

تعیین واکنش عملکرد چغندر قند (K_y) به کم آبیاری در مراحل مختلف رشد

Determination of yield response factor (K_y) of sugar beet to deficit irrigation at different growth stages

نیاز علی ابراهیمی پاک*

تاریخ دریافت: ۸۶/۵/۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۹

ن. ع. ابراهیمی پاک. ۱۳۸۹. تعیین واکنش عملکرد چغندر قند (K_y) به کم آبیاری در مراحل مختلف رشد. مجله چغندر قند ۲۶(۱): ۶۷-۷۹

چکیده

این آزمایش به منظور تعیین ضریب واکنش عملکرد (K_y) چغندر قند رقم منوژرم تکنیکی ۷۲۳۳ به کم آبیاری در مراحل مختلف رشد در شهرکرد، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار شامل آبیاری کامل (E_0)، ۸۵ درصد (E_1)، ۷۰ درصد (E_2)، ۵۵ درصد (E_3) و ۳۰ درصد (E_4) تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه چغندر قند در سه آزمایش جداگانه در مراحل مختلف رشد گیاه شامل T_1 : مرحله اولیه رشد (۸ تا ۱۰ برگ)، T_2 : مرحله رشد ریشه و T_3 : مرحله ذخیره‌سازی قند در ریشه در دو سال زراعی ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶ انجام شد. تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه چغندر قند توسط لایسیمتر زه‌کش‌دار از روش بیلان رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه نوترون متر تعیین شد. پس از برداشت محصول، عملکرد و اجزای عملکرد تعیین و ضریب واکنش گیاه چغندر قند محاسبه شد. بیشترین عملکرد چغندر قند در تیمار آبیاری کامل برابر با ۴۹/۵ تن در هکتار و کمترین عملکرد برابر با ۲۴/۶ تن در هکتار مربوط به تیمار تأمین ۷۰ درصد تبخیر تعرق در مرحله دوم رشد گیاه به دست آمد. تبخیر تعرق واقعی گیاه چغندر قند در منطقه برابر با ۸۸۴ میلی‌متر و حداقل تبخیر- تعرق گیاه برابر با ۶۲۵ میلی‌متر در تیمار E_4T_2 به دست آمد. مقادیر ضریب واکنش عملکرد (K_y) گیاه چغندر قند با توجه به تیمارهای کم آبیاری برای مرحله اول رشد گیاه بین ۰/۳۴ تا ۱/۳۸، برای مرحله دوم ۰/۳۴ تا ۱/۳۳ و برای مرحله سوم بین ۰/۳۴ تا ۱/۲۹ تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر تعرق، چغندر قند، ضریب واکنش عملکرد، کم آبیاری، لایسیمتر

مقدمه

شده در عمق توسعه ریشه دارد (Hills and Kaffka 2000). کم آبیاری باعث کاهش رشد ریشه‌های جانبی و استخراج آب از اعماق خاک برای رشد گیاه می‌شود (Clover et al. 1999). اعمال کم آبیاری در اواخر مرحله رشد گیاه چغندر قند موجب افزایش مقدار قند ناخالص می‌شود و درصد قند نیز در شرایط کم آبیاری بیشتر از درصد قند در شرایط آبیاری کامل گزارش شده است (طالقانی و همکاران ۱۳۷۸؛ ابراهیمی‌پاک و همکاران ۱۳۸۳; Carter et al. 1979). با توجه به تأثیر متقابل کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه، ابتدا باید اثر این گونه تأثیرات ساده‌سازی شود و سپس مجموع اثرات تنش آبی در مراحل وابسته به دست آید (Kipkorir and Raes 2002).

مصرف آب در مزرعه به صورت تبخیر تعرق (ET) بیان می‌شود و مقدار آن بستگی به شرایط محیطی و مرحله رشد گیاه دارد. کمبود آب در گیاه را می‌توان از مقایسه ET_p در شرایط معین و ET_m در شرایط بدون کمبود آب بررسی کرد (ابراهیمی‌پاک و همکاران ۱۳۸۳; Hiler and Clark 1971; Stewart et al. 1977, Doorenbos and Kassam 1979 Kipkorir and Raes 2002, Varlev and Dimitrov 1995, Hanks and Miller 1986). در صورتی که منبع آب محدود باشد، برای مصرف بهینه آب باید نوع گیاه، مرحله رشد آن و نوع خاک را مدنظر داشت و برای اعمال کم آبیاری تخمین‌های قابل

تأمین آب مورد نیاز گیاه یکی از ضروری‌ترین عوامل تولید محصول است که با کاهش آن، عملکرد محصول نیز کاهش می‌یابد. هرچند کشاورزان تمایل دارند که از حداکثر آب برای آبیاری جهت تولید محصول استفاده کنند، لیکن این شیوه حتی در شرایط بدون محدودیت منابع آب نیز منطقی به نظر نمی‌رسد. در چنین شرایطی، لازم است کارایی مصرف آب (W.U.E.) در مزرعه را بهینه کرد (Mountonnet 2002). زمانی که نیاز آبی گیاه تأمین نشود، میزان تبخیر- تعرق واقعی گیاه به کمتر از تبخیر- تعرق پتانسیل کاهش می‌یابد و به گیاه تنش آبی وارد می‌شود و عملکرد محصول کاهش می‌یابد (Raes 2002). واکنش چغندر قند در مراحل مختلف رشد به کم آبیاری متفاوت است. برخی از محققان دریافته‌اند تا زمانی که رطوبت خاک به نقطه پژمردگی دائم نرسد، هیچ‌گونه کاهش عملکرد وجود نخواهد داشت (Kosterj and Repka 1993; Haward et al. 1997). لیکن وقوع تنش آبی در اوایل دوره رشد گیاه، باعث وارد شدن خسارت زیادی به محصول می‌شود (Brown and Dunham 1989). کاهش مقدار آب مصرفی به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد تبخیر تعرق پتانسیل، تأثیر معنی‌داری روی عملکرد شکر ندارد (ابراهیمی‌پاک و همکاران ۱۳۸۳ و Hanks and Miller 1986). تنش آبی در اواخر دوره رشد ممکن است مفید باشد لیکن زمان قطع آب آبیاری بستگی به اقلیم منطقه، بافت خاک، عمق خاک، میزان آب ذخیره

