]$$

در این روابط VPG^4 شیب فشار بخار هوا بر حسب میلی بار و a و b ضرایب رابطه خطی می‌باشند و یا به عبارت دیگر در این شرایط، عمل تعرق، بدون وابستگی به مقدار VPD قطع می‌گردد. در هر یک از تیمارها، درجه حرارت پوشش سبز در روزهای بعد از آبیاری، هر ساعت یکبار از ساعت 8 صبح الی 14 بعدازظهر توسط دستگاه دماسنج مادون قرمز، مدل (K.M.823) با $D:S=8:1$ (نسبت فاصله به قطر هدف)، از چهار جهت اندازه‌گیری و ترمومترهای تر و خشک نیز از جعبه هواشناسی واقع در مزرعه قرائت شد. همچنین در روزهای قبل از آبیاری، دمای پوشش سبز گیاه، از ساعت 11 الی 15 ثبت گردید. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری دمای برگ در مردادماه و اواسط شهریور به علت کوچک بودن گیاه و میدان اندازه‌گیری دماسنج (تأثیر دمای سطح خاک در اندازه‌گیری دمای پوشش سبز) انجام نگرفت. در جدول 4 تاریخ‌های آبیاری (10 آبیاری آخر) که در روزهای قبل و بعدازآن، دمای برگ اندازه‌گیری شده است، ارائه شده است.

جدول 4- تاریخ‌های آبیاری که در روزهای قبل و بعدازآن، دمای پوشش سبز اندازه‌گیری شده است.

ردیف	تاریخ آبیاری	ردیف	تاریخ آبیاری
1	1392/5/28	6	1392/7/1
2	1392/6/4	7	1392/7/10
3	1392/6/11	8	1392/7/17
4	1392/6/16	9	1392/7/23
5	1392/6/23	10	1392/8/1

نتایج و بحث

با توجه به معادله‌های ارائه‌شده در بخش قبل و داده‌های مزرعه‌ای در روزهای بعد از آبیاری که تاریخ آن‌ها در جدول 4 مشخص شده است، ابتدا برای هر یک

که در آن $(T_c - T_a)_{II}$ اختلاف درجه حرارت پوشش

سبز گیاه (T_c) با هوای مجاور (T_a) در شرایط بدون تنش است، که در آن میزان تبخیر و تعرق بیشینه هست و گیاه دچار هیچ‌گونه کسری آب (ناشی از رطوبت یا ناشی از

شوری) نیست. $h = (T_c - T_a)_{II}$ خط مبنای بالایی و یا خط تنش کامل هست و معرف اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور است که در شرایط تنش کامل (تعرق صفر) می‌توان انتظار داشت،

$(T_c - T_a)_{III}$ اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا برای روزی است که هدف تعیین CWSI برای آن روز است. ایدسو (1981) معادله خط مبنای پایینی تنش را به صورت رابطه زیر معرفی کرد:

$$(T_c - T_a)_{III} = a + b \cdot (VPD) \quad [6]$$

در رابطه مذکور VPD کمبود فشار بخار هوا³ بر حسب میلی بار هست و با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$VPD = e_s(T_a) - e_a \quad [7]$$

$$e_s(T_a) = \left(0.6108 * \text{EXP} \left(\frac{17.27 * T_a}{T_a + 237.3} \right) \right) * \frac{1000}{101} \quad [8]$$

$$e_a = e_s(T_a) * \left(\frac{RH}{100} \right) \quad [9]$$

در روابط فوق، $e_s(T_a)$ فشار بخار اشباع در دمای هوا (T_a) بر حسب میلی بار، e_a فشار بخار واقعی هوا بر حسب میلی بار و RH درصد رطوبت نسبی هست. معادله خط مبنای بالا نیز بر اساس روش ایدسو (1981) با توجه به روابط زیر محاسبه گردید:

$$[10]$$

$$(T_c - T_a)_{III} = a + b \cdot |VPG|$$

⁴Vapor Pressure Gradient

³Vapor pressure deficit

علت بالا بودن تعداد داده‌های مزرعه‌ای، به‌عنوان مثال، طول فصل رشد گیاه، از سری داده‌های دمایی برداشت‌شده در طول فصل رشد (کل روزهای مذکور در جدول 4)، استفاده گردید. به‌عنوان نمونه برای دو تیمار شاهد (S0) و شوری (S4) شکل‌های 2 و 3 ارائه شده است. همان‌طور که قبلاً هم گفته شد، این معادلات بر اساس کل داده‌های دمایی پوشش سبز مربوط به 10 آبیاری، در طول فصل (میانگین سه تکرار)، به‌دست آمده‌اند.

از تیمارها معادلات خط بالا و پایین، محاسبه گردید. به-محاسبات مربوط به اندازه‌گیری خط مبنای پائین در تیمار شاهد برای بخشی از داده‌ها (دمای پوشش سبز در روز بعد از آبیاری مورخ 1392/6/16) در جدول 5 ارائه شده است. با برآزش معادله 3 به داده‌های TC-Ta و VPD جدول 6، مقادیر a و b محاسبه گردید. مقادیر a و b در این مثال به ترتیب 2/086 و 0/277 به دست آمد. میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده به‌عنوان خط مبنای بالا در نظر گرفته شد. قابل ذکر است که برای تعیین خط مبنای پائین در

جدول 5- محاسبات مربوط به اندازه‌گیری خط مبنای پائین، با استفاده از داده‌های دمای پوشش سبز در تاریخ 1392/6/17 برای تیمار شاهد.

14	13	12	11	10	9	8	ساعات اندازه‌گیری در روز بعد از آبیاری مورخ 1392/6/17
35	34/2	33/8	33/5	32/1	31/3	30	$T_c(^{\circ}C)$
42	40	38	36	33	31	29/5	$T_a(^{\circ}C)$
35	34	33	32	30	29	28	$T_w(^{\circ}C)$
-7	-5/8	-4/2	-2/5	-0/9	0/3	0/5	$T_c-T_a(^{\circ}C)$
81/2	73/1	65/6	58/8	49/8	44/5	40/8	$e_{s(Ta)}(mbar)$
47/3	45/5	43/8	42/3	38/4	37/3	35/6	$e_a(mbar)$
33/9	27/5	21/8	16/6	11/4	7/22	5/2	VPD(mbar)

T_w : دمای تر

جدول 6- محاسبات مربوط به اندازه‌گیری خط مبنای بالا، بر اساس داده‌های مورخ 1392/6/18 برای تیمار شاهد.

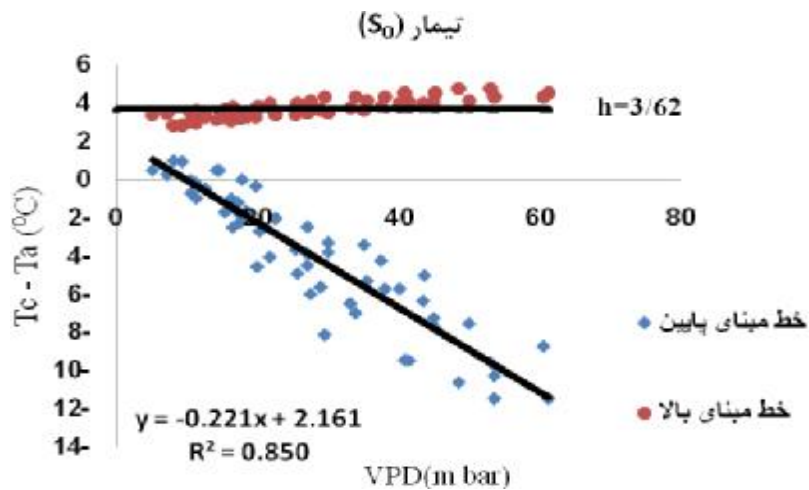
14	13	12	11	10	9	8	ساعات اندازه‌گیری
42	40	38	36	33	31	29/5	$T_a(^{\circ}C)$
44/1	42/1	40/1	38/1	35/1	33/1	31/6	$T_a+a(^{\circ}C)$
81/2	73/0	65/6	58/8	49/8	44/5	40/8	$e_{s(Ta)}(mbar)$
90/5	81/5	73/7	65/9	55/9	50/0	46	$e_{s(Ta+a)}(mbar)$
9/3	8/5	7/8	7/1	6/1	5/6	5/2	VPG (mbar)
4/7	4/4	4/2	4/0	3/8	3/6	3/5	Upper Line ($^{\circ}C$)

