Cereal Biotechnology and Biochemistry

Online ISSN: 2783-5170

Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

# Association analysis of agro-physiological traits with SCoT markers in durum wheat (*Triticum durum* Desf.)

**Reza Mohammadi[1]✉, Kianoosh Cheghamirza[2], Diba Akbari[2], Homaioon Amiri[2], Mahdi Geravandi[1] & Saeed Abasi[3]**

[1]✉ Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran. E-mail: r.mohammadi@areeo.ac.ir

[2] Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

[3] Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

## ABSTRACT

**Introduction:** Knowledge of genetic diversity in crop species can play an important role in exploiting genetic diversity and lead to the development and expansion of crop cultivation in drought-prone environments. In this regard, identifying and utilizing informative markers related to agro-physiological traits will be necessary for application in breeding programs and marker-assisted selection.

**Materials and methods:** This study was performed to investigate the relationship between SCoT markers and agro-physiological traits in the durum wheat breeding germplasm. For this purpose, 220 durum wheat genotypes were evaluated for agronomic, phenological, and physiological traits. They were received from the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) during two consecutive cropping seasons (2017-18 and 2018-19). The germplasm was also genotyped using five SCoT markers. In order to identify the informative markers related to each trait, the regression analysis method was used.

**Results:** According to the results, considerable variation for agro-physiological traits was observed in the studied germplasm. The majority of ICARDA germplasms that most favored by grain yield, 1000-kernel weight (TKW), normal difference vegetative index (NDVI), plant height (PH), and peduncle length (PL) well separated from the majority of CIMMYT germplasm that most favored late in the heading (DH) and maturity (DM) and higher canopy temperature (CT). These findings indicate that the breeding lines originally developed from ICARDA might possess traits of tolerance to drought conditions absent in those developed in CIMMYT. 13 SCoT loci were associated with at least three traits based on trait-marker association analysis. These markers would enhance the efficiency of parental selection in the durum wheat breeding programs. Six informative SCoT loci (SCoT16-845, SCoT16-965, SCoT33-780, SCoT24-1400, SCoT16-845, and SCoT25-680) were identified as repeatable markers that can be considered as candidate markers for assessment of other wheat germplasm collections and scanning the genome for the related traits.

**Conclusion:** This study based on phenotypic data and SCoT markers revealed a high level of diversity in durum wheat breeding germplasm that may be useful in breeding programs. This information is valuable for germplasm grouping and determination of different phenotypic and genotypic groups, developing high-yielding genotypes, and using cross-breeding programs.

**Keywords:** Durum wheat, Germplasm, Informative markers, Phenotypic variation, Rainfed condition.

**Article Type:** Research Article

**Article history: Received:** 14/08/2021, **Revised:** 26/12/2021, **Accepted:** 15/01/2022, **Published online:** 26/03/2022

**Cite this article:** Mohammadi, R., Cheghamirza, K., Akbari, D., Amiri, H., Geravandi, M. & Abasi, S. (2022). Association analysis of agro-physiological traits with SCoT markers in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Cereal Biotechnology and Biochemistry. 1 (1). 1-17. DOI: 10.22126/cbb.2022.1949

© The Author(s).

**Publisher:** Razi University

10.22126/cbb.2022.1949

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات
شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

# تجزیه ارتباط صفات آگرو-فیزیولوژیک با نشانگرهای SCoT در گندم دوروم (*Triticum durum* Desf.)

رضا محمدی[1]✉، کیانوش چقامیرزا[2]، دیبا اکبری[2]، همایون امیری[2]، مهدی گراوندی[1] و سعید عباسی[3]

[1]✉ موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: r.mohammadi@areeo.ac.ir

[2] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

[3] گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

## چکیده

**مقدمه:** آگاهی از تنوع ژنتیکی در گونه‌های زراعی می‌تواند نقش مهمی در بهر برداری از منابع ژنتیکی داشته و باعث توسعه و گسترش کشت ارقام زراعی در مناطق تحت تنش خشکی گردد. شناسایی و استفاده از نشانگرهای آگاهی بخش مرتبط با صفات آگرو-فیزیولوژیک جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی و انتخاب به کمک نشانگر، در این زمینه از اهمیت زیادی برخوردار می باشد.

**مواد و روش‌ها:** این تحقیق، به‌منظور بررسی ارتباط نشانگرهای SCoT با صفات آگرو-فیزیولوژیک در ژرم‌پلاسم اصلاح شده گندم دوروم انجام شد. بدین منظور ۲۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم دریافتی از مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی برای مناطق خشک (ایکاردا) و مرکز بین المللی اصلاح ذرت و گندم (سیمیت) طی دو سال زراعی متوالی (۱۳۹۶-۹۷ و ۹۸-۱۳۹۷) از لحاظ صفات زراعی، فنولوژی و فیزیولوژیکی ارزیابی شدند. همچنین ژرم پلاسم مورد بررسی با استفاده از پنج آغازگر SCoT تعیین ژنوتیپ شد. به منظور شناسایی نشانگرهای آگاهی بخش مرتبط با هر صفت از روش تجزیه رگرسیونی استفاده گردید.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج حاصل، تنوع قابل توجهی از لحاظ صفات آگرو-فیزیولوژیک و نشانگرهای SCoT در ژرم‌پلاسم مورد بررسی، مشاهده گردید. بیشتر ژنوتیپ‌های با منشاء مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی برای مناطق خشک (ایکاردا)، دارای خصوصیات عملکرد بالا و مقادیر بالای وزن هزار دانه، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی، ارتفاع بوته و طول پدانکل، نسبت به اغلب ژنوتیپ‌های با منشاء مرکز بین المللی اصلاح ذرت و گندم (سیمیت) با خصوصیات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و دمای کانوپی بیشتر، قابل تفکیک بودند. نتایج حاصل بیانگر این موضوع است که لاین‌های با منشاء ایکاردا، احتمالاً واجد صفات و ویژگی‌های تحمل خشکی هستند که ممکن است لاین‌های با منشاء سیمت فاقد آن باشند. بر اساس نتایج تجزیه ارتباط، ۱۳ جایگاه ژنی، هر یک حداقل با سه صفت مرتبط بودند که این می‌تواند بیانگر اهمیت این نشانگرها در بهبود کارایی انتخاب والدین در برنامه اصلاحی گندم دوروم باشد. شش جایگاه آگاهی بخش (SCoT25-680، SCoT24-1400، SCoT16-845، SCoT33-780، SCoT16-965 و SCoT16-845) به‌عنوان نشانگرهای تکرارپذیر شناسایی شدند که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان نشانگرهای نامزد، به‌منظور اسکن ژنوم برای برخی از صفات مرتبط مورد توجه قرار داد.