مقدار ضریب حساسیت گیاه است که در مراحل مختلف رشد (n) اتفاق می‌افتد. در صورتی که تابع تولید یک رابطه بین عملکرد نسبی و تعرق نسبی تعریف شود (Hanks 1974) بنابراین خواهیم داشت:

$$\frac{y}{y_m} = \frac{T}{T_m} \quad \text{رابطه (۴)}$$

زمانی که تابع تولید رابطه‌ای باشد که عملکرد نسبی محصول را به تبخیر تعرق نسبی با یک ضریب واکنش تجربی ارتباط دهد (Hanks and Rasmussen 1982) مطابق رابطه (۵) خواهیم داشت:

$$\frac{y}{y_m} = \left\{ 1 - \beta \left(1 - \frac{ET}{ET_m} \right) \right\} \quad \text{رابطه (۵)}$$

چنانچه تابع تولید نسبت بین عملکرد و تبخیر تعرق باشد از رابطه (۶) قابل برآورد خواهد بود (Minbas et al. 1974):

$$\frac{y}{y_m} = \prod_{i=1}^n \left\{ \left[1 - \left(1 - \frac{ET}{ET_m} \right) \right] \right\}^{2b_i} \quad \text{رابطه (۶)}$$

اگر تابع تولید بر مبنای نسبت کمبود تبخیر تعرق به حداکثر تبخیر- تعرق باشد، برهمین اساس نسبت اُفت عملکرد به حداکثر عملکرد محصول با استفاده از رابطه (۷) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Stewart et al. 1977):

$$\frac{Y_m - Y}{Y_m} = b \frac{\sum ET_m - \sum ET}{\sum ET} = 1 - \frac{y}{y_m} = b \frac{\sum ET}{\sum ET_m} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن، Y ، عملکرد واقعی، Y_m ، حداکثر عملکرد، ET ، تبخیر- تعرق واقعی، ET_m ، حداکثر تبخیر تعرق و b شیب عملکرد نسبی در مقابل کمبود آب است. چنانچه تابع تولید بر مبنای نسبت کمبود آب مصرفی

اعتمادی از میزان رطوبت خاک، تنش رطوبتی گیاه و تابع تولید محصول به دست آورد.

واکنش گیاه به آب به صورت تابع «آب مصرفی - عملکرد محصول» یا تابع «عملکرد - تبخیر و تعرق» بیان می‌شود. روابط زیادی برای برآورد تابع تولید و تعیین ضرایب واکنش عملکرد محصول ارائه شده است (Kipkorir and Raes 2002). براساس رابطه (۱) زمانی که گیاه در شرایط تنش خشکی قرار گیرد، مقدار عملکرد محصول تابعی از میزان تعرق در فصل رشد گیاه و شدت تبخیر از سطح آزاد آب است (De wit 1985).

$$y = m \left(\frac{T_a}{E_0} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن T_a ، تعرق طی دوره رشد گیاه و E_0 ، تبخیر از سطح آب آزاد و m ضریب تناسب یا واکنش است. اگر رابطه تولید تابعی از تعرق فصلی گیاه و کاهش نسبی رطوبت باشد (Arkley 1963) خواهیم داشت:

$$Y = KT(e^* - e) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن K ، ضریب واکنش یا ضریب ویژه گیاه، T ، تعرق فصلی مرحله رشد و $(e^* - e)$ کاهش رطوبت نسبی است. چنانچه، تابع تولید تابعی از عملکرد نسبی به تبخیر تعرق نسبی باشد از رابطه (۳) استفاده می‌شود (Jensen 1968).

$$\frac{y}{y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET}{ET_m} \right) \lambda_i \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن y ، عملکرد واقعی، y_m ، حداکثر عملکرد، ET ، تبخیر - تعرق واقعی، ET_m ، حداکثر تبخیر - تعرق، λ_i

حداکثر تبخیر تعرق (ET_m) است. در این رابطه، K_y ضریب واکنش عملکرد گیاه نسبت به کم آبی است. ضریب واکنش عملکرد محصول به آب مصرفی توسط رابطه بین عملکرد گیاه و تنش آبی که ناشی از کم آبیاری در مرحله خاص یا کل مراحل رویش گیاه است، توصیف می‌شود (Raes 2002). زمانی که کم آبیاری در مرحله‌ای خاص از رشد گیاه اتفاق افتد، واکنش عملکرد گیاه به حساسیت آن مرحله بستگی خواهد داشت (Shurong and Limei 1999; Mountonnet 2002).