کمبود فشار بخار همراه با افزایش تبخیر و تعرق بوده و در صورتی که نیاز آبی گیاه فراهم باشد، جریان آب از ریشه به برگ، همواره برقرار بوده و گیاه خنک نگه-داشته می‌شود. برای نشان دادن نحوه تغییرات خط مبنای پایین و بالا نسبت به شوری آب آبیاری، معادلات

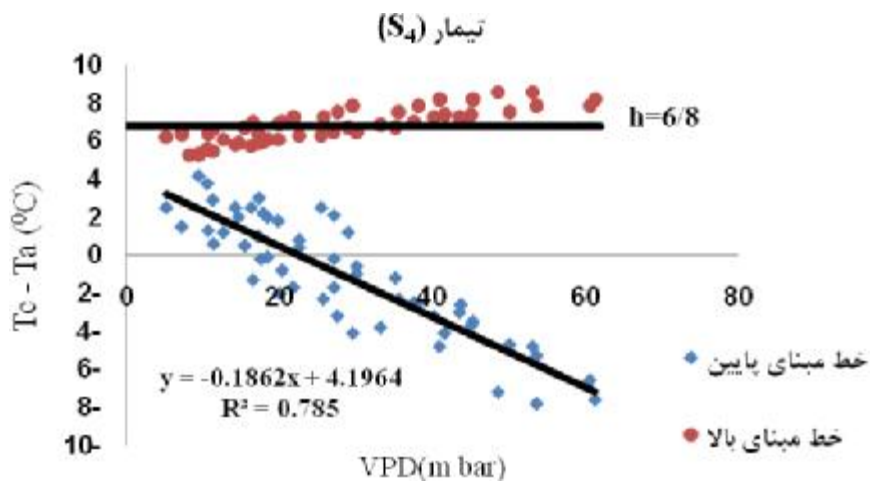
با توجه به شکل‌های 2 و 3 مقدار کمبود فشار بخار هوا در کل طول فصل رشد از 6 تا 62 میلی بار متغیر هست و رابطه خطی معادلات مبنای پایین نشان می‌دهد که با افزایش کمبود فشار بخار هوا، اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا کاهش پیدا می‌کند. افزایش

خط مبنای بالا و پایین برای هر یک از تیمارها (برای این معادلات از میانگین دمای پوشش سبز سه تکرار

استفاده شده است) در جدول 7 و نمودار آن‌ها در شکل 4 ارائه شده است.



شکل 2- نمودار خط مبنای پایینی و بالایی برای ذرت تابستانه تحت تیمار شاهد (S_0).



