

## Determination of chromosomes controlling physiological traits associated to drought tolerance in rye

رضا محمدی<sup>۱</sup> و عزت‌اله فرشادفر<sup>۲</sup>

(*Secale cereale* L. cv. Imperial)

(*Triticum aestivum* L. cv. Chinese Spring)

(RWL)

(RWC)

(SR)

(WUE)

3R 7R

(MSI)

(STI)

(QTLs)

3R 7R

QTLs

(GSI)

QTLs

کارشناسان گندم در سراسر دنیا پی گیری می شود (Maan,1987; Khush and Brar,1992; Kalloo,1992). علاوه بر صفات مورفولوژیکی که در سازگاری گیاه به شرایط تنش خشکی مورد توجه قرار می گیرند، شاخص های فیزیولوژیکی نیز اهمیت حیاتی در بقاء و سازگاری گیاهان به تنش های محیطی داشته و از این رو توجه به شاخص های فیزیولوژیکی یکی از جنبه های مهم در مطالعات مربوط به تحمل به خشکی در گیاهان

آسیب پذیری ژنتیکی ارقام گندم به وسیله تنش های محیطی (زنده و غیرزنده) افزایش می یابد. بنابراین جمع آوری، نگهداری و ارزیابی گونه های وحشی جنس تریتیکوم و جنس های خویشاوند آن که دارای سازگاری وسیعی با محیط های مختلف بوده و حامل منابع بزرگی از ژن های مفید با واکنش مطلوب به تنش های محیطی زنده و غیرزنده باشند، هدفی است که به وسیله

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۲/۷/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۱/۲/۳۰

۲- دانشیار دانشگاه رازی- کرمانشاه

۱- کارشناس ارشد، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم- سرارود

فیزیولوژیکی (WUE, SR, CHF, RWL, RWC) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (محمدی، ۱۳۷۹). تنظیم اسمزی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تحمل به خشکی است (Loss and Siddique, 1994; Al-Dakheel, 1991) ارتباط زیادی با میزان آب نسبی بیشتر و کاهش کمتر میزان آب نسبی از دست رفته دارد (Schonfeld et al., 1988; Yang et al., 1991; Wang and Clarke, 1993; Haley et al., 1993).

از لحاظ رژیم آبی تحمل به خشکی یکی از مؤلفه‌های پایداری است و در شرایطی که محیط‌ها تنوع زیادی داشته باشند، ژنوتیپ‌های پایدار می‌توانند برای تحمل به خشکی بر اساس صفات فیزیولوژیکی طبقه‌بندی شوند. (Clarke, 1987; Singh, 1989; Bidinger and Witcombe, 1989; Blum, 1992; Acevedo and Ferere, 1993)

لاین‌های افزایشی دیزومیک که حامل یک جفت کروموزوم از گونه‌های خویشاوند به زمینه ژنتیکی گونه گیرنده می‌باشند، می‌توانند به منظور تعیین کروموزوم‌های بیگانه که حامل ژن‌های کنترل‌کننده شاخص‌های تحمل به خشکی باشند، مورد استفاده قرار گیرند (Mahmood and Quarrie, 1993). بنابراین هدف از این مطالعه: (۱) یافتن کروموزوم‌هایی از چاودار است که دارای بیشترین تعداد ژن‌های کنترل‌کننده شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل به خشکی باشند. (۲) تعیین شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر مقاومت به خشکی و معرفی شاخص انتخاب چندانگانه می‌باشد.

آزمایش در سال ۱۳۷۷ در دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی در کرمانشاه به منظور مطالعه محل جایگاه‌های ژنی شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل به خشکی در چاودار انجام گرفت. مواد آزمایشی شامل

به حساب می‌آید. تحمل به خشکی یک صفت ساده و منحصر به فرد نبوده، بلکه یک صفت کمی و پیچیده با جنبه‌های مختلف می‌باشد. بنابراین تحمل به خشکی ترکیبی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی است که با میزان آب نسبی برگ (Relative Water Content = RWC)، میزان آب نسبی از دست رفته (Relative Water Loss = RWL)، کلروفیل فلورسنس (Chlorophyll Fluorescence=CHF)، تجمع پرولین و اسید آبسزیک (ABA)، تنظیم اسمزی (Osmotic Adjustment)، اندازه ریشه (Blum, 1988) و پارامترهای دیگر [نظیر تبادل روزنه‌ای (CO<sub>2</sub> exchange) و کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency=WUE)، (محمدی، ۱۳۷۹)] در ارتباط می‌باشد. بیشتر مطالعاتی که اخیراً انجام شده است (Jiang et al., 1994; Sharma and Knott, 1987; Gale and Miller, 1987; Gill, 1983) بر اساس انتقال ژن‌های بیگانه به گندم به منظور اصلاح برای تحمل به تنش‌های زنده (آفات و بیماری‌ها) به واریته‌های گندم بوده است. این در حالی است که تحقیقات و مطالعات اندکی در مورد انتقال کروموزوم‌ها یا ژن‌های بیگانه به گندم برای اصلاح تحمل به تنش‌های غیرزنده (خشکی، سرما و شوری) انجام شده است. دانش موجود برای کنترل ژنتیکی صفات مرتبط با خشکی کافی نبوده و نمی‌توانیم از آن‌ها در برنامه‌های بهنژادی استفاده نماییم. وراثت‌پذیری صفاتی همچون عملکرد اغلب تحت شرایط خشکی پایین بوده، که این می‌تواند مربوط به واریانس کوچک ژنتیکی یا بزرگ بودن واریانس‌های اثر متقابل محیط و ژنوتیپ باشد (Smith et al., 1990). بنابراین به روش‌هایی برای تاکید بیشتر بر روی جنبه‌های ژنتیکی، تعریف و مدیریت ژن‌های سازگار با شرایط تنش نیاز داریم (Morgan, 1989).

علاوه بر اصلاح برای عملکرد بیشتر که معمولاً به دلیل وراثت‌پذیری پایین آن مشکل می‌باشد، توجه به جنبه‌های دیگر تحمل به خشکی از قبیل شاخص‌های

ساقه رفتن به طور تصادفی پنج برگ جدا شده و بلافاصله وزن تر [Fresh Weight (FW)] آن‌ها به وسیله ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری شد. سپس به منظور به دست آوردن وزن خشک [Dry Weight (DW)]، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شدند و دوباره وزن گردیدند. با استفاده از رابطه زیر که توسط علی‌دیب و همکاران (Alidibe et al., 1990) ارائه شده است، میزان آب نسبی برگ بر حسب درصد محاسبه گردید:

$$RWC(\%) = [(FW-DW)/FW] \times 100$$

(RWL)

در این روش از هر لاین و رقم در هر تکرار در مرحله ساقه رفتن پنج برگ به طور تصادفی انتخاب و بلافاصله وزن شدند. سپس نمونه‌های وزن شده به مدت دو ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند تا وزن پژمردگی آن‌ها به دست آید. در نهایت نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت در آون برای به دست آوردن وزن خشک قرار گرفتند. میزان کاهش آب بر حسب گرم آب از دست‌رفته از وزن خشک برگ در دو ساعت محاسبه شد. میزان آب از دست‌رفته (بر حسب  $g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) از رابطه زیر که توسط یانگ و همکاران (Yang et al., 1991) ارائه شده است، محاسبه گردید. در این رابطه  $t_1$  و  $t_2$  زمان‌های لازم بر حسب ساعت به ترتیب برای وزن پژمردگی و وزن خشک و  $W_1$ ،  $W_2$  و  $W_3$  به ترتیب وزن‌های تر، پژمرده و خشک می‌باشد.

$$RWL = (W_1 - W_2 / W_3) / (t_1 - t_2 / 60)$$

(CHF)

در این روش بعد از خروج سنبه‌ها از غلاف برگ پرچم، پنج برگ پرچم از هر لاین و رقم در هر تکرار به طور تصادفی انتخاب و ماکزیمم عملکرد کوانتوم بعد از سازش با تاریکی ( $Fv/Fmax$ ) هر برگ پرچم توسط دستگاه جدید تجزیه‌گر عملکرد فتوسنتز - MINI-PAM - اندازه‌گیری شد.