مراحل حساس رشد گیاه چغندر قند نسبت به کم آبی به ترتیب شامل مراحل رشد رویشی، رشد ریشه و رسیدن یا ذخیره‌سازی قند است (ابراهیمی پاک ۱۳۸۳؛ Doorenbos and IAEA 1996, Kassam 1979). ضریب واکنش عملکرد گیاه چغندر قند برای مراحل رشد گیاه بین ۰/۶ تا ۱/۱۱ و برای کل دوره رشد برابر با ۰/۸۵ گزارش شده است (Doorenbos and Kassam 1979, Mountonnet et al. 2002). آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، مقدار واکنش عملکرد گیاه چغندر قند را برای کل دوره رشد در ترکیه و مراکش به ترتیب معادل ۰/۹۱ و ۱/۰۷ به دست آورده است (IAEA 1996).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد به مشخصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی با

به حداکثر آب مصرفی باشد، از رابطه (۸) استفاده می‌شود (Nairizi and Rydzeweski 1977):

$$\frac{Y}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{W_a}{W_c} \right)_i^{\lambda_i} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن، Y عملکرد واقعی، Y_m حداکثر عملکرد و W_a آب مصرفی واقعی و W_c حداکثر آب مصرفی است. محققان پس از جمع‌بندی روابط ارائه شده و تجزیه و تحلیلی که روی آن‌ها انجام شد، روابط بین عملکرد نسبی و تبخیر - تعرق نسبی را ارائه کردند (Doorenbos and Kassam 1977):

$$\frac{y}{y_m} = (1 - K_y) + K_y \left(\frac{ET}{ET_m} \right) = 1 - \frac{y}{y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_m} \right)$$

رابطه (۹)

اگر چنانچه مراحل مختلف رشد یک محصول مورد توجه قرار بگیرد، رابطه به صورت رابطه (۱۰) تبدیل می‌شود.

$$K_y = \frac{\prod_{n=1}^m \left[1 - \frac{y}{y_m} \right]}{\prod_{n=1}^m \left[1 - \frac{ET}{ET_m} \right]} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

مدلی که توسط FAO معرفی و مورد قبول قرار گرفت (Doorenbos and Kassam 1977)، به صورت رابطه (۱۱) قابل بیان است:

$$1 - \frac{Y}{Y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_m} \right) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در آن Y یا عملکرد واقعی کسری از حداکثر عملکرد (Y_m) و ET یا مقدار تبخیر تعرق واقعی کسری از

به منظور اندازه‌گیری دقیق تبخیر تعرق پتانسیل گیاه، از یک لایسیمتر زهکش‌دار در شرایط مشابه مزرعه از نظر بافت، ساختمان خاک و کشت گیاه استفاده شد. با اندازه‌گیری دقیق مقدار رطوبت خاک درون لایسیمتر و تعیین مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه، مقادیر آب آبیاری هر کرت محاسبه و توسط لوله تا ابتدای کرت منتقل شد. سپس آب از طریق کنتور حجمی با دقت بالا اندازه‌گیری و در اختیار هر کرت قرار داده شد. جرم مخصوص ظاهری (Pb) به روش استوانه‌ای و رطوبت ظرفیت زراعی (FC) و رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) خاک مزرعه به وسیله صفحه فشار بر روی نمونه‌های لایه‌های پروفیل خاک در عمق‌های مختلف اندازه‌گیری شد. مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه نیز با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار از رابطه (۱۲) محاسبه شد.

$$ET_c = I + R - D - (Sw_1 - Sw_2) \quad (12)$$

که در آن، ET_c تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه (میلی‌متر)، I میزان آب آبیاری موردنیاز تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی (میلی‌متر)، R میزان بارندگی (میلی‌متر)، D عمق آب زهکش شده (میلی‌متر)، Sw_2 رطوبت لایه خاک در ابتدای دوره اندازه‌گیری (میلی‌متر) و Sw_1 رطوبت لایه خاک در انتهای دوره اندازه‌گیری (میلی‌متر) بود. به منظور ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری در مراحل رشد سه‌گانه گیاه چغندرقد، کم‌آبیاری فقط در همان مرحله انجام و در سایر مراحل، آبیاری به‌طور کامل انجام شد. میزان بارندگی در طول مرحله آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی مذکور ۱۸/۲ میلی‌متر بود (R).

ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا در یک خاک رسی- لومی تا لومی- شنی، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار از بهار ۱۳۷۵ به مدت دو سال زراعی اجرا شد. قبل از اجرای طرح نمونه‌هایی از اعماق خاک تهیه و برخی مشخصات فیزیکی خاک تعیین گردید که نتایج آن در جدول شماره یک ارائه شده است. در این پژوهش، تیمارهای آبیاری در پنج سطح شامل E_0 (آبیاری کامل معادل تبخیر تعرق پتانسیل گیاه) و E_1 تا E_4 به ترتیب شامل ۸۵، ۷۰، ۵۵ و ۳۰ درصد تبخیر تعرق گیاه چغندرقد (محاسبه شده از طریق لایسیمتر) بود. تحقیق در سه آزمایش جداگانه در مراحل مختلف رشد گیاه شامل T_1 : ابتدای مرحله رشد یا مرحله رشد برگ (مرحله هشت تا ۱۰ برگ) یا تقریباً ۵۰ روز پس از کاشت)، T_2 : مرحله رشد میانی یا مرحله رشد ریشه (۵۰ روز دوم کاشت) و T_3 : انتهای مرحله رشد یا مرحله ذخیره‌سازی قند در ریشه (۴۵ روز آخر دوره رشد) اجرا شد. از آنجا که زمین انتخابی طرح در تناوب با زراعت گندم بود، عملیات تهیه زمین با شخم زمستانه آغاز و با دیسک و مال‌کشی بهاره و ایجاد کرت‌های آزمایشی به ابعاد سه در پنج متر خاتمه یافت. جهت اطمینان از عدم نشت افقی آب، فاصله بین دو کرت مجاور ۲/۵ متر در نظر گرفته شد و انتهای شیارها بسته بود. بنابراین، از تلفات سطحی آب جلوگیری شد. شیارها توسط ماشین ردیف‌کار ایجاد شد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کشت به طول پنج متر و فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود که با بذر رقم منوژرم تکنیکی ۷۲۳۳ کشت شد.