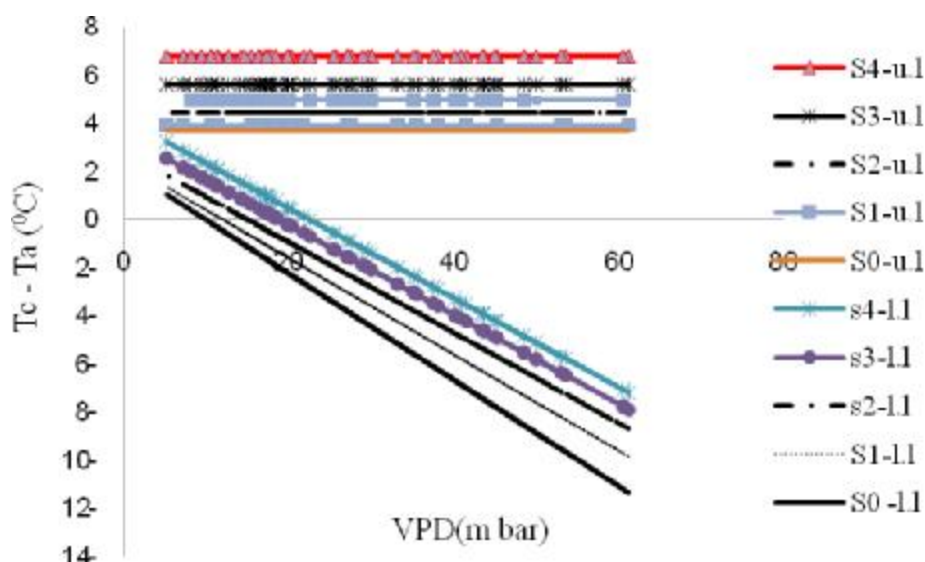
شکل 3- نمودار خط مبنای پایینی و بالایی برای ذرت تابستانه تحت تیمار (S_4).

جدول 7- معادلات خط مبنای بالا و پایین برای هر یک از تیمارها.

تیمار شوری	معادله خط مبنای بالا	معادله خط مبنای پایین	n (تعداد نقاط)	R^2
S_0	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=3.69$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 2.161 - 0.221 (VPD)$	56	0.850
S_1	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=3.94$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 2.397 - 0.2(VPD)$	56	0.829
S_2	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=4.45$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 2.788 - 0.187 (VPD)$	56	0.824
S_3	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=5.63$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 3.501 - 0.186 (VPD)$	56	0.807
S_4	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=6.8$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 4.196 - 0.186 (VPD)$	56	0.785

پایینی) از 0/221- به 0/186- کاهش یافته است. از سوی دیگر با افزایش شوری آبیاری از S0 به S4 خط مبنای بالایی تنش نیز از 2/16 به 4/19 صعود کرده است.

داده‌های جدول 7 و شکل 4 نشان می‌دهند که با افزایش شوری آب آبیاری، خطوط مبنای بالا و پائین نیز جابه‌جا می‌شوند. با افزایش شوری آب آبیاری از S0 به S4، شیب رابطه خطی $(T_c - T_a)$ و VPD (خط مبنای



شکل 4- موقعیت خط مبنای پایین، تحت هر یک از تیمارها.

8 ارائه شده است. نتایج جدول 8 نشان می‌دهد، به ازای افزایش شوری از 2/2 dS/m به 6/5 dS/m، اختلاف دمای پوشش سبز نسبت به دمای هوا، حدود 3 درجه، افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر در شرایطی که آبیاری با آب شور انجام می‌شود، هرچند نیاز آبی به صورت کامل برطرف شده است، اما شوری آب آبیاری باعث بالا رفتن دمای پوشش سبز گیاه می‌شود.

بر اساس تغییرات شیب خطوط مبنای پایین و وضعیت آن‌ها نسبت به هم، می‌توان میزان کاهش $(T_c - T_a)$ ، به ازای افزایش یک واحد VPD را تحت هر یک از تیمارهای آبیاری و روند تغییرات تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا، در یک‌میزان کمبود فشار بخار مشخص کرد. به عنوان نمونه برای کمبود فشار 40 میلی بار، روند تغییرات تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا، در جدول

جدول 8- تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا محاسبه شده از معادلات جدول 7 برای کمبود فشار بخار 40 میلی بار.