**نتیجه‌گیری:** براساس نتایج حاصل، تنوع قابل توجهی بر اساس داده‌های فنوتیپی و مارکر SCoT در ژرم‌پلاسم مورد بررسی گندم دوروم مشاهده گردید که می‌تواند در برنامه اصلاحی گندم دوروم مورد توجه قرار گیرد. این اطلاعات برای گروه‌بندی ژرم‌پلاسم و تعیین گروه‌های مختلف فنوتیپی و ژنوتیپی، توسعه ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و استفاده در برنامه‌های دورگ‌گیری ارزشمند می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تنوع فنوتیپی، ژرم پلاسم، شرایط دیم، گندم دوروم، نشانگرهای آگاهی بخش

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**نوع مقاله: دریافت:** ۱۴۰۰/۰۵/۲۳ **اصلاح:** ۱۴۰۰/۱۰/۰۵ **پذیرش:** ۱۴۰۰/۱۰/۲۵، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۱/۰۱/۰۶

**استناد:** محمدی، ر.، چقامیرزا، ک.، اکبری، د.، امیری، ه.، گراوندی، م. و عباسی، س. (۱۴۰۱). تجزیه ارتباط صفات آگرو-فیزیولوژیک با نشانگرهای SCoT در گندم دوروم (*Triticum durum* Desf.). بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات. ۱ (۱). ۱-۱۷. DOI: 10.22126/cbb.2022.1949

ناشر: دانشگاه رازی
© نویسندگان.
CC BY NC

**مقدمه**

گندم (*Triticum spp.*) یکی از محصولات راهبردی بوده و نقش مهمی در تغذیه انسان دارد و همواره از آن به‌عنوان یک سلاح مهم در مبارزه با گرسنگی استفاده شده است. حدود ۹۰٪ گندم تولیدی دنیا، گندم نان و ۱۰٪ به گندم دوروم اختصاص دارد. سطح زیر کشت گندم دوروم (*Tritcum turgidum* L. var durum) در دنیا برابر ۲۰ میلیون هکتار می‌باشد و اخیراً تولید آن به حدود ۳۹ میلیون تن رسیده است (FAO, 2018). سطح زیر کشت گندم دوروم در ایران حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ هزار هکتار می‌باشد که بیشتر در مناطق گرمسیری و معتدل کشور شامل استان‌های گلستان، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، فارس، ایلام، اردبیل، کرمانشاه و برخی مناطق دیگر به صورت پراکنده واقع شده است (Mohammadi *et al.*, 2016). با توجه به وسعت مناطق کشاورزی دیم در کشور، گندم دوروم با متحمل بودن به تنش‌های رطوبتی متعدد فصلی و سازگاری زیاد، می‌تواند گزینه مناسبی برای کشت دیم باشد. تولید ارقام جدید با خواص ژنتیکی متفاوت از سایر ارقام نیاز به وجود تنوع ژنتیکی دارد تا به‌نژادگر بتواند از این تنوع استفاده نماید. ایجاد تنوع ژنتیکی در راستای افزایش پایه ژنتیکی برای بهبود عملکرد و سایر صفات مهم زراعی و نیز افزایش مقاومت به تنش‌های مهم محیطی، از مهمترین مراحل پیشبرد و اصلاح پویا در برنامه‌های به‌نژادی هر گونه زراعی از جمله گندم دوروم می‌باشد. از سوی دیگر، با توجه به وسعت اراضی زیر کشت گندم دیم و نیاز به ارقام پرمحصول با کیفیت بالاتر به‌منظور جایگزینی ارقام موجود، یافتن ارقام جدید ضروری است (Morgounov *et al.*, 2021; Lopes *et al.*, 2018).

مکان‌یابی جایگاه‌های ژنی کنترل کننده صفات کمی، نقش مهمی در توسعه و پیشبرد تحقیقات کشاورزی دارند. در روش‌های مولکولی، از عدم تعادل پیوستگی بین مکان‌های ژنومی برای شناسایی جایگاه‌های ژنی کنترل کننده صفات کمی استفاده می‌شود (Mohammadi, 2008). استفاده از نشانگرهای پیوسته با صفات مهم زراعی که ارزیابی فنوتیپی آن‌ها سخت و دشوار است، یک ابزار مفید تلقی می‌شود که توانایی روش‌های کلاسیک را در شناسایی ژن‌های مفید، فراهم می‌کند (Yousef & Juvik, 2001). یکی از کاربردهای مهم نشانگرهای مولکولی، گزینش به کمک نشانگر است که اهمیت خاصی در برنامه‌های به نژادی گیاهان دارد. هدف اصلی در پروژه‌های به‌نژادی، گزینش گیاهان مطلوب از نظر صفت مورد نظر است. بنابراین هر تکنیکی که به انتخاب زودهنگام کمک نماید، مدت دوره به‌نژادی را کوتاه می‌کند. در این روش پیوستگی ژنتیکی یا پیوستگی بین ژن مورد نظر و یک نشانگر، مورد توجه است (باقری و همکاران، ۱۳۸۶).

رشیدی منفرد و همکاران (Rashidi Monfared *et al.*, 2008) با استفاده از رگرسیون چندگانه ارتباط بین شش صفت زراعی و ۷۴ نشانگر مولکولی حاصل از ۱۰ جفت

آغازگر SSAP[1] را روی ۸۷ ژنوتیپ بومی و ۲۱ رقم گندم دوروم ارزیابی نموده و گزارش دادند که ۳۲ نشانگر SSAP رابطه معنی‌داری با حداقل یکی از شش صفت زراعی نشان دادند که می‌توان از آن‌ها در اصلاح به کمک نشانگر بهره گرفت. کوهستانی و همکاران (Kouhestani *et al.*, 2016) تعداد ۴۰ توده گندم دوروم دریافتی از سیمت را با استفاده از ۱۶ آغازگر SSR و برخی صفات زراعی (وزن سنبله، بیوماس و عملکرد دانه) از طریق تجزیه ارتباط مورد مطالعه قرار دادند و نتایج حاکی از ارتباط پنج و شش مکان ژنی به‌ترتیب با صفات عملکرد دانه و وزن سنبله بود. در نقشه‌یابی ارتباطی به‌منظور شناسایی مناطق ژنومی مؤثر بر صفات عملکرد دانه، فنولوژی و عملکرد بیولوژیک ۱۷۲ توده گندم دوروم از حوزه مدیترانه، از ۱۱۴۹ نشانگر DArT مورد بررسی، ۲۴۵ نشانگر در مجموع دارای رابطه معنی‌دار با صفات مورد نظر بودند (Soriano *et al.*, 2017).