(Clark.1971; Doorenbos and Kassam 1979) از رابطه (۱۰) برای تعیین روابط بین عملکرد نسبی و تبخیر- تفرق نسبی در مراحل مختلف رشد استفاده شد (Doorenbos and Kassam 1977). به دلیل این که کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه در فصل رویش اثرات پیچیده و متقابل دارد، ابتدا جهت تعیین عناصر وابسته در هر مرحله رشد، این اثرات ساده سازی شد و سپس برای بیان ترکیب اثرات تنش آبی در مراحل رشد گیاه با استفاده از رابطه (۱۳) از روش جمع پذیری (Σ) یا ضرب پذیری (Π) استفاده شد:

$$1 - \frac{y}{y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_m} \right) \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

در شرایطی که هیچ گونه کم آبیاری اعمال نشود ($ET/ET_m=1$) از رابطه (۱۴) به دست می آید:

$$\text{if } -\frac{ET}{ET_m} = 1 \Rightarrow 1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y(1-1) = Y_a = Y_m \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

در شرایط کم آبیاری ($0 < ET/ET_m < 1$) از رابطه (۱۵) مورد استفاده می باشد:

$$0 < \frac{ET}{ET_m} < 1 \Rightarrow 1 - \frac{Y}{Y_m} = k_y \left(1 - \frac{ET}{ET_m} \right) \Rightarrow K_y = \frac{1 - \frac{y}{y_m}}{1 - \frac{ET}{ET_m}} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

در این مطالعه، برای ارزیابی مدل (۱۵) از اطلاعات مربوط به میزان تبخیر تفرق واقعی، تبخیر تفرق پتانسیل، عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد استفاده شد.

بیشینه، متوسط و کمینه دمای سالیانه محل اجرای تحقیق به ترتیب معادل ۳۰، ۱۲ و ۳/۵ درجه سانتی گراد بود.

برداشت از دو ردیف میانی با حذف حاشیه از کرت های آزمایشی در سطحی معادل ۴/۵ مترمربع انجام شد. پس از توزین محصول، نمونه ها در کارخانه قند شهرکرد شستشو شد و پولپ ریشه جهت تعیین صفات کیفی ریشه به آزمایشگاه تکنولوژی چغندر قند مؤسسه تحقیقات چغندر قند ارسال شد. همچنین از هر کرت نمونه ای از کل اندام هوایی گیاه تهیه و در آن الکتریکی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد خشک شد تا مجموع ماده خشک (عملکرد بیولوژیک) در تیمارهای آزمایشی محاسبه شود. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزارهای SPSS و Minitab استفاده شد.

رابطه بین تولید محصول و تبخیر- تفرق گیاه را تابع «تولید محصول و تبخیر تفرق» گویند که این تابع برای متخصصان منابع آب، زراعت و اقتصاددانان مهم است. تابع «تولید - تبخیر و تفرق» تحت مکانیسم عمومی یا خاص و یا به صورت تجربی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد (Stewart et al. 1977). مدل های تجربی دو نوع هستند یک نوع از این مدل ها رابطه بین عملکرد محصول و تبخیر تفرق دوره رشد را بیان می کنند (Hiler and Clark. 1971; Stewart et al. 1977). نوع دوم واکنش نسبی عملکرد را نسبت به تبخیر- تفرق نسبی برای مرحله خاص از رشد گیاه بیان می کند (Jensen 1968; Hiler and

جدول ۱ برخی مشخصات فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی چغندرقد در سال‌های اجرای طرح ۷۶-۱۳۷۵

عمق نمونه برداری (سانتی‌متر)	نماد	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵	۷۵-۱۲۰	۱۲۰-۱۴۰	۱۴۰-۱۸۵	متوسط
رطوبت در حد ظرفیت نگهداری خاک (درصدوزنی)	FC	۲۲/۵	۲۳	۲۴	۱۷/۲	۱۹/۲	۲۰/۶	۲۱/۰۸
ظرفیت نقطه پژمردگی خاک (درصد وزنی)	PWP	۱۲/۷	۱۲/۹	۱۳/۵	۹/۵	۹/۷	۱۰/۱	۱۱/۴
جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	P _b	۱/۳۴	۱/۵۷	۱/۷۸	۱/۶۷	۱/۶۹	۱/۶۷	۱/۶۲
بافت خاک		سیلتی-رسی	سیلتی-لومی	لومی شنی	شنی-لومی	سیلتی-لومی	سیلتی-لومی	سیلتی-لومی شنی

نتایج و بحث

در مرحله اول ۰/۸۹، مرحله دوم ۰/۷۹ و مرحله سوم ۰/۸۰ بود. در نتیجه، بیشترین حساسیت به تنش آبی در گیاه چغندرقد به ترتیب در مراحل اول، دوم و سوم رشد مشاهده شد. علاوه بر مقادیر فوق، مقادیر K_y ارایه شده توسط IAEA و FAO برای چغندرقد به منظور مقایسه درج شده است و نتایج حاصل نشان داد که مقدار K_y تیمارهای E_1 ، E_2 و E_3 برای مراحل رشد با مقادیری که توسط FAO (Doorenbos and Kassam 1979) و IAEA (1996) ارایه شده است، هم‌خوانی دارد. مقادیر K_y چغندرقد برای ترکیه و مراکش توسط FAO به ترتیب برابر با ۰/۸ و ۰/۹ و توسط IAEA به ترتیب معادل ۰/۹۱ و ۱/۰۷ به دست آمده است. علت این اختلاف تأثیرپذیری ضریب واکنش عملکرد گیاه از عواملی نظیر خاک، اقلیم، رطوبت نسبی و اکولوژی گیاه است.