سری کامل لاین‌های افزایشی دیزومیک چاودار (1R, 2R, 3R, 4R, 5R, 6R, 7R) و رقم چاودار (*Secale cereale* L.cv. Imperial (2n = 2x = 14) گندم (*Triticum aestivum* L.cv. Chinese Spring (2n=6x=42) به ترتیب به عنوان والد‌های دهنده و گیرنده بود. هم‌چنین ارقام چاودار (*Cecale cereale* L.cv. Lovaspatonia (2n=2x=14) و گندم (*Triticum aestivum* L.cv. Sardari (2n = 6x =42) به عنوان شاهد در آزمایش مورد مطالعه قرار گرفتند. هر لاین و رقم در دو خط ۱۲۰ سانتیمتری با فاصله ردیف ۲۰ سانتیمتر و فاصله بوته روی ردیف سه سانتیمتر کشت گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو محیط تنش (محیط تنش، محیطی است که در آن هیچ‌گونه تیمار آبیاری اعمال نشده و تنها به نزولات جوی اکتفا شد) و بدون تنش (آبیاری کامل) پیاده گردید. در طول اجرای آزمایش مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژیکی مرتبط با خشکی از قبیل آب نسبی برگ (RWC)، آب نسبی از دست‌رفته (RWL)، کلروفیل فلورسنس (CHF)، مقاومت روزنه‌ای (SR) و کارایی مصرف آب (WUE) در شرایط تنش اندازه‌گیری شد. هم‌چنین به منظور مطالعه و برآورد میزان تحمل به خشکی [Stress Tolerance Index (STI)]، عملکرد لاین‌ها و ارقام مورد مطالعه در دو شرایط تنش و بدون تنش (در مزرعه) اندازه‌گیری شد. در شرایط آزمایشگاه نیز با شبیه‌سازی برای مطالعه تحمل به خشکی با استفاده از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰، شاخص تنش جوانه‌زنی [Germination Stress Index (GSI)] و شاخص سرعت جوانه‌زنی [Promptness Index (PI)] در شرایط تنش و بدون تنش اندازه‌گیری شد. صفات و شاخص‌های مورد مطالعه بر اساس روش‌های زیر که توسط عده‌ای از محققین ارائه شده، اندازه‌گیری و محاسبه شدند.

(RWC)

در این روش از هر لاین و رقم در هر تکرار در مرحله

کود پوسیده حیوانی بود. سپس سه بذر سالم از هر لاین، در هر واحد آزمایشی با عمق یک سانتیمتر کشت شد و بعد از ده روز قوی‌ترین گیاهچه در هر واحد آزمایشی انتخاب و برای ادامه رشد نگهداری شد و دو گیاهچه دیگر حذف شدند (Ehdaei and Waines, 1993). در طرح آزمایشی مذکور به منظور محاسبه میزان آب تبخیر شده از سطح واحدهای آزمایشی، گلدان‌های کشت نشده نیز در قالب طرح کاملاً تصادفی منظور گردید و از این طریق میزان آبی که از طریق تبخیر سطحی از سطح واحدهای آزمایشی خارج می‌شد محاسبه گردید. در هر روز به طور منظم و دقیق میزان آب داده شده به واحدهای آزمایشی و میزان آبی که به صورت مصرف نشده از لیوان اول خارج و در لیوان زیرین جمع‌آوری می‌شد، با استفاده از بشر مدرج کوچک ۱۰۰<sup>CC</sup> اندازه‌گیری شد. در نهایت پس از ۳۹ روز، برای هر لاین و رقم مقدار کل ماده خشک (اندام هوایی و ریشه)، مقدار کل آب مصرف شده و میزان آب تبخیر شده اندازه‌گیری شد. و طبق فرمول زیر کارآیی مصرف آب محاسبه گردید (Ehdaei and Waines, 1993).

$$WUE = \frac{DM}{WU}$$

که در آن DM مقدار ماده خشک (Dry Matter) بر حسب گرم و WU مقدار آب مصرفی (Water Used) بر حسب گرم (سی سی) می‌باشد.

نمونه‌ها در مرحله ساقه رفتن از گلدان خارج و جهت اندازه‌گیری میزان ماده خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شدند. در این روش ابتدا وزن تر هر لاین در هر لیوان و در هر تکرار به دست آمد و بعد از ۴۸ ساعت وزن خشک برای هر لاین محاسبه گردید. در این آزمایش به منظور به حداقل رساندن اختلاف آب تبخیر شده از سطح واحدهای آزمایشی کشت شده و کشت نشده، سطح هر واحد آزمایشی توسط صدف‌های سفید رنگ پوشیده شد.

$$\text{عملکرد کوانتوم} = Fv/Fmax$$

که در آن Fmax ماکزیمم عملکرد فلورسنس و Fv تغییرات عملکرد فلورسنس را نشان می‌دهد (Genty et al., 1989).

$$(SR)$$

در این روش برای اندازه‌گیری مقاومت روزه‌ای از دستگاه پرومتر (Prometer) استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقاومت روزه‌ای به طور تصادفی پنج برگ پرچم از هر لاین و رقم در هر تکرار انتخاب و پس از قرار دادن برگ پرچم در بین سنسورهای حساس پرومتر، مقاومت روزه‌ای بر حسب ثانیه بر سانتیمتر ( $scm^{-1}$ ) اندازه‌گیری گردید. دستگاه در صورتی که بر حسب سانتیمتر بر ثانیه ( $cmS^{-1}$ ) کالیبره شود، هدایت روزه‌ای که عکس مقاومت روزه‌ای می‌باشد را اندازه‌گیری می‌نماید (Mohammadi et al., 2003).

$$(STI)$$

در شرایط مزرعه نیز به منظور بررسی میزان حساسیت لاین‌های افزایشی، شاخص تحمل به خشکی برای هر لاین با استفاده از فرمول فرناندز (Fernandez, 1992) و به صورت زیر محاسبه شد:

$$STI = (Ys)(Yp)/(\bar{Yp})^2$$

که در این فرمول  $Yp$  و  $Ys$  به ترتیب عملکرد لاین و رقم در شرایط بدون تنش، تنش و میانگین عملکرد تمام لاین‌ها و ارقام در شرایط بدون تنش می‌باشد.

$$(WUE)$$

در شرایط گلخانه سری کامل لاین‌های افزایشی دیزومیک چاودار در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. برای کشت در شرایط گلخانه از لیوان‌های دوجداره استفاده شد. بر روی هر لیوان برجسی که معرف نام هر لاین و شماره تکرار هر لاین بود نصب گردید. ترکیب خاک هر لیوان (واحد آزمایشی) مخلوطی از خاک، ماسه و

( GSI )

در این آزمایش لاین‌های افزایشی دیزومیک چاودار در قالب دو طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در دو محیط تنش و بدون تنش با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. در آزمایش تحت تنش از محلول پلی‌اتیلن گلیکول با پتانسیل اسمزی  $-0.8\text{Mpa}$  و در آزمایش بدون تنش از محلول آب مقطر استفاده گردید. برای هر پتری ده میلیلیتر محلول در نظر گرفته شد، به طوری که شش میلیلیتر آن در ابتدای آزمایش و چهار میلیلیتر باقیمانده در روز ششم به پتری دیش‌ها اضافه شد (Sapra et al., 1991). مقدار لازم برای تعیین پتانسیل  $-0.8\text{Mpa}$  با استفاده از روش میچل و کافمن به دست آمد (Michel and Kaufman, 1973). پتری‌دیش‌ها بعد از شماره‌گذاری تکرار و شماره لاین‌ها و ارقام برای هر دو آزمایش، در داخل اتاقک رشد در دمای  $20/15$  (شب / روز) و رطوبت  $75\%$  قرار داده شدند (Michel and Kaufman, 1973). بر این اساس تعداد بذور جوانه زده در طی ده روز یادداشت شد و مقدار شاخص سرعت جوانه‌زنی برای هر لاین در هر دو آزمایش طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$PI = nd2 (1.0) + nd4 (0.8) + nd6 (0.6) + nd8 (0.4) + nd10 (0.2)$$