به‌منظور بررسی تجزیه ژنتیکی صفات زراعی و کیفی ۱۷۹ لاین گندم دوروم، از تجزیه ارتباط و روش‌های انتخاب ژنوم توسط نشانگرهای SNP و DArT استفاده شد. تعداد ۳۷ نشانگر با صفات میزان گلوتن، حجم رسوب و وزن مخصوص دارای ارتباط معنی‌دار بودند (Merida-Garcia *et al.*, 2019).

این تحقیق با هدف شناسایی نشانگرهای اسکات (SCoT) مرتبط با صفات مهم زراعی و فیزیولوژیک در خزانه‌های بین‌المللی گندم دوروم دریافتی از مراکز بین المللی ایکاردا و سیمیت، از طریق تجزیه ارتباط در شرایط دیم انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها**

در این پژوهش، ۲۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم شامل ۹۵ ژنوتیپ دریافتی از ایکاردا و ۱۲۳ ژنوتیپ دریافتی از سیمیت به همراه ارقام شاهد گندم دوروم (ساجی و ذهاب) در قالب آزمایش مشاهده‌ای، مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال زراعی متوالی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) در مزرعه تحقیقاتی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود) انجام گرفت. برای کشت از زمینی که سال قبل آیش بود، استفاده گردید. همزمان با کشت، کود مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک محاسبه و مصرف گردید. منبع کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس به ترتیب شامل اوره (۷۰ کیلوگرم در هکتار)، فسفات تریپل (۷۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۲۰ کیلوگرم در هکتار) بود. هر ژنوتیپ در دو خط ۲/۵ متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر کشت گردید. در طول اجرای آزمایش از صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول پدانکل خارجی، طول سنبله، دمای کانوپی، قرائت اسپد (SPAD)، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، وزن هزار دانه و عملکرد دانه یادداشت برداری به عمل آمد.

به‌منظور استخراج DNA، پنج بوته به‌طور تصادفی از هر ژنوتیپ انتخاب و نمونه‌های برگی جوان و عاری از بیماری از

[1] Sequence-Specific Amplification Polymorphism

بوته‌ها جدا شد. نمونه‌های انتخابی از هر ژنوتیپ با هم مخلوط و برای استخراج DNA از روش دلاپورتا (Dellaporta, 1983) با تغییرات اندک استفاده گردید. کیفیت نمونه‌های DNA استخراج شده با استفاده از الکتروفورز DNA روی ژل آگارز ۰/۸ درصد و کمیت آن‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر تعیین گردید. واکنش زنجیره‌ای پلیمراز طبق روش ویلیامز و همکاران (Williams *et al.*, 1990) انجام گرفت.

حجم محلول مورد استفاده برای هر واکنش PCR، ۲۰ میکرولیتر بود و مخلوط واکنش مربوط به هر نمونه را در تیوب‌های جداگانه ریخته و سپس تیوب‌ها در دستگاه ترموسایکلر (Palm-Cycler) قرار گرفت. به منظور بررسی چندشکلی نمونه‌های گندم دوروم از پنج آغازگر SCoT به نام‌های SCoT2، SCoT16، SCoT24، SCoT25 و SCoT33استفاده شد. چرخه حرارتی شامل یک مرحله واسرشت‌سازی اولیه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۵ دقیقه و ۴۰ چرخه حرارتی بود. در هر چرخه زمان و دمای واسرشت‌سازی به‌ترتیب ۳۰ ثانیه و ۹۵ درجه سانتی‌گراد، زمان اتصال آغازگر ۳۰ ثانیه و دمای آن برای هر آغازگر متفاوت در نظر گرفته شد. همچنین زمان و دمای توسعه به‌ترتیب ۶۰ ثانیه و ۷۲ درجه سانتی‌گراد بود. توسعه نهایی نیز به مدت ۵ دقیقه در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد تکمیل گردید. تفکیک باندهای تکثیر شده DNA در ژل آگارز ۱/۲ درصد انجام شد.

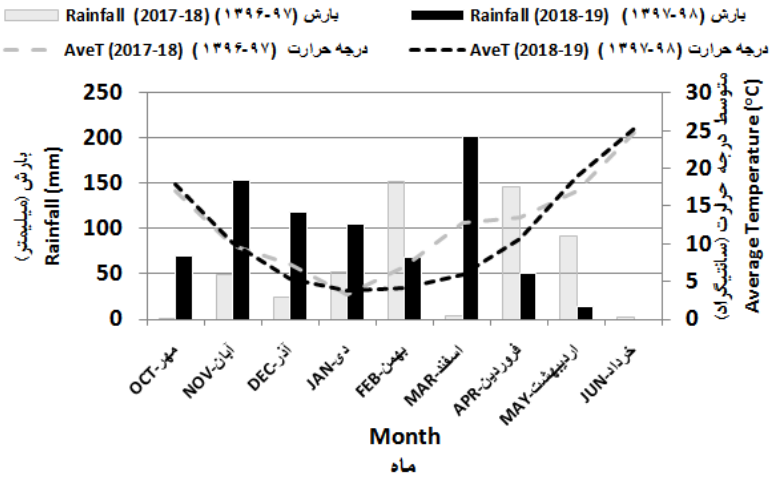
به‌منظور به‌دست آوردن داده‌های مولکولی، حضور و عدم حضور هر نوار با اعداد یک و صفر برای تمامی نمونه‌ها تعیین شد. پس از تشکیل ماتریس داده‌های خام، شاخص نشانگری (Powell *et al.*, 1996)، درصد چند شکلی، قدرت تفکیک (Altıntas *et al.*, 2008)، نسبت چندگانه مؤثر (Kumar *et al.*, 2009) و محتوای اطلاعات چندشکل (Hou *et al.*, 2005) محاسبه گردید. به‌منظور انجام تجزیه ارتباط نشانگرهای SCoT و صفات زراعی، نرم‌افزار SPSS 16 به‌کار گرفته شد. در این روش هر یک از صفات زراعی به عنوان متغیر وابسته و نشانگرها به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته و در نهایت نواحی ژنومی درگیر در کنترل آن‌ها، شناسایی شدند و آن دسته از نشانگرهایی که در توجیه تغییرات فنوتیپی هر صفت نقش داشتند، به‌عنوان نشانگر آگاهی بخش معرفی شدند. ضرایب R2 (ضریب تبیین) و β (ضریب رگرسیون) برای نشانگرهای SCoT وابسته به صفات زراعی-فیزیولوژیک محاسبه و بررسی گردیدند. تجزیه همبستگی فنوتیپی صفات مورد بررسی با استفاده روش نمودار دمایی و با استفاده از نرم افزار PAST Hammer *et al.*, 2001) انجام شد.