در این مطالعه، مقدار K_y چغندرقد در تیمار E_3 طی مرحله‌های اول، دوم و سوم رشد به ترتیب برابر با ۱/۲۶، ۱/۰۶ و ۰/۹۶ به دست آمد که تأییدی بر حساسیت چغندرقد در مرحله جوانه‌زنی نسبت به کم‌آبی است، به نحوی که اگر در این مرحله از رشد

نتایج تجزیه واریانس دوساله نشان داد اثر مقدار آب آبیاری بر عملکرد ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین عملکرد ریشه نشان داد تیمار E_0 بیشترین و تیمار E_4 کمترین عملکرد ریشه را در هر سه دوره رشد داشتند (جدول ۳). مقادیر ضریب واکنش عملکرد چغندرقد (K_y) نسبت به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد در جدول چهار ارایه شده است. در این جدول، مشاهده می‌شود که مقدار K_y برای مرحله اول رشد چغندرقد بین ۰/۳۴ تا ۱/۳۸، برای مرحله دوم رشد بین ۰/۳۴ تا ۱/۳۳ و برای مرحله سوم رشد گیاه بین ۰/۳۴ تا ۱/۲۹ تغییر می‌کند. با افزایش تنش آبی مقدار K_y افزایش یافت و با تأخیر-تغرق گیاه نسبت معکوس داشت. می‌توان نتیجه گرفت که مقدار K_y در مراحل مختلف رشد گیاه با تأثیر کم‌آبیاری بین ۰/۳۴ تا ۱/۳۸ نوسان دارد، لیکن در شرایطی که بیشترین مقدار کم‌آبیاری اعمال می‌شود، در مرحله اول رشد برابر با ۱/۳۸، در مرحله دوم رشد برابر ۱/۳۳ و در دور سوم رشد برابر با ۱/۲۹ شد. میانگین ضریب واکنش عملکرد

رشد گیاه به دلیل مصادف شدن با رشد ریشه، نسبت به کم آبیاری حساسیت بیشتری دارند. این تأثیر به نحوی بود که میزان کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی در مرحله دوم و سوم رشد به ترتیب به ۲۵ و ۲۰ تن در هکتار رسید (جدول ۳). تیمار E_4 در هر سه مرحله رشد گیاه، نسبت به کم آبیاری حساسیت بیشتری نشان داد و مقدار K_y آن بیشتر از یک شد. به عبارت دیگر، با کاهش نسبی تبخیر - تعرق گیاه، عملکرد نسبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و کاهش می‌یابد. مقدار K_y در تیمارهای E_0 و E_1 (با کاهش ۳۰ درصد آب آبیاری نسبت به تبخیر - تعرق گیاه) بین ۰/۳۴ تا ۰/۵۵ متغیر بود و نشان داد که کاهش مصرف آب به میزان ۳۰ درصد نسبت به تبخیر تعرق واقعی بر عملکرد محصول تأثیر معنی‌داری نداشت.

گیاه تنش آبی رخ دهد، کاهش عملکرد محصول بسیار چشمگیر خواهد بود. این موضوع با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Brown and Dunham 1989). در مرحله اول رشد گیاه، اختلاف مقدار K_y بین تیمارهای E_1 و E_4 برابر با ۱/۰۴، در مرحله دوم رشد برابر با ۰/۹۹ و در مرحله سوم رشد برابر با ۰/۹۵ است. این درحالی است که با اعمال شدیدترین تنش آبی در تیمار E_4 ، مقدار K_y در مرحله اول، دوم و سوم رشد گیاه به ترتیب ۱/۳۸، ۱/۳۳ و ۱/۲۹ بود. لذا چنانچه این تیمار که تنش شدید ایجاد می‌کند در نظر گرفته نشود، اختلاف مقدار K_y بین تیمارهای E_1 و E_3 در مراحل اول، دوم و سوم رشد گیاه به ترتیب معادل ۰/۹۲، ۰/۷۲ و ۰/۶۲ خواهد بود و نشان می‌دهد که مرحله اول رشد گیاه به دلیل استقرار بذر و رشد رویشی و مرحله دوم

جدول ۲ تجزیه واریانس مرکب عملکرد ریشه و اجزای عملکرد چغندر قند در سال‌های اجرای طرح ۷۶-۱۳۷۵