در این فرمول  $nd2$ ،  $nd4$ ،  $nd6$ ،  $nd8$  و  $nd10$  به ترتیب در صد بذور جوانه‌زده در روزهای دوم، چهارم، ششم، هشتم و دهم را نشان می‌دهند. سپس مقدار شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) برای هر لاین و رقم بر اساس روش بوسلاما و شاپاوغ (Bousslama and Schapaugh, 1984) طبق رابطه زیر محاسبه شد. بر اساس این رابطه لاین‌هایی که مقادیر GSI بالاتری دارند، تحمل به خشکی بالاتری نیز خواهند داشت.

$$GSI=100(PI,Stress/PI,Non-Stress)$$

(

( Multiple Selection Index=MSI )

به منظور گزینش محل ژنی QTL‌های کنترل‌کننده

شاخص‌های فیزیولوژیکی بر اساس چندین شاخص از MSI استفاده شد. در این روش ابتدا مقادیر هر شاخص استاندارد شده و از جمع عددی شاخص‌های استاندارد شده  $WUE$ ،  $RWC$ ،  $RWL$ ،  $CHF$ ،  $SR$  و مقدار MSI برای هر لاین و رقم محاسبه شد. با توجه به این که مقادیر MSI برای بعضی از لاین‌ها منفی به دست آمد، برای حذف مقادیر منفی، تمامی مقادیر MSI برای هر لاین و رقم با ضریب ثابت  $C = 10$  جمع گردید (Mohammadi et al., 2002).

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای آماری SPSS، MSTAT-C و HWG استفاده شد. هم‌چنین میانگین صفات و شاخص‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه نشان داد که لاین‌های افزایشی از نظر صفات مورد مطالعه به جز کلروفیل فلورسنس با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند که این نشان دهنده تنوع موجود در بین لاین‌های افزایشی و واکنش متفاوت این لاین‌ها نسبت به شرایط تنش خشکی می‌باشد (جدول‌های ۱ و ۲). در جدول (۲) مقایسه میانگین صفات بر اساس آزمون دانکن آمده است. از نظر میزان آب نسبی برگ، لاین‌های افزایشی اختلاف معنی‌داری نشان دادند به طوری که لاین 6R دارای بیشترین و لاین‌های 1R و 4R دارای کمترین میزان آب نسبی برگ بودند. میزان آب نسبی برگ برای محل‌های کروموزومی 3R و 7R نیز بالا بود. مانت و همکاران (Manette et al., 1988) اختلاف معنی‌داری را برای ارقام گندم مورد مطالعه از لحاظ میزان آب نسبی برگ گزارش نمودند. از لحاظ میزان آب نسبی از دست رفته لاین 6R بیشترین و لاین 7R دارای کمترین میزان آب نسبی از دست رفته بود. میزان آب نسبی از دست رفته برای محل‌های کروموزومی 2R و 4R نیز بالا گزارش شد. لاین‌های 1R

نسبی از دست رفته وجود داشت، تجزیه ژنتیکی این صفت نشان داد که صفت مربوطه به وسیله عمل افزایشی ژن کنترل می گردد و نتیجه گرفته شد که انتخاب برای صفت مربوطه در نسل F2 انجام شود (Farshadfar et al., 2000). اختلاف بین لاین های افزایشی از نظر عملکرد کوانتوم (کلروفیل فلورسنس) معنی دار نشد اما لاین های 5R و 3R و والددهنده (Imperial) نسبت به بقیه لاین ها از میزان عملکرد کوانتوم بالاتری برخوردار بودند (جدول ۲). جنتی و همکاران (Genty et al., 1989) همبستگی مثبتی بین عملکرد کوانتوم و تحمل به خشکی گزارش و اعلام نمودند که ارقام با عملکرد کوانتوم بیشتر، تحمل به خشکی بیشتری نیز خواهند داشت. با افزایش رطوبت هوا، سرعت فتوسنتز افزایش می یابد و هم زمان، باعث کاهش سرعت تنفس می شود (Stoyanov and Frolov, 1969). از طرفی دیگر تجزیه اسپکتروفتومتری حاکی است که رطوبت نسبی زیاد (۸۵٪ تا ۹۰٪) باعث اضمحلال قابل ملاحظه کلروفیل در برگ های لویا شد (میلیگرم کلروفیل به ازاء هر گرم وزن برگ لویا) (ElGelami, and ElGammudi, 1977).

هیرای و همکاران (Hirai et al., 1984) نیز گزارش کردند که فتوسنتز برنج در رطوبت نسبی کم، بیشتر از حالتی بود که رطوبت نسبی زیاد بود. وزن ویژه برگ نیز در شرایط رطوبت نسبی کم بیشتر از حالتی بود که رطوبت نسبی زیاد بود و این کمیت با سرعت فتوسنتز همبستگی مثبتی نشان داد. بنابراین می توان نتیجه گرفت با توجه به این که در شرایط تنش میزان رطوبت نسبی کمتر می باشد، می توان برای عملکرد فتوسنتز بیشتر گزینش نمود. هم چنین میزان کلروفیل فلورسنس از وراثت پذیری پایینی برخوردار می باشد و این به علت اثرات محیطی است که بخش بزرگی از تنوع فنوتیپی این صفت را تشکیل می دهند. بنابراین چون تنوع ژنتیکی در میزان کلروفیل فلورسنس وجود داشت، تجزیه ژنتیکی این صفت نشان داد که صفت مربوطه به وسیله

3R و 5R به همراه رقم شاهد از میزان آب نسبی از دست رفته نسبتاً پایینی برخوردار بودند (جدول ۲). تنوع ژنتیکی در گندم برای صفت میزان آب نسبی از دست رفته توسط بایلز و همکاران (Bayles et al., 1937) و ددیو (Dedio, 1975) گزارش شده است. لاین 6R از میزان آب نسبی بالا و میزان آب نسبی از دست رفته بیشتری برخوردار بود (جدول ۲). بنابراین می توان نتیجه گرفت که لاین 6R هر چند که دارای میزان آب نسبی بالایی بود اما این لاین قادر به نگهداری میزان آب نسبی موجود در برابر تنش اعمال شده نبوده است. اما لاین 7R از میزان آب نسبی بالایی برخوردار بوده و میزان آب نسبی از دست رفته برای این لاین نسبت به سایر لاین ها، کمترین بود که این نشان دهنده اهمیت این لاین در حفظ پتانسیل آب موجود در شرایط تنش می باشد. ددیو (Dedio, 1975) میزان آب نسبی برگ (RWC) را به عنوان یک شاخص در گزینش برای تحمل به خشکی مفید ارزیابی نمود. اخیراً نیز اهمیت RWC به عنوان یک شاخص تحمل به خشکی به وسیله شانفلد (Schonfeld et al., 1988) پیشنهاد شده است. هم چنین از این شاخص فیزیولوژیکی در برنامه های بهنژادی جهت اندازه گیری تنظیم اسمزی استفاده شده است (Morgan, 1989; Singh, 1989). ارقام مقاوم به خشکی در گندم دارای توانایی بیشتری از نظر حفظ پتانسیل آب برگ خود هستند (Keim and Kronstad, 1979; Sojka et al., 1981) و از نظر تنظیم اسمزی نیز ظرفیت بیشتری دارند (Blum et al., 1983; Sojka et al., 1981). مانت و همکاران (Manette et al., 1988) برای میزان آب نسبی برگ وراثت پذیری بالایی گزارش نمودند. هم چنین این محققین گزارش نمودند که ژن مسئول کنترل کننده WC به صورت افزایشی عمل می نماید. میزان آب نسبی از دست رفته از وراثت پذیری پایینی برخوردار بود و این به علت اثرات محیطی است که بخش بزرگی از تنوع فنوتیپی این صفت را تشکیل می دهند. بنابراین چون تنوع ژنتیکی برای میزان آب

مصرف آب (0.167g/g) برای رقم شاهد تعیین گردید و میزان کارآیی استفاده از آب برای والد دهنده و محل‌های کروموزومی 7R و 1R بالا بود (جدول ۲). تنوع ژنتیکی در گونه‌های گیاهان زراعی از نظر کارآیی استفاده از آب گزارش شده است (Ehdaei and Waines, 1993; Briggs and Shantz, 1914). اما در برنامه‌های به‌نژادی به علت مشکلات ارزیابی این صفت در شرایط مزرعه از آن استفاده نشده است (Evans and Wardlaw, 1976 و Ehdaei et al., 1991).