S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	تیمار
-6/6	-5/6	-4/7	-3/9	-3/2	تفاوت دمای پوشش سبز و دمای هوا (°C)

همکاران 2008، لیورگئوس و همکاران 2010، رزاقی و سپاسخواه (2010). در این تحقیق، برای بررسی مستقیم اثر تنش شوری بر میزان دمای پوشش سبز و شاخص تنش آبی گیاه برای گیاه ذرت، از دمای پوشش سبز در

شاخص تنش CWSI با تغییرات تبخیر و تعرق همبستگی بالایی دارد (بن گال و همکاران 2008، طاهری قناد 1381). از سوی دیگر میزان تعرق از گیاه تحت تأثیر شوری آب آبیاری هست (شانی و دادلی 2001، دادلی و

رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه‌ای بوده و گیاه از نظر رطوبتی، به‌طور کامل تأمین می‌شود. میانگین اختلاف دمای پوشش سبز و هوا و همچنین شاخص CWSI برای هر یک از تیمارها و تکرارها در جدول 9 ارائه شده است. معادله‌های خط مبنای بالا و پائین تیمار شاهد (میانگین سه تکرار) در زیر ارائه شده‌اند:

$$(T_c - T_a)_{HI} = 2.161 - 0.221(VPD) \quad [12]$$

$$h = (T_c - T_a)_{HI} = 3.69^\circ\text{C} \quad [13]$$

روزهای بعد از هر یک از آبیاری‌های تحت تیمارهای تنش استفاده گردید، با این توضیح که ابتدا خطوط مبنای بالا و پائین بر اساس تیمار شاهد (جدول 6- تیمار شاهد) مشخص گردید. سپس با استفاده از میانگین دمای پوشش سبز در روزهای بعد از آبیاری و با داشتن خطوط مبنای بالا و پائین، میزان شاخص CWSI برای روزهای بعد از آبیاری محاسبه گردید. علت انتخاب روزهای بعد از آبیاری، به این دلیل است که در این روز،

جدول 9- اطلاعات موردنیاز جهت محاسبه شاخص CWSI در روز بعد از آبیاری تحت هر یک از تیمارهای تنش شوری.

تیمار										تکرار
S ₄		S ₃		S ₂		S ₁		S ₀		
CWSI	TC-TA	CWSI	TC-TA	CWSI	TC-TA	CWSI	TC-TA	CWSI	TC-TA	
0/42	-0/85	0/33	-1/39	0/22	-2/33	0/12	-3/14	0/015	-3/93	تکرار اول
0/4	-1/00	0/34	-1/44	0/21	-2/4	0/11	-3/16	0/01	-4/00	تکرار دوم
0/41	-0/92	0/34	-1/42	0/21	-2/44	0/12	-3/13	0/01	-3/95	تکرار سوم
0/41	-0/92	0/34	-1/42	0/21	-2/39	0/12	-3/14	0/01	-3/96	میانگین

روی CWSI به تفصیل در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج جدول حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که آبیاری با آب شور اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی شاخص CWSI دارد. مقایسه میانگین‌های CWSI با استفاده از آزمون دانکن (جدول 11) برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد. با افزایش شوری از 2/3 به 6/5 dS m^{-1} مقدار شاخص CWSI از 0/01 به 0/4 افزایش پیدا کرد. همان‌طور که بیان گردید، ترکیب پتانسیل اسمزی و ماتریک با هم، کل پتانسیل آب در خاک را تشکیل می‌دهد و گیاه برای اخذ آب از خاک باید با این نیروهای بازدارنده مقابله کند. لذا جهت برنامه‌ریزی آبیاری باید به این نکته توجه کرد. برای این منظور برای تعیین میزان تنش واقعی، قبل از آبیاری، از تغییرات دمای پوشش سبز در روزهای قبل از آبیاری (در هر یک از تیمارهای تحت تنش) استفاده گردید. میانگین اختلاف دمای پوشش سبز و هوا و همچنین شاخص CWSI برای

جدول 10- تجزیه واریانس شاخص CWSI در آزمایش.

میانگین مربعات		
CWSI	درجه آزادی	منابع تغییرات
0/317**	4	شوری
ns0/00	2	تکرار
0/00	8	خطا

ns** و * به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌دار در سطح 1 و 5 درصد.