## نتایج و بحث

### اطلاعات هواشناسی

سال‌های اجرای آزمایش از نظر میزان و توزیع بارندگی ماهانه، به‌طور قابل توجهی متفاوت بودند (شکل ۱)، که منجر به تفاوت در شرایط رشد و پتانسیل عملکرد ژرم‌پلاسم

در شرایط دیم شد. مجموع بارندگی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷، بیشتر از متوسط بارندگی بلند مدت (۴۵۰ میلی متر) و به‌ترتیب برابر ۵۲۱/۳ و ۸۷۲/۵ میلی‌متر بود. در هر دو سال زراعی، بیشترین بارندگی در زمستان اتفاق افتاد و در مراحل پرشدن دانه، بارندگی کافی دریافت نشده و با وقوع تنش خشکی انتهایی همراه با تنش گرمایی، شرایط تنش برای آزمایش به ویژه در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ فراهم بود. تغییر قابل توجهی در دمای متوسط در دو فصل زراعی مشاهده نشد، به جز در فصل زمستان سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ که سردتر از فصل زراعی قبل بود.




**شکل ۱- پراکنش بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه در طی دو سال زراعی اجرای آزمایش در ایستگاه سرارود.**

**Figure 1. Distribution of monthly rainfall and average temperature during two cropping years of the experiment at Sararood station**

**ارزیابی فنوتیپی ژرم‌پلاسم مورد مطالعه**

برخی از آماره‌های توصیفی از قبیل میانگین، حداقل و حداکثر داده‌ها، ضریب تغییرات فنوتیپی و مقادیر حداقل اختلاف معنی‌دار برای هر یک از صفات مورد بررسی برای دو سال زراعی مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج، تنوع فنوتیپی قابل توجهی برای عملکرد دانه و صفات زراعی-فیزیولوژیک مورد بررسی در ژرم‌پلاسم مورد مطالعه وجود داشت. در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ میانگین تعداد روز تا گلدهی برای کل ژرم‌پلاسم ۱۲۵ روز با دامنه تغییرات ۱۱۵ تا ۱۳۲ روز و ضریب تغییرات ۲/۳۷ درصد بود. قرائت اسپد دارای دامنه تغییرات ۳۴/۹ تا ۶۱/۷ و میانگین ۴۹/۹ و ضریب تغییرات ۸/۲ درصد بود. متوسط دمای کانوپی نیز برابر با ۲۳/۶ درجه سانتی‌گراد با دامنه تغییرات بین ۱۷/۱ و ۳۲/۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. میانگین شاخص NDVI در آزمایش برابر با ۰/۳۸ و از ۰/۲۳ تا ۰/۵۲ متغیر بود. میانگین طول برگ پرچم در آزمایش از ۱۰ تا ۲۷ سانتی‌متر متغیر و میانگین آن برابر با ۱۶/۱

سانتی‌متر ثبت گردید. از لحاظ طول سنبله دامنه تغییرات بین ۴/۲ تا ۸/۱ سانتی‌متر و میانگین آن برابر با ۵/۹ سانتی‌متر بود. میانگین طول پدانکل برابر با ۳۴/۲ سانتی‌متر با دامنه تغییرات بین ۲۶ تا ۴۴ سانتی‌متر بود. طول پدانکل خارجی نیز در آزمایش از ۷/۷ تا ۲۶/۴ سانتی‌متر متغیر و میانگین آن برابر با ۱۵/۸ سانتی‌متر گزارش گردید. از لحاظ ارتفاع بوته دامنه تغییرات بین ۴۳ تا ۹۱ سانتی‌متر بوده و میانگین آن نیز برابر با ۷۳/۹ سانتی‌متر با ضریب تغییرات ۹/۶٪ بود. تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک از ۱۸۰ تا ۱۸۹ روز متغیر بوده و میانگین آن در آزمایش برابر با ۱۸۱ بود. میانگین وزن هزار دانه در آزمایش برابر با ۴۴ گرم و دامنه تغییرات آن از ۳۶ تا ۵۲ گرم متغیر بود. از لحاظ عملکرد دانه نیز، میانگین عملکرد برابر با ۲۹۶۶ کیلوگرم در هکتار با دامنه تغییرات بین ۱۳۲۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ ژرم‌پلاسم مورد بررسی تنوع کمتری برای تعداد روز تا گلدهی نسبت به سال زراعی قبل (۹۷-۱۳۹۶) نشان داد. تعداد روز تا گلدهی از ۱۲۵ تا ۱۳۶ روز متغیر و میانگین آن برابر با ۱۳۱ روز بود. ضریب تغییرات برای قرائت اسپد در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ (۸/۳۱ درصد) مشابه ضریب تغییرات سال قبل (۸/۲۰ درصد) بود اما میانگین قرائت اسپد در سال دوم کمتر از سال اول بود. در سال دوم اجرای پروژه ژرم‌پلاسم مورد بررسی دارای کانوپی خنک‌تر و ضریب تغییرات کمتری نسبت به سال اول بود. در مقابل ضریب تغییرات و مقادیر میانگین شاخص NDVI در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود. ضریب تغییرات برای طول برگ پرچم و طول سنبله در آزمایش سال اول بیشتر از سال دوم بود؛ هر چند که در سال دوم، میانگین طول برگ پرچم و طول سنبله بیشتر از سال اول بود. میانگین طول پدانکل در آزمایش برابر با ۳۰/۱ و دامنه تغییرات آن از ۱۹/۴ تا ۴۰/۶ سانتی‌متر متغیر بود و طول پدانکل خارجی نیز از ۵/۶ تا ۲۲/۱ سانتی‌متر متغیر و میانگین آن در آزمایش ۱۳/۵ سانتی‌متر بود. ارتفاع بوته ژرم‌پلاسم در آزمایش سال دوم از ۵۰/۶ تا ۸۴/۳ سانتی‌متر متغیر و میانگین آن برابر با ۶۹/۵ سانتی‌متر گزارش گردید. از لحاظ تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک دامنه تغییرات بین ۱۷۲ تا ۱۷۸ روز متغیر و میانگین این صفت برای آزمایش ۱۷۵ روز بود. ضریب تغییرات برای تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک در سال دوم نیز بیشتر از سال اول بود. در هر دو سال، بیشترین ضریب تنوع برای صفات عملکرد دانه، طول پدانکل خارجی و طول برگ پرچم و کمترین میزان تنوع برای صفات فنولوژیک تعداد روز تا گلدهی و رسیدن فیزیولوژیک مشاهد گردید.