سدیک و همکاران (Siddique et al., 1990) گزارش کردند که اصلاح کارآیی استفاده از آب در ارقام جدید گندم همراه با شاخص برداشت است. نظام‌الدین و مارشال (Nizamuddin and Marshall, 1989) بیان داشتند که کاهش عملکرد در پاسخ به کمبود آب در لاین‌های پابلند گندم کم، در نیمه پا کوتاه متوسط و در لاین‌های پاکوتاه زیاد است. محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 3R و 7R به همراه رقم شاهد از عملکرد بالایی در شرایط تنش برخوردار بودند و محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 2R، 4R و 6R از عملکرد پایینی در شرایط تنش برخوردار بودند (جدول ۲). میزان عملکرد بالایی در شرایط بدون تنش برای محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 1R، 3R، 5R و 7R به همراه رقم شاهد تعیین گردید (جدول ۲). شاخص تحمل به خشکی (STI) نیز برای محل‌های کروموزومی 7R و 3R به همراه رقم شاهد نسبت به سایر محل‌های کروموزومی بیشتر بود. فرناندز (Fernandez, 1992) نیز از این شاخص برای غربال نمودن لاین‌ها و ارقام مقاوم به خشکی استفاده نمود. هم‌چنین محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 2R، 4R و 6R از شاخص تحمل به خشکی پایینی برخوردار بودند (جدول ۲). شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) که همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص تحمل به خشکی در شرایط مزرعه نشان داد (جدول ۳) میزان آن برای محل‌های کروموزومی 7R و 3R بالا بود و میزان این شاخص برای محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 2R

عمل افزایشی ژن کنترل می‌گردد و نتیجه گرفته شد که انتخاب برای صفت مربوطه در نسل F2 انجام شود (Farshadfar et al., 2000). مقاومت روزنه‌ای که اهمیت زیادی در نگهداری میزان آب موجود در سلول‌های گیاهی دارد مقدار آن برای محل‌های کروموزومی 3R، 5R و 7R بالا گزارش شد (جدول ۲). میزان مقاومت روزنه‌ای والد دهنده و وارثه شاهد نیز بالا بود. در این تحقیق لاین 7R دارای بالاترین میزان مقاومت روزنه‌ای بود و با توجه به این که این لاین از لحاظ میزان آب نسبی از دست رفته دارای کمترین مقدار بود، بنابراین می‌توان به اهمیت مقاومت روزنه‌ای در حفظ و نگهداری آب سلولی پی برد. لذا به نظر می‌رسد که لاین 7R از طریق مقاومت روزنه‌ای نقش مهمی در کاهش میزان آب نسبی از دست رفته داشته است. لانج و همکاران (Lange et al., 1971) معتقدند که تغییر سریع در باز و بسته شدن روزنه‌ها در واکنش به تعرق حاصل از سلول‌های محافظ است و این حالت را به عنوان یک ویژگی مطلوب قلمداد کردند، زیرا باعث می‌شود قبل از این که پتانسیل آب سایر سلول‌های برگ کاهش یابد، تعرق کاهش یابد. با افزایش تقاضای تبخیر هوا، کنترل در گیاه از طریق کاهش اندازه روزنه‌ها اعمال می‌شود و بنابراین مقاومت افزایش می‌یابد (Raschke and Kuhl, 1969; Lange et al., 1971). بنابراین سلول‌های محافظ به عنوان دستگاه حساس به رطوبت عمل می‌کنند و اختلاف پتانسیل داخل و خارج برگ را اندازه‌گیری می‌کنند. نتیجه کاهش اندازه روزنه‌ها جهت حفظ پتانسیل بالای آب، افزایش مقاومت برگ نسبت به CO<sub>2</sub> است و لذا فتوسنتز کاهش می‌یابد. بدین ترتیب اثر عمده رطوبت نسبی کم در محدود کردن عملکرد گیاه می‌تواند از طریق اثر بر جذب CO<sub>2</sub> باشد و نه از طریق اثر آن در ایجاد تنش آب.

کارآیی استفاده از آب که همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش نشان داد (جدول ۳)، بیشترین کارآیی

(Morgan, 1989). مقاومت روزنه‌ای نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص تحمل به خشکی ( $r = 0.79^{**}$ )، شاخص تنش جوانه‌زنی ( $r = 0.69^*$ )، عملکرد دانه در شرایط تنش ( $r = 0.86^{**}$ ) و شاخص انتخاب چندگانه ( $r = 0.85^{**}$ ) نشان داد. شاخص تحمل به خشکی همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد در دو محیط تنش ( $r = 0.95^{**}$ ) و بدون تنش ( $r = 0.97^{**}$ ) نشان داد. بنابراین می‌توان بر اساس شاخص تحمل به خشکی عمل‌گزینش را برای افزایش عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش انجام داد. فرناندز (Fernandez, 1992) نیز ضرایب همبستگی بین عملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش با شاخص تحمل به خشکی را برای ماش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گزارش نمود. هم‌چنین شاخص STI با شاخص MSI همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد ( $r = 0.72^*$ ). بنابراین می‌توان بر اساس شاخص فیزیولوژیکی چندگانه (MSI) جهت‌گزینش در شرایط تنش عمل‌انتخاب را انجام داد. شاخص فیزیولوژیکی چندگانه با شاخص GSI آزمایشگاهی ( $r = 0.75^{**}$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. با توجه به کارآیی شاخص تحمل به خشکی (STI) و شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) در گزینش ارقام و لاین‌های مقاوم به خشکی، جهت تعیین نمودن بهترین شاخص‌های فیزیولوژیکی، از ضرایب همبستگی این شاخص‌ها با شاخص‌های STI و GSI استفاده شد. از میان شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد مطالعه، میزان آب نسبی از دست رفته، مقاومت روزنه‌ای و کارآیی استفاده از آب همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های مزرعه‌ای (STI) و آزمایشگاهی (GSI) نشان دادند. از این شاخص‌ها می‌توان جهت‌گزینش بر اساس هر شاخص استفاده نمود. بنابراین با توجه به همبستگی این شاخص (MSI) با شاخص‌های مزرعه‌ای (STI) و آزمایشگاهی (GSI) می‌توان به اهمیت کارآیی شاخص انتخاب چندگانه فیزیولوژیکی جهت‌گزینش ارقام و لاین‌ها در شرایط تنش پی برد.

4R و 6R پایین بود (جدول ۲). بر اساس نظر ساپرا و همکاران (Sapra et al., 1991) لاین‌هایی که از شاخص GSI بالایی برخوردار باشند برای‌گزینش در شرایط تنش مفید خواهند بود. هم‌چنین با توجه به مدل پیشنهادی بوسلاما و شاپوگ (Bousslama and Schapaugh, 1984) مبنی بر توانایی شاخص GSI در گزینش لاین‌های مقاوم به خشکی می‌توان نتیجه گرفت که لاین‌های 7R و 3R بیشترین تأثیر را در کنترل تحمل به خشکی بر اساس GSI دارند. میزان شاخص انتخاب چندگانه فیزیولوژیکی (MSI) نیز برای محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 7R، 3R و 5R بالا و برای محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 2R و 4R حداقل بود (جدول ۲ و شکل ۱). والد دهنده دارای بالاترین میزان MSI بود و رقم شاهد نیز از میزان MSI بالایی برخوردار بود.

میزان آب نسبی برگ (RWC) همبستگی مثبتی ( $r = 0.53$ ) با کارآیی استفاده از آب نشان داد (جدول ۳). هم‌چنین میزان آب نسبی برگ با شاخص انتخاب چندگانه (MSI) همبستگی معنی‌داری نشان داد ( $r = 0.74^{**}$ ). میزان آب نسبی از دست رفته همبستگی منفی و معنی‌داری با مقاومت روزنه‌ای نشان داد ( $r = -0.79^{**}$ ).