درجه آزادی	میانگین مربعات				منابع تغییرات	مرحله رشد
	عملکرد ریشه	درصد قند	عملکرد قند	قند ملاس		
۱	۵/۳۷	۰/۰۰۲۷	۰/۱۶	۰/۲۲۵	۰/۰۶۴	سال
۴	۲۱۹/۲۸**	۰/۶۶۵	۷/۲۵**	۰/۱۶۲	۰/۴۷۱	تکرار (سال)
۴	۴۰۳/۶۶**	۱/۷۸۶	۶/۲۴**	۰/۴۷۹	۱/۲۹۹	تیمار
۴	۹/۲۵	۰/۴۹۷	۰/۲۵	۰/۰۲۳	۰/۳۶۰	تیمار×سال
۱۶	۲۴/۱۵	۱/۵۳۰	۰/۵۹	۰/۱۰۸	۰/۵۲۱	خطا
۲۹						کل
۱	۹/۸۶	۱/۹۲۰	۰/۰۵	۱/۲۷۱	۰/۰۲۶	سال
۴	۰/۶۹	۰/۲۸۹	۰/۰۷	۱/۳۱۰	۰/۵۲۶	تکرار (سال)
۴	۶۵۵/۶۰**	۲/۴۴۰	۱۱/۳۰**	۰/۲۶۳	۰/۵۲۸	تیمار
۴	۲۴/۸۷	۱/۶۱۰	۰/۱۲	۰/۱۵۰	۰/۰۸۱	تیمار×سال
۱۶	۱۱/۹۵	۰/۹۳۰	۰/۵۲	۰/۳۱۷	۰/۲۷۷	خطا
۲۹						کل
۱	۱۱۷/۶۵**	۰/۵۳	۳/۴۷*	۰/۱۲۳	۰/۱۲۹	سال
۴	۱۰۴/۲۴**	۱/۵۵	۲/۶۲*	۰/۴۱۷	۱/۶۱۰	تکرار (سال)
۴	۴۳۰/۷۶**	۰/۲۷۶	۱۰/۲۷**	۰/۱۳۳	۰/۲۲۸	تیمار
۴	۱۹/۹۸	۰/۴۵۵	۰/۴۴	۰/۱۹۴	۰/۲۹۱	تیمار×سال
۱۶	۱۲/۹۸	۰/۷۱۲	۰/۴۰	۰/۱۲۵	۰/۵۴۸	خطا
۲۹						کل

* و ** معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳ میانگین برخی صفات مربوطه به عملکرد چغندر قند در سطوح مختلف آبیاری اعمال شده در دوره‌های مختلف رشد ۷۶-۱۳۷۵

مرحله رشد	تیمار	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	درصد قند	عملکرد قند (تن در هکتار)	قند ملاس (درصد)	سدیم ریشه (میلی آکی والان در یکصد گرم ریشه)
اول ۸ تا ۱۰ برگی	E ₀ T ₁	۴۹/۵ ^a	۱۵/۱۵	۷/۵ ^{.a}	۳/۲۷	۳/۷۸
	E ₁ T ₁	۴۷/۱ ^{ab}	۱۵/۳۴	۷/۲۳ ^{ab}	۳/۶۲	۳/۸
	E ₂ T ₁	۴۵/۴ ^b	۱۵/۷۴	۷/۱۵ ^{ab}	۳/۳۷	۳/۴۸
	E ₃ T ₁	۳۴/۵ ^c	۱۶/۳۰	۵/۶ ^{.b}	۳/۰۷	۲/۹۱
	E ₄ T ₁	۲۷/۶ ^d	۱۶/۳۵	۴/۵ ^{.c}	۳/۲۶	۳/۴
دوم رشد ریشه	E ₀ T ₂	۴۹/۵ ^a	۱۵/۱۵ ^b	۷/۵ ^{.a}	۳/۲۷	۳/۷۸
	E ₁ T ₂	۴۶/۱ ^b	۱۵/۴۵ ^{ab}	۷/۱۲ ^b	۳/۷	۳/۸۶
	E ₂ T ₂	۴۳/۳ ^c	۱۶/۶۴ ^a	۷/۲۱ ^b	۳/۴	۳/۵۳
	E ₃ T ₂	۳۵/۶ ^d	۱۶/۰۳ ^a	۵/۷ ^{.c}	۳/۳	۳/۱۳
	E ₄ T ₂	۲۴/۶ ^e	۱۵/۹۴ ^{ab}	۳/۹۳ ^d	۳/۷	۳/۴۱
سوم ذخیره سازی	E ₀ T ₃	۴۹/۵ ^a	۱۵/۱۵	۷/۵ ^{.a}	۳/۷۸	۳/۲۷
	E ₁ T ₃	۴۶/۸ ^{ab}	۱۵/۷	۷/۳۵ ^{ab}	۴/۰۱	۳/۳
	E ₂ T ₃	۴۲/۸ ^b	۱۵/۹	۶/۸۱ ^b	۳/۶۴	۳/۵
	E ₃ T ₃	۳۸/۲ ^c	۱۵/۹	۶/۰۷ ^c	۳/۳۴	۳/۲
	E ₄ T ₃	۲۸/۶ ^d	۱۶/۳	۴/۷۰ ^d	۳/۵۵	۳/۲۷

میانگین های دارای حروف مشترک در هرستون و مرحله رشد اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد ندارند (آزمون دانکن).