**جدول ۱- آماره‌های توصیفی صفات زراعی-فیزیولوژیک در ژرم پلاسم گندم دوروم مورد بررسی در دو سال زراعی متوالی.**

**Table 1. Descriptive statistics of agro-physiological traits in studied germplasm of durum wheat in two consecutive cropping seasons.**

| صفات Traits | سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ 2017-18 cropping season | | | | سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ 2018-19 cropping season | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | میانگین Mean | حداقل Min. | حداکثر Max. | ضریب تغییرات٪ CV% | میانگین Mean | حداقل Min. | حداکثر Max. | ضریب تغییرات٪ CV% |
| DH | 125 | 115 | 132 | 2.37 | 131 | 125 | 136 | 1.93 |
| SPAD | 49.9 | 34.9 | 61.7 | 8.2 | 47.1 | 33.9 | 55.8 | 8.31 |
| CT | 23.6 | 17.1 | 32.0 | 11.0 | 18.6 | 16.3 | 21.8 | 5.48 |
| NDVI | 0.38 | 0.23 | 0.52 | 15.0 | 0.44 | 0.24 | 0.63 | 17.8 |
| FL | 16.1 | 10.0 | 27.0 | 17.2 | 17.4 | 12.3 | 23.0 | 12.0 |
| SL | 5.9 | 4.2 | 8.1 | 12.8 | 6.5 | 4.9 | 8.2 | 10.4 |
| PL | 34.2 | 26.0 | 44.0 | 9.8 | 30.1 | 19.4 | 40.6 | 10.5 |
| PE | 15.8 | 7.7 | 26.4 | 20.5 | 13.5 | 5.6 | 22.1 | 20.4 |
| PH | 73.9 | 43.0 | 91.0 | 9.66 | 69.5 | 50.6 | 84.3 | 8.42 |
| DM | 181 | 180 | 189 | 0.57 | 175 | 172 | 178 | 0.87 |
| TKW | 44.0 | 36.0 | 52.2 | 8.17 | 35.0 | 26.4 | 42.8 | 9.44 |
| GY | 2966 | 1320 | 5000 | 25.7 | 3135 | 440 | 5720 | 28.6 |

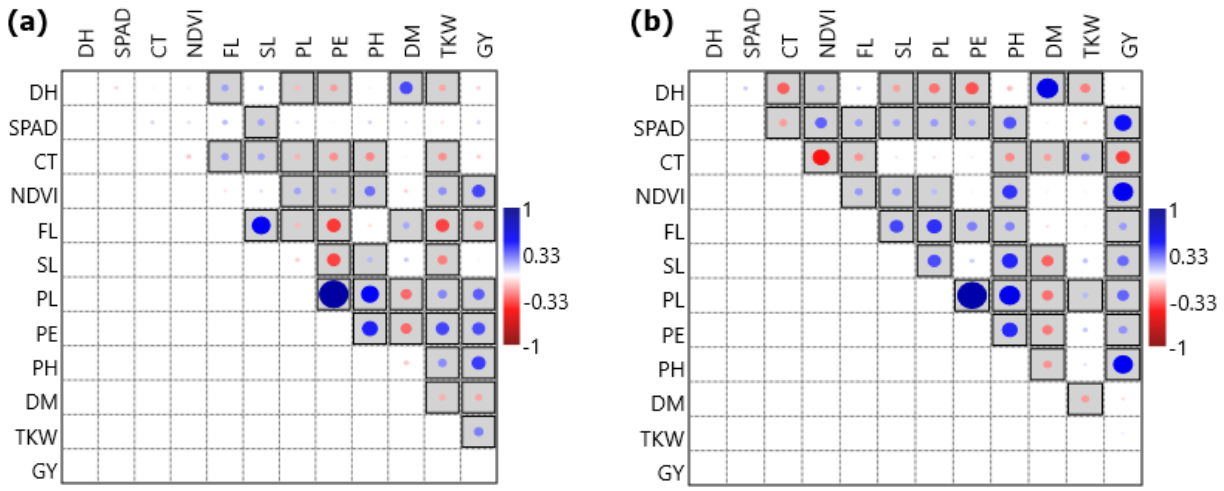
DH: تعداد روز تا گلدهی، PH: ارتفاع بوته، DM: تعداد روز تا رسیدگی، SPAD: قرائت اسپد، NDVI: شاخص نرمال شده سبزینگی، CT: دمای کانوپی، SL: طول سنبله، PL: طول پدانکل، PE: طول پدانکل خارجی، FL: طول برگ پرچم، TKW: وزن هزار دانه، GY: عملکرد دانه.

DH: day to heading, PH: plant height, DM: day to maturity, SPAD: SPAD number, NDVI: normalized difference vegetation index, CT: canopy temperature, SL: spike length, PL: peduncle length, PE: extrusion length, FL: flag leaf length, TKW: thousand kernel weight, GY: grain yield.