بنابراین انتخاب برای مقاومت روزنه‌ای بیشتر، باعث کاهش در میزان اتلاف آب خواهد شد. هم‌چنین میزان آب نسبی از دست رفته همبستگی منفی و معنی‌داری با شاخص تحمل به خشکی ( $r = -0.77^{**}$ )، شاخص تنش جوانه‌زنی ( $r = -0.70^*$ ) عملکرد دانه در شرایط تنش ( $r = -0.86^{**}$ ) و شاخص انتخاب چندگانه ( $r = -0.71^*$ ) نشان داد (جدول ۳). از این نتایج چنین استنباط می‌شود که استفاده از میزان آب نسبی از دست‌رفته به عنوان یک شاخص فیزیولوژیکی جهت‌گزینش ارقام و لاین‌های متحمل به خشکی مفید خواهد بود. استفاده از این شاخص توسط عده‌ای از محققین نیز گزارش شده است (Dedio, 1975 ; Schonfeld et al., 1988 ; Singh, 1989 ; )

آزمایشگاهی (GSI) نشان دادند. بنابراین می‌توان به اهمیت این سه شاخص (WUE, RWL و SR) در تعیین عملکرد دانه در شرایط تنش به منظور گزینش لاین‌ها و ارقام متحمل به خشکی پی برد. به منظور تعیین میزان کارایی هر کروموزوم در کنترل شاخص‌های فیزیولوژیکی، از جدول ۲ مجموع کل مقادیر MSI برای محل‌های ژنی روی کروموزوم چاودار ( $\Sigma MSI = 63.7$ ) محاسبه و سهم جایگاه ژنی روی هر کروموزوم بر حسب درصد در تعیین شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل به خشکی بر حسب MS محاسبه شد. بنابراین محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 3R، 5R و 7R بر اساس شاخص MSI به ترتیب 21.30%، 17.97% و 17.88% کارایی انتخاب داشتند و سه جایگاه ژنی روی کروموزوم مذکور جمعاً 57.15% در تبیین شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد مطالعه نقش داشتند. محل‌های ژنی روی کروموزوم‌های 2R و 4R نیز به ترتیب 3.80% و 6.28% کارایی انتخاب بر اساس MSI داشتند.

به منظور گزینش لاین‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش از نمودار سه‌بعدی (3-D) استفاده گردید که در آن عملکرد دانه در محیط تنش بر روی محور X ها، عملکرد در

با توجه به اهمیت عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) در گزینش ارقام متحمل به خشکی و با توجه به همبستگی بالای آن با شاخص‌های STI، GSI و MSI، به منظور تعیین معادله خط رگرسیون عملکرد دانه در شرایط تنش و تعیین بهترین شاخص‌های فیزیولوژیکی که بیشترین تأثیر را در برآزش معادله رگرسیون عملکرد دارند از رگرسیون گام به گام استفاده شد. در این روش Ys به عنوان متغیر تابع و شاخص‌های فیزیولوژیکی SR، WUE، RWL، RWC و CHF به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند. همان طوری که از معادله رگرسیون پیداست،  $Y_s = 13.13 - 991.92(RWL) + 5.52(SR) + 276.83(WUE)$  متغیرهای WUE، RWL و SR در تعیین معادله رگرسیون عملکرد بیشترین تأثیر را داشته‌اند. این سه متغیر در مجموع 69.66% از تغییرات مربوط به عملکرد در شرایط تنش بر اساس شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد مطالعه را توجیه می‌نمایند. نتایج حاصل از آزمون T برای سه متغیر مذکور نیز معنی‌دار به دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین آزمون F مربوط به معادله رگرسیون در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۵). علاوه بر این، شاخص‌هایی که در معادله رگرسیون عملکرد وارد شده‌اند همبستگی بالایی با شاخص مزرعه‌ای (STI) و شاخص

جدول ۱- میانگین مربعات برای شاخص‌های فیزیولوژیکی در لاین‌ها افزایشی و ارقام

Table 1. Mean squares for physiological indices in additional lines and varieties.

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی	آب نسبی برگ	آب نسبی از دست رفته	کارایی استفاده از آب +	مقاومت روزنه‌ای	کلروفیل فلورسنس
		df	Relative water content	Relative water loss	Water use efficiency+	Stomatal resistance	Chlorophyll fluorescence
Replication	تکرار	2	183.58*	0.000006ns	-	0.869ns	0.002ns
Genotype	ژنوتیپ	10	2151.83**	0.0003**	0.002**	7.92**	0.002ns
Error	اشتباه	20	45.79	0.00000071	0.000061	0.979	0.001
CV%	ضریب تغییرات	-	5.84	8.65	5.46	15.0	4.47

ns، \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

+ WUE در شرایط گلخانه و در قالب طرح کاملاً تصادفی (df = ۲۲) مطالعه شده است.

ns، \* and \*\*: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

+ WUE was studied in greenhouse condition using completely randomized design (df = 22).

**Table 2. Mean comparison of physiological indices and yield in additional lines and varieties**

Line/ Variety	Traits	آب نسبی برگ (درصد)	آب نسبی ازدست رفته (گرم بر گرم وزن خشک در ساعت)	کلروفیل فلورسنس (میکرو مول در متر مربع در ثانیه)	مقاومت روزنه‌ای (ثانیه بر سانتیمتر)	کارایی استفاده از آب (گرم ماده خشک بر مقدار آب مصرف شده)	عملکرد دانه در شرایط تنش (گرم در کرت)	عملکرد دانه در شرایط مطلوب (گرم در کرت)	شاخص تحمل به خشکی +	شاخص تنش جوانه‌زنی +	شاخص انتخاب چندگانه +
	Relative water content (%)	Relative water loss (g/g.hr)	Chlorophyll fluorescence ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )	Stomatal resistance (s/cm)	Water use efficiency (g/g)	Grain yield under stress (g/plot)	Grain yield in optimum condition (g/plot)	Stress tolerance index+	Germination stress index+	Multiple selection index+	
1R	87.5d	0.026ab	0.811a	7.16ab	0.136d	56.70bcd	87.40abc	0.75	60.29	10.76	
2R	100.1cd	0.045a	0.778a	4.02c	0.096g	17.55ef	49.56c	0.12	36.66	2.44	
3R	126.2b	0.028ab	0.826a	7.89ab	0.110f	73.92abc	89.65ab	0.99	61.80	11.45	
4R	69.5e	0.045a	0.778a	4.51c	0.101g	11.07f	62.61bc	0.09	34.66	4.00	
5R	113.4bc	0.031ab	0.830a	8.43a	0.111f	62.79abc	84.49abc	0.79	60.01	11.39	
6R	175.8a	0.048a	0.822a	5.70bc	0.131e	34.93def	77.60abc	0.43	50.79	10.09	
7R	121.5b	0.013b	0.797a	8.85a	0.142d	80.97ab	101.9ab	1.22	65.71	13.57	
R/Imperial(Donor)	126.3b	0.03ab	0.862a	7.76ab	0.158b	60.73abc	78.18abc	0.71	62.29	14.71	
R/Lovaspatonia	126.6b	0.035a	0.818a	5.45bc	0.147c	44.34cdf	75.34bc	0.49	52.27	10.53	
CS(Recipient)	115.4bc	0.028ab	0.800a	5.55bc	0.131e	56.70bcd	77.77abc	0.49	62.20	9.58	
Sardari (check)	110.7bc	0.027ab	0.785a	7.20ab	0.167a	88.22a	121.1a	1.58	88.19	11.51	

+ no analysis of variance was done on these indices.

%

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 1% probability level.