داده‌های جدول 9 بیان‌گر این است که با افزایش شوری آب آبیاری، دمای پوشش سبز و در نتیجه اختلاف دمای پوشش سبز و هوا رو به افزایش است و با توجه به اینکه محاسبات برای روزهای بعد از آبیاری انجام گرفته است، لذا تنش ناشی از شوری آب آبیاری هست. بنابراین میزان افزایش شاخص CWSI در روزهای بعد از آبیاری، نشان‌دهنده اثر تنش شوری هست. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول 10)، اثر تیمارهای آزمایشی

جدول 11- مقایسه میانگین‌های CWSI بعد از آبیاری.

شاخص CWSI	تیمار
0/01a	S ₀
0/1133b	S ₁
0/21c	S ₂
0/3367d	S ₃
0/4067e	S ₄

روزهای قبل از آبیاری هر یک از تیمارها و تکرارها در جدول 12 ارائه شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول 13)، اثر تیمارهای آزمایشی روی CWSI در روزهای قبل از آبیاری به تفصیل در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول 12- اطلاعات مورد نیاز جهت محاسبه شاخص CWSI در روز قبل از آبیاری.

تیمار										تکرار
S ₄		S ₃		S ₂		S ₁		S ₀		
CWSI	TC-TA	CWSI	TC-TA	CWSI	TC-TA	CWSI	TC-TA	CWSI	TC-TA	
0/73	1/59	0/60	0/55	0/46	-0/50	0/34	-1/4	0/22	-2/2	تکرار اول
0/71	1/49	0/58	0/45	0/47	-0/45	0/37	-1/15	0/21	-2	تکرار دوم
0/74	1/64	0/57	0/35	0/46	-0/48	0/35	-1/3	0/21	-2/4	تکرار سوم
0/73	1/57	0/58	0/45	0/46	-0/48	0/35	-1/28	0/23	-2/2	میانگین

جدول 13- تجزیه واریانس شاخص CWSI در آزمایش.

میانگین مربعات		
CWSI	درجه آزادی	منابع تغییرات
0/455**	4	شوری
ns0/00	2	تکرار
0/002	8	خطا

ns ** و * به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح 5 درصد.

رابطه با کاربرد CWSI در شرایط آب شور تحقیقات خیلی کمی انجام شده است.

جدول 14- مقایسه میانگین‌های CWSI قبل از آبیاری، با

استفاده از آزمون دانکن.

شاخص CWSI	تیمار
0/23a	S ₀
0/3533b	S ₁
0/46c	S ₂
0/5833d	S ₃
0/7267e	S ₄

نتایج جدول حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که آبیاری با آب شور اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی شاخص CWSI دارد. مقایسه میانگین‌های CWSI با استفاده از آزمون دانکن (جدول 14) برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد. با افزایش شوری از 2/3 به 6/5 dS m⁻¹ مقدار شاخص CWSI، از 0/23 به 0/72 افزایش پیدا کرد.

داده‌های جدول 12 میزان تنش، قبل از آبیاری را تحت هر یک از تیمارها نشان می‌دهد. با تغییر شوری از 2/3 تا 6/5 dS m⁻¹ میزان شاخص CWSI حدوداً سه برابر می‌شود. در