**بررسی همبستگی صفات مورد مطالعه**

در شکل ۲ نمودار دمایی همبستگی بین صفات مورد بررسی ارائه شده است. در سال اول (۹۷-۱۳۹۶) صفات شاخص NDVI، طول پدانکل، طول پدانکل خارجی، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه، همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه نشان دادند (شکل ۲-a). همبستگی‌های مثبت و قوی همچنین بین صفات طول پدانکل و طول پدانکل خارجی، بین صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل، بین صفات طول پدانکل خارجی و طول سنبله، و بین طول برگ پرچم و طول سنبله مشاهده گردید. همبستگی‌های مشابهی نیز در سال دوم (شکل ۲-b) بین صفات مورد بررسی مشاهده گردید. صفات شاخص NDVI، قرائت اسپد و ارتفاع بوته

همبستگی مثبتی با عملکرد دانه نشان دادند. دمای کانوپی همبستگی منفی با شاخص NDVI، قرائت اسپد، تعداد روز تا گلدهی و عملکرد دانه نشان داد. همبستگی‌های مثبت و قوی نیز بین صفات طول پدانکل و طول پدانکل خارجی، بین صفات تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، و بین صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل مشاهده گردید.




**شکل ۲- نمودار دمایی همبستگی بین صفات آگرو-فیزیولوژیک مورد بررسی در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ (a) و ۹۸-۱۳۹۷ (b).**

DH: تعداد روز تا گلدهی، PH: ارتفاع بوته، DM: تعداد روز تا رسیدگی، SPAD: قرائت اسپد، NDVI: شاخص نرمال شده سبزینگی، CT: دمای کانوپی، SL: طول سنبله، PL: طول پدانکل، PE: طول پدانکل خارجی، FL: طول برگ پرچم، TKW: وزن هزار دانه، GY: عملکرد دانه.

**Figure 2. Heat map plot based on correlations between studied agro-physiological traits in 2107-18 (a) and 2018-19 (b) cropping seasons.**

DH: day to heading, PH: plant height, DM: day to maturity, SPAD: SPAD number, NDVI: normalized difference vegetation index, CT: canopy temperature, SL: spike length, PL: peduncle length, PE: extrusion length, FL: flag leaf length, TKW: Thousand-kernel weight, GY: grain yield.

### تجزیه ارتباط برای صفات مورد بررسی

قدرت تمایز آغازگرها توسط تعداد قطعات تکثیر شده، تعداد قطعات چندشکل، درصد چندشکلی و محتوای اطلاعاتی چندشکلی بررسی گردید. در کل ۳۲ باند توسط نشانگر SCoT تولید شد که ۲۲ باند چندشکل بودند و درصد چندشکلی متوسط ۷۲/۲۲ بود. متوسط تعداد کل باندها ۶/۴ و متوسط باندهای چندشکل برای هر آغازگر ۴/۴ بود. آغازگرهای SCoT33 و SCoT16 به ترتیب با تولید ۹ باند بیشترین و آغازگر SCoT2 با تولید دو باند کمترین تعداد باند قابل امتیازدهی را داشتند. نتایج تجزیه ارتباط به منظور تعیین آلل‌های مرتبط با صفات زراعی و فیزیولوژیک برای

۲۲۰ ژنوتیپ مورد بررسی طی دو سال زراعی در جدول ۲ ارائه شده است. بعضی از نشانگرهای مرتبط با صفات مورد بررسی در ژرم‌پلاسم شناسایی گردید. بر اساس نتایج حاصل، ۷۰ ارتباط صفت-نشانگر تعیین گردید که شامل شش جایگاه ژنی مرتبط با گل‌دهی، سه جایگاه مرتبط با قرائت اسپد، نه جایگاه مرتبط با دمای کانوپی، چهار جایگاه مرتبط با شاخص NDVI، هشت جایگاه با طول برگ پرچم، هشت جایگاه با طول سنبله، ۱۲ جایگاه با طول پدانکل، هشت جایگاه با طول پدانکل خارجی، هفت جایگاه با ارتفاع بوته، پنج جایگاه با رسیدگی فیزیولوژیک، شش جایگاه با وزن هزار دانه و پنج جایگاه با عملکرد دانه بود. بر اساس نتایج، ۱۳ آلل حداقل با سه صفت مرتبط بودند. بر این اساس، آلل SCoT-845 با صفات گلدهی، قرائت اسپد، دمای کانوپی، شاخص NDVI، طول برگ پرچم، طول سنبله، طول پدانکل، طول پدانکل خارجی، ارتفاع بوته، رسیدگی، وزن هزار دانه، و عملکرد دانه؛ آلل SCoT25-765 با گلدهی، قرائت اسپد، دمای کانوپی، شاخص NDVI و طول پدانکل؛ آلل SCoT33-710 با گلدهی، دمای کانوپی و طول برگ پرچم؛ آلل SCoT16-1000 با گل‌دهی، طول برگ پرچم، طول سنبله، طول پدانکل، طول پدانکل خارجی و رسیدگی؛ آلل SCoT25-680 با گل‌دهی، دمای کانوپی و طول برگ پرچم؛ آلل SCoT33-499 با گلدهی، طول پدانکل، طول پدانکل خارجی و ارتفاع بوته؛ آلل SCoT25-1200 با قرائت اسپد، طول برگ پرچم و ارتفاع بوته؛ آلل S33-710 با گلدهی، دمای کانوپی و طول برگ پرچم؛ آلل SCoT24-1100 با دمای کانوپی، طول سنبله، وزن هزاردانه و عملکرد دانه؛ آلل SCoT33-780 با شاخص NDVI، طول پدانکل، ارتفاع بوته و عملکرد دانه؛ آلل SCoT16-1465 با طول سنبله، رسیدگی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه؛ آلل SCoT16-740 با طول برگ پرچم، طول پدانکل و طول پدانکل خارجی؛ آلل Scot16-965 با دمای کانوپی، طول برگ پرچم و طول پدانکل؛ و آلل SCoT16-590 با طول برگ پرچم، طول پدانکل و طول پدانکل خارجی مرتبط بودند. آلل‌های SCoT16-845 و SCoT25-765 به صورت مشترک با صفات گل‌دهی، قرائت اسپد، دمای کانوپی، شاخص NDVI و طول پدانکل مرتبط بودند که بیانگر این موضوع است که احتمالاً این صفات با یکدیگر همبستگی دارند. همچنین آلل‌های ScoT16-845 و SCoT16-1465 به صورت مشترک با صفات طول سنبله، رسیدگی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه مرتبط بودند که نشان‌دهنده ارتباط این صفات با یکدیگر می‌باشد. بر اساس نتایج، تجزیه ارتباط یک روش قوی و کارآمد برای تعیین ژن‌ها و نشانگرهای مرتبط با صفات زراعی و فیزیولوژیکی می‌باشد. بعلاوه، تجزیه‌های آماری بیانگر ارتباط نشانگرهای اسکات با برخی از صفات مورد بررسی در هر دو سال زراعی می‌باشند که حاکی از اطلاعات مفید راجع به برخی نواحی ژنتیکی با اثرات پایدار تحت شرایط محیطی متغیر می‌باشد. آلل‌های SCoT16-845 و SCoT16-965 دارای ارتباط با دمای کانوپی در هر

دو سال زراعی بودند. سایر آلل‌های با همبستگی‌های تکرارپذیر در طی دو سال شامل آلل SCoT33-780 با شاخص NDVI، آلل SCoT24-1400 با طول سنبله، آلل-های SCoT33-499 و SCoT25-680 با طول پدانکل، آلل SCoT33-499 با طول پدانکل خارجی و آلل‌های SCoT16-845 و SCoT25-680 با وزن هزار دانه بودند.