+

جدول ۳ ماتریس ضرایب همبستگی شاخص‌های فیزیولوژیکی و صفات

Table 3. Matrix of correlation coefficients of physiological indices and traits

Traits	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
Chlorophyll fluorescence(X1)	1.00								
Relative water content(X2)	0.53 <sup>ns</sup>								
Relative water loss(X3)	-0.11 <sup>ns</sup>	-0.21 <sup>ns</sup>							
Stomatal resistance(X4)	0.47 <sup>ns</sup>	0.47 <sup>ns</sup>	-0.79**						
Stress tolerance index(X5)	0.07 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>ns</sup>	-0.77**	0.79**					
Germination stress index(X6)	0.15 <sup>ns</sup>	0.45 <sup>ns</sup>	-0.71*	0.69*	0.93**				
Grain yield in optimum condition(X7)	0.07 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	-0.71*	0.73*	0.97**	0.94**			
Grain yield in Stress condition(X8)	0.25 <sup>ns</sup>	0.86**	-0.86**	0.86**	0.95**	0.94**	0.91**		
Water use efficiency(X9)	0.27 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>ns</sup>	-0.49 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	0.63*	0.75**	0.68*	0.62*	
Multiple selection index(X10)	0.65*	0.74**	-0.70*	0.85**	0.72*	0.75**	0.71*	0.83**	0.73*

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, \* and \*\*: Non significant, significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۴- نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون به روش گام به گام برای عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys)

Table 4. Results of regression analysis based on stepwise method for grain yield

under stress condition					
S.O.V	منابع تغییرات	ضرایب رگرسیون ناقص (bi)	اشتباه استاندارد b (SE b)	T	Sig.T
Relative water loss	آب نسبی از دست رفته	-991.92	333.44	-2.97**	
Stomatal resistance	مقاومت روزنه‌ای	5.52	1.82	3.04**	0.005
Water use efficiency	کارایی استفاده از آب	276.83	120.64	2.29*	0.029

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

\* and \*\*: Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

Multiple r = 0.85

R<sup>2</sup> = 0.73

R<sup>2</sup>adj = 0.70

Ys = 13.13-991.92(RWL) + 5.52 (SR) + 276.83 (WUE)

جدول ۵- نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون عملکرد دانه در شرایط تنش

Table 5. Results analysis of variance of regression for grain yield under stress condition

S.O.V.	منابع تغییرات	df	SS	MS	F	Sig.F
Regression	رگرسیون	3	15175.24	5058.42	25.49**	0.000
Residual	باقیمانده	29	5755.52	198.47		
Total	کل	32	20930.77	-		

\*\* : Significant at the 1% Level of probability.

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

جدا نمودن لاین‌های گروه A از گروه‌های دیگر (D و C, B) و هم‌چنین تشخیص سودمندی شاخص مورد نظر به عنوان معیاری برای انتخاب لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی سطح

محیط بدون تنش بر روی محور Y ها و شاخص فیزیولوژیکی چندگانه (MSI) بر روی محور Z ها نمایش داده شد (شکل ۲). برای نشان دادن روابط بین این سه متغیر و

X-Y به وسیله کشیدن خطوط متقاطع به چهار گروه A، B، C و D تقسیم گردید. فرناندز (Fernandez, 1992) این چهار گروه را به صورت زیر تعریف نموده است.

گروه A - ژنوتیپ‌هایی که تظاهر یکسانی را در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارا هستند.

گروه B - ژنوتیپ‌هایی که تظاهر خوبی فقط در محیط بدون تنش دارا هستند.

گروه C - ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی در محیط تنش دارا هستند.

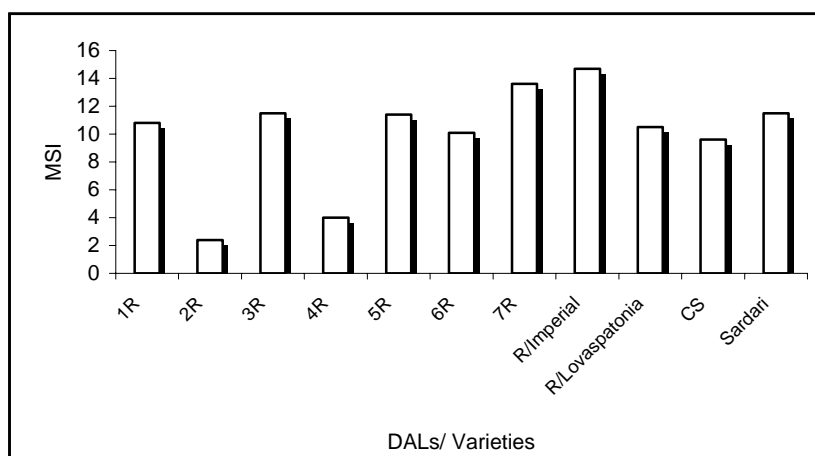
گروه D - ژنوتیپ‌هایی که تظاهر ضعیفی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارا هستند.

فرناندز (Fernandez, 1992) بیان می‌دارد که مناسب‌ترین معیار انتخاب برای تحمل به تنش معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌های دیگر باشد. آرنون (Arnon, 1961) نیز ارقامی را که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد مناسبی تولید نمایند را به عنوان ارقام متحمل معرفی می‌نماید. در بررسی نمودار سه‌بعدی  $Y_p$ ،  $Y_s$  و  $MSI$  مشاهده شد که لاین‌های افزایشی 7R، 3R و 1R به همراه شاهد در گروه A قرار گرفته‌اند و این لاین‌ها دارای  $MSI$  متوسط تا بالایی نیز می‌باشند که این خود نشان‌دهنده سودمندی این شاخص در جدا نمودن گروه A از گروه‌های دیگر می‌باشد (شکل ۲).

با توجه به اهمیت تجزیه به مؤلفه‌های اصلی [Principle Components Analysis (PCA)] و استفاده از روش بای‌پلات برای گزینش لاین‌های مقاوم به خشکی (Fernandez, 1992)، بر اساس شاخص‌ها و صفات موجود در جدول ۲ تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت، که مؤلفه اول و دوم ( $PCA_1$ ،  $PCA_2$ ) در مجموع ۸۲/۵٪ از تغییرات موجود در ماتریس داده‌ها را توجیه نمودند. بر اساس دو مؤلفه اول (۶۵/۸٪) و دوم (۱۳/۶٪) بای‌پلات حاصل به چهار ناحیه تقسیم شد (شکل ۳).

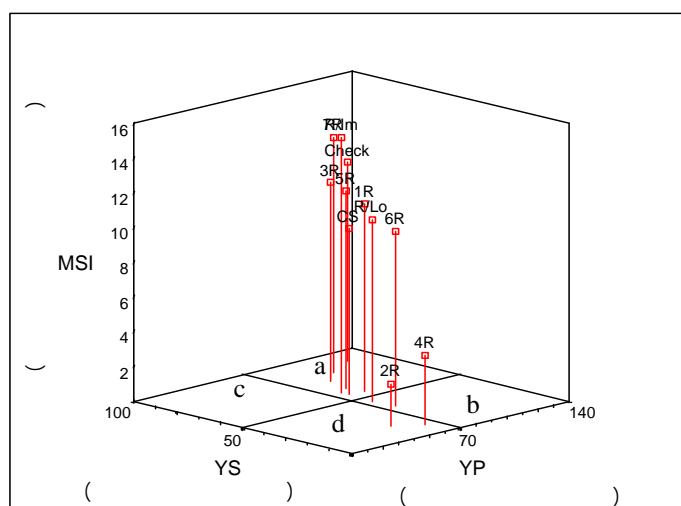
سپس بر اساس ضرایب همبستگی مؤلفه‌های اول و دوم با شاخص‌ها و صفات مورد مطالعه جهت گزینش بهتر لاین‌ها و ارقام، مؤلفه‌ها نامگذاری شدند. مؤلفه اول همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص تحمل به خشکی ( $r = 0.93^{**}$ ) و عملکرد دانه در شرایط تنش ( $r = 0.97^{**}$ ) داشت و این مؤلفه همبستگی منفی و معنی‌داری با میزان آب نسبی از دست رفته ( $r = -0.82^{**}$ ) داشت. مؤلفه دوم دارای همبستگی منفی غیرمعنی‌داری با شاخص تحمل به خشکی ( $r = -0.27$ ) و عملکرد دانه در شرایط تنش ( $r = -0.13$ ) و همبستگی مثبت معنی‌دار با میزان آب نسبی برگ ( $r = 0.75^{**}$ ) و عملکرد کوانتوم ( $r = 0.82^{**}$ ) و همبستگی مثبت غیر معنی‌دار با میزان آب نسبی از دست رفته ( $r = 0.30$ ) بود. بنابراین می‌توان مؤلفه اول را به عنوان مؤلفه‌ای که قادر به گزینش لاین‌ها و ارقام با عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش و شاخص تحمل به خشکی بیشتر باشد، نامگذاری کرد و مؤلفه دوم به عنوان مؤلفه‌ای که قادر به گزینش لاین‌های با میزان آب نسبی و عملکرد کوانتوم بالا و در عین حال میزان عملکرد نسبتاً بالا در شرایط تنش باشد، نامگذاری کرد. بنابراین برای گزینش در شرایط تنش، مقادیر بیشتر و مثبت مؤلفه اول و مقادیر منفی مؤلفه دوم (ناحیه A) مطلوب خواهد بود. هم‌چنین ناحیه B نیز که دارای مقادیر مثبت و بیشتر مؤلفه اول و مقادیر متوسط و مثبت مؤلفه دوم باشد مطلوب خواهد بود. بنابراین ناحیه A به عنوان بهترین ناحیه جهت گزینش در شرایط تنش مفید خواهد بود، هم‌چنین ناحیه B نیز یک ناحیه نسبتاً مطلوب به حساب می‌آید و لاین‌هایی که دارای مقادیر متوسطی از مؤلفه دوم و مقادیر بیشتر مؤلفه اول باشند، جهت گزینش در شرایط تنش مناسب می‌باشند. در ناحیه A لاین 7R به عنوان بهترین لاین و در ناحیه B لاین 3R به عنوان یک لاین نسبتاً خوب برای شرایط تنش بر اساس بای‌پلات گزینش می‌شوند.