نتیجه‌گیری کلی

مقدار کمبود فشار بخار هوا در طول فصل رشد از 6 تا 62 میلی‌بار متغیر هست. معادله‌های خط مبنای پایین نشان داد که با افزایش کمبود فشار بخار هوا، اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا بیشتر می‌شود. معادله خط مبنای پایینی برای گیاه ذرت $(T_p - T_a)_{II} = 2.161 - 0.221(VPD)$ ، معادله خط مبنای بالا برابر $h = 3/69$ ، و مقدار شاخص CWSI برای گیاه ذرت که مبنای برنامه‌ریزی آبیاری هست، 0/23 محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان داد شوری آب آبیاری باعث افزایش دمای برگ می‌شود، بنابراین می‌توان از شاخص CWSI جهت برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط آب آبیاری شور هم استفاده کرد. به‌ازای افزایش شوری از 2/2 به $6/5 \text{ dS m}^{-1}$ ، اختلاف دمای پوشش سبز نسبت به دمای هوا، نزدیک به 3 درجه، افزایش پیدا نمود. در این تحقیق میزان CWSI در روز قبل از آبیاری، برای تیمار شاهد (آب کارون) 0/23، برای شوری $4/5 \text{ dS m}^{-1}$ برابر 0/46، برای شوری $3/5 \text{ dS m}^{-1}$ برابر 0/35، برای شوری $5/5 \text{ dS m}^{-1}$ برابر 0/58 و برای شوری $6/5 \text{ dS m}^{-1}$ برابر 0/73 محاسبه گردید. نتایج نشان داد، با تغییر شوری از 2/2 تا $6/5 \text{ dS m}^{-1}$ میزان شاخص CWSI حدوداً سه برابر می‌شود. اثر تنش شوری به‌تنهایی هم با توجه به داده‌های مربوط به روزهای بعد از آبیاری (در این روزها فقط اثر شوری محسوس است) محاسبه گردید. در این حالت میزان CWSI برای شوری $3/5 \text{ dS m}^{-1}$ برابر 0/12، برای شوری $4/5 \text{ dS m}^{-1}$ برابر 0/21، برای شوری $5/5 \text{ dS m}^{-1}$ برابر 0/34 و برای شوری $6/5 \text{ dS m}^{-1}$ برابر 0/41 محاسبه گردید.

به‌عنوان مثال هاول و همکاران در سال (1984) بر روی مزارع پنبه سان خوان کالیفرنیا فقط در روز 30 ام جولای حساسیت شاخص CWSI را در شرایط شوری مختلف آب آبیاری بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بیشترین تغییرات شاخص در شرایط تنش شوری در بعدازظهر در گرم‌ترین ساعات روز اتفاق می‌افتد. آن‌ها پیشنهاد دادند که این شاخص شاید بتواند یک ابزار کاربردی در شرایط شوری باشد. تیمار شاهد (بدون تنش شوری)، با توجه به اینکه، بیشترین مقدار عملکرد محصول را دارد، اساس برنامه‌ریزی آبیاری قرار می‌گیرد. معادله خط مبنای پایین، برای تیمار شاهد (S_0)، $(T_p - T_a)_{II} = 2.161 - 0.221(VPD)$ و معادله خط مبنای بالا $(T_p - T_a)_{II} = 3.69$ محاسبه گردید. میزان شاخص تنش آبی گیاه نیز در روز قبل از آبیاری برابر 0/23 شد. طاهری قناد (1381)، برای ذرت بهاره، میزان شاخص تنش آبی گیاه را 0/21، معادله خط مبنای پایین برای ذرت بهاره را در ماه اردیبهشت برابر با $(T_p - T_a)_{II} = 1.28 - 0.173(VPD)$ و در ماه خرداد $(T_p - T_a)_{II} = 2.724 - 0.166(VPD)$ گزارش کرد. ایدسو (1982) برای یک سری از گیاهان معادلات خط مبنای پایین و بالا را برای بخش‌هایی از مناطق آمریکا محاسبه کرد، به‌عنوان مثال، این محقق بیان کرد که، معادله خط مبنای پایین برای ذرت برابر است با $(T_p - T_a)_{II} = 3.11 - 0.197(VPD)$ را می‌توان تغییرات شرایط اقلیمی معرفی کرد. برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس معادله ایدسو (1981)، به‌گونه‌ای صورت می‌گیرد که، بیشینه تنش وارده از 0/23 تجاوز نکند. به‌عبارت‌دیگر اگر بخواهیم بیشترین محصول را داشته باشیم، میزان شاخص CWSI نباید از 0/23 تجاوز کند. برای تشخیص زمان آبیاری، دمای پوشش سبز، دمای تر و خشک در ساعات 12 تا 15 اندازه‌گیری می‌شود و سپس بر اساس روابط 2 تا 7، مقدار شاخص CWSI محاسبه می‌گردد. اگر مقدار محاسبه‌شده، بیشتر از 0/23 باشد، آبیاری باید صورت گیرد.