ارزیابی مواد ژنتیکی بر اساس داده‌های فنوتیپی به عنوان اولین گام برای گروه‌بندی و توصیف تنوع در ژرم‌پلاسم‌ها در نظر گرفته شده است (Rawashdeh *et al*., 2007; Hailu *et al*., 2010; Lou *et al*., 2015). در برنامه‌های کلاسیک اصلاح‌نباتات هدف افزایش عملکرد دانه می‌باشد، اما این هدف در محیط‌های با شرایط مدیترانه‌ای که اغلب همراه با تنش‌های انتهایی خشکی و گرما می‌باشند همواره با مشکل مواجه می‌باشد. در چنین شرایطی، انتخاب ژنوتیپ بر اساس صفات مرتبط با عملکرد باعث بهبود عملکرد نهایی می‌گردد (McIntyre *et al*., 2010). نتایج بیانگر همبستگی مثبت عملکرد با برخی از صفات مورد بررسی از قبیل شاخص NDVI، قرائت اسپد، ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن هزار دانه و همبستگی منفی این صفات با صفات فنولوژیک و دمای کانوپی تحت شرایط دیمبود. این نتایج بیانگر اهمیت این صفات بعنوان نشانگرهای مورفولوژیکی جهت بهبود عملکرد می‌باشد. نتایج قبلی هم بیانگر اهمیت نشانگرهای مورفولوژیکی مختلف از قبیل شاخص سبز ماندگی (Green-stay) (Lopes & Reynold, 2010)، وزن دانه، ارتفاع بوته و زودرسی (Mohammadi *et al*., 2019) جهت بهبود عملکرد می‌باشد. در طی هر دو سال آزمایش، عملکرد دانه رابطه منفی با صفات فنولوژیک و دمای کانوپی نشان داد که بیانگر این است که انتخاب برای زودرسی باعث افزایش عملکرد دانه شده است. بنابراین، انتخاب لاین‌های اصلاحی زودرس با عملکرد بالا از مهمترین اهداف اصلاح گندم در محیط‌های با تنش رطوبتی می‌باشد. در طول یک قرن گذشته اصلاح گندم، یک روند افزایش تدریجی در زودرسی در کشورهای با شرایط مدیترانه‌ای که همراه با تنش‌های متناوب انتهایی خشکی می‌باشد، اتفاق افتاده است. این روند افزایش برای تولید بیشتر گندم به منظور مقابله با تغییرات اقلیمی پیش‌رو در سال‌های آینده پیش‌بینی شده است (Shavrukov *et al*., 2017).

علاوه بر نشانگرهای مورفولوژیکی، نشانگرهای مولکولی ابزارهای مفیدی برای ارزیابی تنوع ژرم‌پلاسم‌ها می باشند (Cabo *et al*., 2014; Srivastava *et al*., 2020). کارآیی یک نشانگر در تمایز بین ژنوتیپ‌ها اساساً بستگی به تعیین سطح پلی‌مورفیسم دارد. نشانگرهای اسکات به طور موفقیت آمیزی برای اهداف مختلف از جمله تنوع ژنتیکی، مطالعات پلی‌ژنیک و انگشت نگاری DNA در برخی از گونه‌های گیاهی استفاده شده اند (Guo *et al*., 2020). شاخص محتوای اطلاعات چند شکلی (PIC) و قدرت تفکیک (RP) درجه بالایی از ظرفیت سیستم‌های نشانگری را در اختیار قرار دادند. نشانگرهای با قدرت تفکیک بالا اطلاعات بهتری

در تعیین تنوع در اختیار قرار می‌دهند. پارامترهای ژنتیکی استفاده شده برای بررسی تنوع ژنتیکی، بیانگر سطح بالایی از تنوع ژنتیکی در ژرم‌پلاسم مورد بررسی می‌باشد. در این ارتباط، مطالعات زیادی سطح معنی‌داری از تنوع ژنتیکی در محصولات مختلف با استفاده از نشانگر اسکات را گزارش نموده‌اند (Feng *et al*., 2015; Luo *et al*., 2010; Tabasi *et al*., 2020). از بین آلل‌های مختلف اسکات، ۱۳ آلل حداقل با سه صفت مرتبط بودند، که از بین آن‌ها آلل‌های SCoT16-845، SCoT16-965 و SCoT16-1465 بخشی از تنوع مربوط به عملکرد را تبیین نمودند. نشانگر SCoT16 نقش نسبی بزرگی در تعیین تنوع عملکرد دانه و برخی از صفات مرتبط با آن داشت. بنابراین این نشانگر در انتخاب برای عملکرد دانه تحت شرایط دیم مفید خواهد بود.

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل، تنوع قابل توجهی بر اساس داده‌های فنوتیپی و نشانگرهای اسکات در ژرم‌پلاسم مورد بررسی مشاهده گردید که می‌تواند در برنامه اصلاحی گندم دوروم مورد توجه قرار گیرد. این اطلاعات برای گروه‌بندی ژرم-پلاسم و تعیین گروه‌های مختلف فنوتیپی و ژنوتیپی، توسعه ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و استفاده در برنامه‌های دورگ-گیری ارزشمند می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه ارتباط، ۱۳ جایگاه ژنی که هر یک با حداقل سه صفت مرتبط بودند، شناسایی شدند. این نشانگرها برای بهبود کارآیی انتخاب در برنامه گندم دوروم حائز اهمیت می‌باشند. همچنین نشانگرهای پایدار مشخص شده در این بررسی (SCoT16-845, SCoT16-965, SCoT33-780, SCoT24-1400, SCoT16-845, SCoT25-680) را می‌توان به‌عنوان نشانگرهای کاندید به‌منظور اسکن ژنوم برای برخی از صفات مرتبط مورد توجه قرار داد.