بنابراین با در نظر گرفتن شاخص‌های فیزیولوژیکی و



نمودار ۱- مقایسه لاین‌های افزایشی و ارقام مورد مطالعه بر اساس شاخص انتخاب چندگانه (MSI)

Fig. 1. Comparison of additional lines and varieties based on MSI



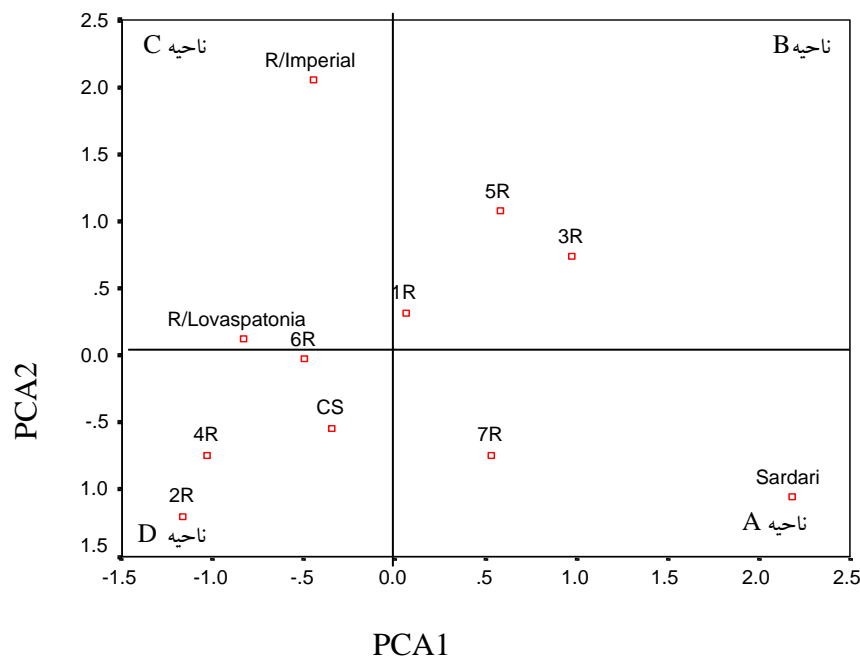
نمودار ۲- گزینش لاین‌های افزایشی بر اساس مدل فرناندز

Fig. 2. Selection of additional lines based on Fernandez model

جدول ۶- ماتریس ضرایب همبستگی شاخص‌ها با مؤلفه‌های اول و دوم در روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

Table 6. Matrix of correlation coefficients of indices with components 1 and 2 based on principle components analysis

شاخص‌ها و صفات مؤلفه‌ها	Ys	STI	GSI	Yp	MSI	SR	RWL	WUE	CHF	RWC
PCA1 مؤلفه اول	0.97**	0.93**	0.93**	0.91**	0.91**	0.87**	-0.82ns	0.74**	0.40ns	0.30ns
PCA2 مؤلفه دوم	-0.13ns	-0.27ns	-0.17ns	-0.27ns	0.36ns	0.07ns	0.30ns	0.11ns	0.81**	0.75**



نمودار ۳- گزینش لاین‌های افزایشی و ارقام برای تحمل به خشکی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و به روش بای پلات

Fig. 3. Selection of additional lines and varieties for drought tolerance based on principle components analysis and biplot method

احتمالاً بیشترین QTL های کنترل کننده شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل به خشکی بر روی کروموزوم‌های 3R و 7R در چاودار قرار دارند.

شاخص تحمل به خشکی در شرایط مزرعه و گلخانه و شاخص تنش جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه و با توجه به اهمیت شاخص MSI در توجیه سایر شاخص‌های فیزیولوژیکی پیشنهاد می‌گردد که

## References

- محمدی، ر. ۱۳۷۹. تعیین محل کروموزومی ژن‌های کنترل کننده تحمل به خشکی در چاودار و آگروپایرون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه رازی.
- Acevedo, E. and E. Ferere. 1993. Resistance to abiotic stresses. In: M.D. Hayward, N.O. Bosemark and I.A. Romagosa (eds). Plant Breeding: Principles and Prospects. Chapman and all. London. pp. 406-421.
- Al-Dakheel, R.J. 1991. Osmotic adjustment: A selection criterion for drought tolerance. In: E. Acevedo, A.P. Conesa, P. Monneveux and J.P.A. Srivastava, (eds), Physiology-Breeding Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. Montpellier. France. pp. 337-368.
- Alidibe, T., P. Monneveux and J. Araus. 1990. Breeding Durum Wheat for Drought Tolerance: Analytical, synthetical approaches and their connection. Proceeding of International Symposium, June 4<sup>th</sup>-8<sup>th</sup>, Albena, Bulgaria, Agricultural Academy, pp. 224-240.
- Arnon, I. 1961. Some aspects of research of field crops in Israel. Div. of publ., Nat. and Univ. Inst. of Agric.,

- Rohovot, Israel. Abstract of publ. 372-E.
- Bayles, B.B., J.W. Taylor and A.T. Bartel. 1937. Rate of water loss in wheat varieties and resistance to artificial drought. *J. Am. Soc. Agron.* **29**: 50-52.
- Bidinger, F.R. and J.R. Wttcombe. 1989. Evaluation of specific avoidance traits as selection criteria for improvement of drought resistance. In: F.W.G. Baker (ed), *Drought Resistance in Cereals*, C.A.B. International, pp. 151-164.
- Blum, A. 1988. *Plant Breeding for Stress Environments*, pp: 43-69. CRC. Florida.
- Blum, A. 1992. Breeding methods for drought resistance. In: G. Hamlyn, T.J. Flower and B. Jones (eds), *Plant Under Stress*. Cambridge University Press. pp. 197-215.
- Blum, A., J. Mayer and G. Gozlan. 1983. Association between plant production and some physiological components of drought resistance in wheat. *Plant, Cell and Environ.* **6**: 219.
- Bousslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybeans. Evaluation of three screening technique for heat and drought tolerance. *Crop Sci.* **24**: 933-937.
- Briggs, L.J., and H.L. Shantz. 1914. Relative water requirement of plants. *J. Agric. Res.* **3**: 1-64.
- Clarke, J.M. 1987. Use of physiological and morphological traits in breeding programmes to improve drought resistance of cereals. In: J.P. Srivastava, E. Acevedo and S. Varma (eds), *Drought Tolerance in Winter Cereals*. Proc. of an Int. Workshop, 27-31 October 1985 Capri, Italy, ICARDA. John Wiley and Sons. pp. 171-189.
- Dedio, W. 1975. Water relations in wheat leaves as screening tests for drought resistance. *Can. J. Plant Sci.* **55**: 369-378.
- Ehdaei, B. and J.G. Waines. 1993. Water requirement and transpiration efficiency of primitive wheats: A model for their use. In: A.B. Damania. *Biodiversity and wheat improvement*. ICARDA. pp: 187-197.
- Ehdaei, B., A.E. Hall, G.D. Farquhar, H.T. Nguyen, and J.G. WAINES. 1991. Water use efficiency and carbon isotope discrimination in wheat. *Crop Sci.* **31**: 1282-1288.
- Elgelami, M., and M. Elgammudi. 1977. The degradation effect of high humidity on the chlorophylls in *Phaseolus vulgaris* plants. *Plant Physiol.* **59** (6,suppl.), 303.
- Evans, L.T., and I.F. Wardlaw. 1976. Aspects of comparative physiology of grain yield in cereals. *Adv. Agron.* **28**: 301-359
- Farshadfar, E., M. Farshadfar and J. Sutka. 2000. Combining ability analysis of drought tolerance in wheat over different water regimes. *Acta. Agronomica Hungarica*, **48**(4), pp. 353-361.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In proceeding of a Symposium, Taiwan, 13-18 Aug. Chapter 25. pp: 257-270.
- Gale, M.D. and T.E. Miller, 1987. The introduction of alien genetic variation in wheat. In: F.G.H. Lupton (ed.). *Wheat Breeding: Its Scientific Basis.*, pp. 173-210. Chapman and Hall, London.