جدول ۴ مقادیر ضریب واکنش (K_y) عملکرد ریشه و قند ناخالص در رابطه با ET_m/ET در مراحل مختلف رشد چغندر قند

تیمار آبیاری	مرحله اول ۸ تا ۱۰ برگی		مرحله دوم رشد ریشه		مرحله سوم ذخیره سازی		میانگین	
	K_y ریشه	K_y قند ناخالص	K_y ریشه	K_y قند ناخالص	K_y ریشه	K_y قند ناخالص	متوسط K_y ریشه	متوسط K_y قند ناخالص
E ₀	-/۳۴	-/۴۰	-/۳۴	-/۴۰	-/۳۴	-/۴۰	-/۳۴	-/۴۰
E ₁	-/۵۰	-/۴۹	-/۵۸	-/۵۵	-/۵۴	-/۴۳	-/۵۴	-/۴۹
E ₂	-/۹۴	-/۵۸	-/۶۸	-/۵۸	-/۸۲	-/۶۸	-/۸۲	-/۶۱
E ₃	۱/۲۶	۱/۱	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۹۶	۱/۹۶	۱/۰۹	۱/۹۸
E ₄	۱/۳۸	۱/۲۶	۱/۳۳	۱/۲۷	۱/۲۹	۱/۲۰	۱/۳	۱/۲۴
میانگین	-/۸۹	-/۷۷	-/۷۹	-/۷۳	-/۸۱	-/۷۳	-/۸۲	-/۷۴
FAO	ترکیه ۰/۸	IAEA	ترکیه ۰/۹۱	FAO	مراکش ۰/۹	IAEA	مراکش ۱/۰۷	

پیش‌بینی عملکرد واقعی می‌توان از یک رابطه ریاضی استفاده کرد. لذا رابطه زیر به عنوان یک مدل

حساسیت گیاه نسبت به کم‌آبی در سطوح مختلف آب آبیاری در مراحل مختلف رشد متفاوت بود. برای نشان دادن حساسیت گیاه به کم‌آبی به منظور

مقدار عددی ضرایب A ، B و C از رابطه (۱۶) تعیین و در جدول پنج ارایه شده است. در شرایط تنش آبی با داشتن حداکثر عملکرد و تبخیر تعرق پتانسیل می توان عملکرد واقعی محصول را با تقریب بالای ۹۰ درصد به دست آورد.

پیش بینی مقدار واقعی عملکرد گیاه در شرایط تنش آبی ارایه می شود:

$$Y = Y_m * A \left(\frac{ET}{ET_m} \right)^2 + B \left(\frac{ET}{ET_m} \right) + C \quad (16)$$

جدول ۵ مقادیر ضرایب عملکرد واقعی چغندر قند از رابطه (۱۶)

ضرایب	ضرایب عملکرد واقعی ریشه				ضرایب عملکرد واقعی قند			
	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	متوسط	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	متوسط
A	-۴/۷۹۷	-۵/۳۰	-۶/۳۷۶	-۵/۴۹	-۶/۴۵	-۸/۹۷۵	-۵/۴۴۵	-۶/۹۶
B	۹/۶۰۴	۹/۸۹	۱۲/۳۵	۱۰/۶۱	۱۱/۸۱	۱۵/۰۵۹	۱۰/۹۳	۱۲/۶
C	-۳/۷۳	-۳/۵۵	-۴/۹۴	-۴/۰۷	-۴/۴۳	-۵/۳۹۹	-۴/۳۷۲	-۴/۷۳
R ²	۰/۹۷۸	۰/۹۸۷	۰/۹۹۸	۰/۹۸۸	۰/۹۲۵	۰/۹۴۴	۰/۹۹۹	۰/۹۷۲

رابطه با داشتن مقدار کاهش نسبی تبخیر تعرق، مقدار کاهش نسبی محصول قابل پیش بینی است. با در اختیار داشتن روابط ۱۶ و ۱۷ و به ویژه رابطه (۱۷) و ضرایب آن نیازی به اندازه گیری تبخیر - تعرق در هر مرحله رشد گیاه نیست و با ارایه روش مدیریت مناسب می توان از مقدار آب معین و موجود و چگونگی زمان استفاده از آن عملکرد مطلوب و منطقی را پیش بینی کرد و با یک مقدار معین کاهش تبخیر - تعرق نسبی در مرحله ای خاص از رشد گیاه می توان حداقل کاهش محصول را انتظار داشت.

زمان اعمال و شدت تنش آبی برای گیاه مهم است و چنانچه تنش آبی یا ET_d به گونه ای اعمال شود که گیاه را دچار تنش شدید نکند، کاهش عملکرد گیاه کمتر خواهد بود. در این حالت، رابطه کاهش نسبی عملکرد با کاهش نسبی تبخیر تعرق پتانسیل گیاه ET_d از رابطه (۱۷) قابل برآورد خواهد بود:

$$Y_r = a(ET_d)^2 + b(ET_d) + c \quad (17)$$

ضرایب a ، b و c از رابطه (۱۷) برای عملکرد نسبی ریشه چغندر قند در جدول ۶ ارایه شده است. در این

جدول ۶ ضرایب رابطه کاهش نسبی عملکرد (Y_r) و کاهش نسبی تبخیر تعرق گیاه چغندر قند (ET_d)

ضرایب	ضرایب عملکرد واقعی ریشه				ضرایب عملکرد واقعی قند ناخالص			
	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	متوسط	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	متوسط
a	-۴/۷۹۷	-۵/۳۰۱	۶/۳۷۶	۵/۴۹۱	۶/۴۵۲	۸/۹۷۵	۵/۴۴۵	۶/۹۵۷
b	۰/۰۱۰۵	-۷/۱۲۳	-۳/۹۹۸	-۳/۶۷	-۱/۰۸۹	-۲/۸۹۱	۰/۰۴۳۱	-۱/۳۱
c	-۰/۷۳۵	-۰/۳۸۹	۰/۰۳۶۷	۰/۰۴۹۷	۰/۰۶۳۷	۰/۳۱۵	-۱/۱۱۵۹	۰/۰۸۸۸
R ²	۰/۹۴۵	۰/۹۹۴	۰/۹۹۸۷	۰/۹۷۹	۰/۹۳۸	۰/۹۹۲	۰/۹۹۹	۰/۹۷۶

نتیجه گیری

شدید عملکرد ریشه و قند قابل استحصال را به دنبال خواهد داشت. در هر سه مرحله رشد گیاه تیمار E_4 دارای K_y بیشتر از یک بوده و نشان داد با کاهش نسبی تبخیر- تعرق، عملکرد نسبی گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و عملکرد واقعی آن کاهش می‌یابد. از طرفی گیاه نسبت به تیمار E_1 حساسیت کمتری نشان داد.