منابع مورد استفاده

- برومند نسب س، طاهری قناد س و معیری م، 1383. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط خوزستان. مجله علمی کشاورزی، جلد 27، صفحه‌های 47-56.
- سلطانی محمدی ا، 1390. مدیریت آبیاری ذرت در مراحل مختلف رشد، تحت تنش کم آبیاری و شوری در شرایط اقلیمی اهواز، رساله دکتری تخصصی، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- شهیدی ع، 1387. اثر بر هم کنش کم آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم گندم با تعیین تابع تولید آب شوری در منطقه بیرجند، رساله دکتری تخصصی، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- طاهری قناد س، 1381. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه جهت برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- علیزاده ا، 1383، طراحی سیستم‌های آبیاری، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).
- وردی نژاد و، سهرابی ت و لیاقت ع، 1386. برنامه‌ریزی آبیاری ذرت در مراحل مختلف رشد با استفاده از شاخص اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، بهمن ماه، کرمان.
- Ben-Gal A, Ityel E, Dudley L, Cohen S, Yermiyahu U, Presnov E, Zigmond Land Shani U, 2008. Effect of irrigation water salinity on transpiration and leaching requirements: A case study for bell peppers. *Agricultural Water Management* 95:587-597.
- Dudley LM, Ben-Gal A and Lazarovitch N, 2008. Drainage water reuse: biological, physical and technological considerations for system management. *Environmental Quality* 7: S25-S35.
- Gontia NK and Tiwari KN, 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural Water Management* 95: 1144 – 1152.
- Henggeler JC, 2004. The Conjunctive use of saline irrigation water on deficit-Irrigated cotton. Ph.D.thesis. Office of Graduate Studies of Texas A&M University.
- Howell TA, Hatfield JL, Rhoades JD and Meron M, 1984. Response of cotton water stress indicators to soil salinity. *Irrigation Science* 5: 25-36.
- Idso SB, 1982. Non-water stressed baseline: A key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* 27: 59-70.
- Idso SB, Jackson RD, Pinter PJ, Reginato RJ and Hatfield JL, 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology* 24:45-55.
- Jackson RD, Idso SB, Reginato RJ and Pinter PJ, 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour Research* 17:1133.
- Kar G and Kumar A, 2007. Surface energy fluxes and crop water stress index in groundnut under irrigated ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology* 146: 94-106.
- Lebourgeois V, Chopart JL, Begue A and Mezo LL, 2010. Towards using a thermal infrared index combined with water balance modeling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. *Agricultural Water Management* 97: 75-82.
- Li L, Nielsen DC, Yu Q, Ma L and Ahuja LR, 2010. Evaluating the crop water stress index and its correlation with latent heat and CO₂ fluxes over winter wheat and maize in the North China plain. *Agricultural Water Management* 97: 1146-1155.
- Mass EV, Hoffman GJ, Chaba GD, Posc JA and Shannon MC, 1983. Salt sensitivity of corn at various growth stages, *Irrigation Science* 4: 45-74.
- O'Shaughnessy SA, Evett SR, Colaizzi PD and Howell TA, 2012. A crop water stress index and time threshold for automatic irrigation scheduling of grain Sorghum. *Agricultural Water Management* 107: 122- 132.
- Razzaghi F and Sepaskhah AR, 2010. Assessment of nine different equations for ET₀ estimation using lysimeter data in a semi-arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science* 56(1):1-12.

- Sepaskhah AR and Kashefipour SM, 1994. Relationship between leaf water potential, CWSI, Yield and fruit quality of Sweet Lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management* 25: 13-22.
- Shani U and Dudley LM, 2001. Field studies of crop response to water and salt stress. *Soil Science Society of America* 65:1522–1528.
- Wang D and Gartung J, 2010. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 97: 1787–1794.