- Genty, B.E, T. Brain, and N.R. Baker. 1989. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochemi Biophys. Acta.* 990: 87-92
- Haley, S.D, J.S. Quick and J.A. Morgan. 1993. Excised-leaf water status evaluation and associations in field-grown winter wheat. *Can. J. Plant Sci.* 73: 55-63.
- Hirai, G., M. Takahashni, O. Tanaka, N. Shimanmura and N. Nakayama. 1984. Studies on the effects of relative humidity of the atmosphere on growth and physiology of rice plants. III. The influence of atmospheric humidity on the rate of photosynthesis. *Jap. J. Crop Sci.* 53: 261-267.
- Jiang, J., B. Friebe, and B.S. Gill, 1994. Recent advances in alien gene transfer in wheat. *Euphytica* 73: 199-212.
- Kaloo, G. 1992. Utilization of wild species. In: G. Kaloo and J.B. Chowdhury (eds), *Distant Hybridization of Crop Plants*. Springer Verlag. pp. 149-167.
- Keim, D.L., and W.E. Kronstad. 1979. Drought resistance and dryland adaptation in winter wheat. *Crop Sci.* 19: 574-576.
- Khush, G.S. and D.S. Brar. 1992. Overcoming the barriers in hybridization. In: G.Kaloo and J.B. Chowdhury (eds). *Distant Hybridization of Crop Plants*, Springer Verlag. pp. 47-61.
- Knott, D.R., 1987. Transferring alien genes to wheat. In: E.G. Heyne (ed.) *Wheat and Wheat Improvement* (second edition). pp. 462-471.
- Lange, O.L., R. Losch, E.D. Schulze and L. Kappen. 1971. Responses of stomata to changes in humidity. *Planta* 100: 76-86.
- Loss, S.P., and K.H.M. Siddique. 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Adv. In Agronomy*, 52: 229-276.
- Maan, S.S. 1987. Interspecific and intergenetic hybridization in wheat. In: E.G. Hyene (ed.), *Wheat and Wheat Improvement*. American Society of Agronomy. Inc. pp. 453-461.
- Mahmood, A. and S.A. Quarrie. 1993. Effects of salinity on growth, ionic relations and physiological traits of wheat, disomic addition lines from *Thinopyrum bessarabicum*, and two amphiploids. *Plant Breeding* 110: 265-276.
- Manette, A.S., C.J. Richard, B. Carre and W. Morhinweg. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop. Sci.*, 28: 526-531.
- Michel, B.E. and M.R. Kaufman. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 51: 914-916.
- Mohammadi, R., E. Farshadfar and M. Achae-Sarbarzeh. 2002. Localization of QTLs controlling drought tolerance criteria in rye (*Secale cereale*) using multiple selection index. 21-25 November, 2002, EUCARPIA Cereal Section Meeting. Salsomaggiore, Italy.
- Mohammadi, R., E. Farshadfar and J. sutka. 2003. Genetic control of drought tolerance in wide relatives of wheat. 10-13 June 2003. The 1<sup>st</sup> Central Asian Wheat Conference, Almaty, Kazakhstan.

- Morgan, J.M. 1989. Physiological traits for drought resistance. In: F.W.G. Baker (ed), Drought Resistance in Cereals. C.A.B. International. pp. 53-64.
- Nizam Uddin, M., and D.R. Marshall. 1989. Effects of dwarfing genes on yield and yield components under irrigated and rainfed conditions in wheat. *Euphytica*. **42**: 127-134.
- Raschke, K., and U. Kuhl. 1969. Stomatal responses to changes in atmospheric humidity and water supply. Experiments with leaf sections of *Zea mays* in Co<sub>2</sub>-free air. *Planta*, **87**: 36-48.
- Sapra. V.T., E. Sarage, A.O. Anaele, and C.A. Beyl. 1991. Varieties differences of wheat and triticale to water stress. *J. Agron. Crop Sci.*, **167**: 23-28.
- Schonfeld, M.A., R.C. Johnson, B.F. Carver and D.W. Mornhinweg. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci.* **28**: 526-531.
- Sharma, H.C., and B.S. Gill. 1983. Current status of wide hybridization in wheat. *Euphytica* **32**: 17-31.
- Siddique, K.H.M., D. Tennant, M.W. Perry and R.K. Belford. 1990. Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agric. Res.* **41**: 431-437.
- Singh, D.P. 1989. Evaluation of specific dehydration tolerance traits for improvement of drought resistance. In: F.W.G. Baker (ed) Drought Resistance in Cereals, C.A.B. International. 165-175.
- Smith, M.E., W.R. Coffman and T.C. Baker. 1990. Environmental effects on selection under high and low input conditions. In: M.S. Kang (ed.), *Genotype-by-Environmental Interaction and Plant Breeding*, pp. 261-272. Louisiana State University, Baton Rouge.
- Sojka, R.E., I.L. Stolzy and R.A. Fischer. 1981. Seasonal drought response of selected wheat cultivars. *Agron. J.* **73**: 838.
- Stoyanov, Z., and R.I. Frolov. 1969. Photosynthesis and entropy with various air humidity conditions. *Soviet Plant Physiol.* **16**: 330-333.
- Wang, H. and J.M. Clarke. 1993. Relationship between excised-leaf water loss and stomatal frequency in wheat. *Can. J. Plant Sci.* **73**: 93-99.
- Yang, R.C., S. Jana and J.M. Clarke. 1991. Phenotypic diversity and associations of some potentially drought-responsive characters in durum wheat. *Crop Sci.* **31**: 1484-1491.

## Determination of chromosomes controlling physiological traits associated to drought tolerance in rye

R. Mohammadi<sup>1</sup>, and E. Farshadfar<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Drought stress as the most important abiotic stress plays an important role in yield reduction of crop plant worldwide. Considering physiological indices to improve drought resistance, is of major importance. In order to evaluate Chromosomal Locations of physiological indices for drought tolerance in wild species of rye a complete series of disomic addition lines of rye, donor parents (*Secale cereale* L.cv. Imperial) and recipient (*Triticum aestivum* L.cv. Chinese Spring) were studied under field, greenhouse and laboratory conditions in College of Agriculture at Razi University in 1998. Disomic addition lines showed significant differences for relative water content (RWC), relative water loss (RWL), water use efficiency (WUE), and stomatal resistance (SR), implying genetic variation and possibility of selection for improving drought tolerance in disomic addition lines. Physiological indices of stomatal resistance, relative water loss and water use efficiency played an important role in determination of regression equation of grain yield under stress condition. Based on the physiological multiple selection index (MSI), it is interpreted that quantitative traits loci (QTLs) controlling physiological characteristics for drought tolerance in rye are most likely located on chromosomes 3R and 7R. Assessment of disomic addition lines based on stress tolerance index (STI) and germination stress index (GSI) also indicated that QTLs controlling drought tolerance in rye are associated to chromosomes 3R and 7R.

**Key words:** Disomic addition lines, QTLs, Physiological indices, Germination stress index, Stress tolerance index.

---

1- MSc. In Ag., Dryland Research Institute, Sararood, Kermanshah, Iran.

2- Assoc. Prof., Razi Univ., Kermanshah, Iran.