نتایج نشان داد مراحل اول، دوم و سوم رشد گیاه چغندر قند به ترتیب مراحل حساس تا نیمه حساس نسبت به تنش آبی هستند، به طوری که حساس‌ترین آنها، مرحله اول رشد چغندر قند است که اگر مقدار آب قابل دسترس خاک طی این مرحله کاهش یابد، اُفت

References:

منابع مورد استفاده:

- ابراهیمی‌پاک، ن. ع. کاوه، ف. پذیرا، ا. صباغ فرشی، ع. ا و عابدی، م. ۱۳۸۳. مدلسازی عملکرد محصولات زراعی در شرایط کم‌آبیاری. رساله دکترای آبیاری، گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- طالقانی، د. گوهری، ج.، توحیدلو، ق و روحی ا. ۱۳۷۸. مطالعه کارایی مصرف آب و ازت در شرایط مطلوب و تنش در هر آرایش کاشت چغندر قند. گزارش نهایی، انتشارات مؤسسه تحقیقات چغندر قند.
- Arkley RJ. Relationship between plant growth and transpiration. *Hilgardia*. 1963; 34: 557-565.
- Brown KF, Dunham RJ. Recent progress on fibrous root system of sugar beet in world sugar and Sweetener year book. F.O. Licht, GmbH, Rutzbury. 1989; Pp. F5-F13.
- Carter JN, Jensen ME, Traveler D J. Effect of mid and late season water stress on sugar beet growth and yield. *Agronomy Journal*. 1979; 72(5): 806-815.
- Colver GR, Smith HG, Azom SN, Jaggard KW. The effects of drought on sugar beet growth in isolation and combination with beet yellow virus infection. *J. of Agr. Sci*. 1999; 133: 251-261.
- De wit CT. Transpiration and crop yields. Institute Voor Biologisch en Scheikundig and Erzoek van Land bau Wge Wassen, Versel. Landbouskd, on Derz, 64.6. 1958; Wageningen, The Netherlands.

- Raes D. Yield response to water. Kuleuven Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences. Department of Land Management, Laboratory of Soil and Water Management. 2002; dirk.raes@agr.kuleuven.ac.be.
- Doorenbos J, Kassam AH. Yield response to water. F. A.O. Irrigation and Drainage. 1977; Paper 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Hanks RJ. Model for predicting plant yield as influenced by water use. Agron. J. 1974; 66: 660-664.
- Hanks RJ, Rasmussen VP. Predicting crop production as related to plant water stress. Adv. Agron. 1982; 35: 193-215.
- Hanks RJ, Miller DE. Response of sugar beet to deficit high frequency-sprinkler irrigation. I. Sucrose accumulation, top, and root dry matter production. Agron. J. 1986; 78: 10-20.
- Haward W, Gallian J. Irrigation water management in sugar beet production. 1997; www.uidaha.edu/sugarbeet/irribeet.htm-8K.
- Hiler EA, Clark RN. Stress day index to characterize effects of water stress and crop yields. Trans. ASAE. 1971; 14: 757-761.
- Hills FJ, Kaffka SR. Sugar beet irrigation. Sugar beet. 2000; UC Davis. Edit/ SBPM/ Irrigation/ Sb Irrigation. Html.
- IAEA. Nuclear techniques to assess irrigation schedules for field crops. 1996; IAEA- TECDOC 8-8-8. Vienna.
- Kipkorir EC, Raes D. Transformation of yield response factor into Jensen's sensitivity index. Irrigation and Drainage Systems. 2002; 16:47-52.
- Kostrej A, Repka J. Quantitative indicators of growth production processes and yield formation of sugar beet. Rostlinna-Vyroba. 1993; 39(12):1077-1089.
- Jensen ME. Water consumption by agricultural plants. In: Water deficits in plant growth. Kilo Ski, T. T. (Ed.). 1968; 1:1-22, Academic Press, NY.
- Minbas BC, Parikh KS, Srinivasan TN. Towards the structure of a production function of wheat yield with dated inputs of irrigation water. Water Resource Research. 1974; 383-393.

- Moutonnet P. Yield response factors of field crops to deficit irrigation. F.A.O Irrigation and Drainage. 2002; paper 22. Rome, Italy.
- Nairizi S, Rydzewski JR. Effects of dated soil moisture stress on crop yield. Exp. Agric. 1977; 13: 51-59.
- Shurong Li, Limei GAO. Water deficit sensitivity index for spring wheat in arid and semi –arid areas of inner Mongolia. Proceeding of 99th International Conference on Agricultural Engineering, 1999; Viena.
- Stewart JI, Cuenca RH, Pruitt WO, Hagan RM, Tosso J. Determination and utilization of water production functions for principal California crops. W-79 Calif Contrib. Proj. Rep. University of California. 1977; Davis.
- Varlev I P, Dimitrov P. Irrigation scheduling for conjunctive use of rainfall and irrigation based on yield–water relationships. Irrigation scheduling: From theory to practice. FAO Water Reports: N8, FAO, Rome, Italy. 1995; 205-214.