## تشکر و قدردانی

این مقاله از پروژه تحقیقاتی مشترک بین دانشگاه رازی و مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (3-15-1551-111-961520) استخراج شده است.

**جدول ۲- تجزیه ارتباط برای ۱۲ صفت زراعی-فیزیولوزیک با استفاده از نشانگرهای SCoT در طی دو سال زراعی برای ۲۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم. زیر نشانگرهای با همبستگی تکرارپذیر در طی دو سال خط کشیده شده است.**

**Table 2. Association analysis of 12 agro-physiological traits using SCoT markers during two cropping years for 220 durum wheat genotypes. A line is drawn below the markers with repeatable correlations over two years.**

| صفت | سال زراعی | تعداد نشانگرهای اطلاع بخش | نشانگر اطلاع بخش | ضریب تبیین | نشانگر اصلی با بالاترین ضریب تبیین | ضریب رگرسیون | تغییرات ضریب تبیین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Trait | Cropping season | No. of informative markers | Informative markers | $R^2$ adjusted (%) | Main marker with highest $R^2$ | Regression coefficient | $R^2$ changed (%) |
| DH | 1396-97 | 1 | SCoT25-765 | 1.9 | SCoT25-765 | -0.92* | 2.3 |
| | 1397-98 | 5 | SCoT16-845, SCoT33-710, SCoT16-1000, SCoT33-499, SCoT25-680 | 31.2 | SCoT16-845 | -1.89** | 19.2 |
| SPAD | 1396-97 | 2 | SCoT16-845, SCoT25-765 | 4.1 | SCoT16-845 | -1.50* | 2.8 |
| | 1397-98 | 1 | SCoT25-1200 | 3.6 | SCoT25-1200 | 2.21** | 4.0 |
| CT | 1396-97 | 4 | SCoT16-845, SCoT16-965, SCoT16-1070, SCoT24-1250 | 19.0 | SCoT16-845 | -1.38** | 10.1 |
| | 1397-98 | 5 | SCoT24-1100, SCoT16-965, SCoT33-1150, SCoT33-710, SCoT16-845 | 31.3 | SCoT24-1100 | 0.55** | 16.1 |
| NDVI | 1396-97 | 2 | SCoT16-845, SCoT33-780 | 10.8 | SCoT16-845 | 0.02** | 7.0 |
| | 1397-98 | 2 | SCoT33-780, SCoT25-765 | 6.2 | SCoT33-780 | 0.04** | 4.9 |
| FL | 1396-97 | 4 | SCoT16-845, SCoT16-740, SCoT16-590, SCoT16-965 | 16.6 | SCoT16-845 | -1.28** | 9.7 |
| | 1397-98 | 4 | SCoT25-1200, SCoT16-1000, SCoT33-710, SCoT25-680 | 12.4 | SCoT25-1200 | 1.19** | 4.6 |

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

DH: تعداد روز تا گلدهی، SPAD: قرائت اسپد، NDVI: شاخص نرمال شده سبزینگی، CT: دمای کانوپی، FL: طول برگ پرچم.

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

DH: day to heading, SPAD: SPAD number, NDVI: normalized difference vegetation index, CT: canopy temperature, FL: flag leaf length.

**ادامه جدول ۲.**

**Table 2. Continued.**

| صفت | سال زراعی | تعداد نشانگرهای اطلاع بخش | نشانگر اطلاع بخش | ضریب تبیین | نشانگر اصلی با بالاترین ضریب تبیین | ضریب رگرسیون | تغییرات ضریب تبیین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Trait | Cropping Season | No. of informative markers | Informative markers | $R^2$ adjusted (%) | Main marker with highest $R^2$ | Regression Coefficient | $R^2$ changed (%) |
| SL | 1396-97 | 4 | SCoT16-845, SCoT16-1000, SCoT24-1100, SCoT24-1400 | 19.5 | SCoT16-845 | -0.39** | 10.2 |
| | 1397-98 | 4 | SCoT16-1465, SCoT24-1400, SCoT24-4800, SCoT25-680 | 10.8 | SCoT16-1465 | -0.36** | 5.3 |
| PL | 1396-97 | 6 | SCoT33-499, SCoT25-680, SCoT16-845, SCoT33-780 | 14.1 | SCoT33-499 | -1.64** | 6.7 |
| | 1397-98 | 6 | SCoT33-499, SCoT25-680, SCoT16-590, SCoTCoT16-740, SCoT25-765, SCoT2-490 | 16.4 | SCoT33-499 | -1.99** | 17.0 |
| PE | 1396-97 | 5 | SCoT16-845, SCoT16-1000, SCoT33-499, SCoT16-965, SCoT24-1100 | 31.5 | SCoT16-845 | 2.06** | 17.2 |
| | 1397-98 | 3 | SCoT33-499, SCoT16-590, SCoT16-740 | 14.5 | SCoT33-499 | -2.13** | 10.3 |
| PH | 1396-97 | 2 | SCoT33-780, SCoT16-845 | 6.1 | SCoT33-780 | -4.06** | 4.7 |
| | 1397-98 | 5 | SCoT16-1070, SCoT25-1200, SCoT16-1000, SCoT33-499, SCoT25-756 | 11.1 | SCoT16-1070 | 4.69** | 3.9 |

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

SL: طول سنبله، PL: طول پدانکل، PE: طول پدانکل خارجی، PH: ارتفاع بوته.

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

SL: spike length, PL: peduncle length, PE: extrusion length, PH: plant height.

**ادامه جدول ۲.**

**Table 2. Continued.**

| صفت | سال زراعی | تعداد نشانگرهای اطلاع بخش | نشانگر اطلاع بخش | ضریب تبیین | نشانگر اصلی با بالاترین ضریب تبیین | ضریب رگرسیون | تغییرات ضریب تبیین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Trait | Cropping Season | No. of informative markers | Informative markers | $R^2$ adjusted (%) | Main marker with highest $R^2$ | Regression Coefficient | $R^2$ changed (%) |
| DM | 1396-97 | 1 | SCoT24-1400 | 1.5 | SCoT24-1400 | 0.39* | 2 |
| | 1397-98 | 4 | SCoT16-1465, SCoT16-845, SCoT16-1000, SCoT25-680 | 17.7 | SCoT16-1465 | 0.74* | 9.5 |
| TKW | 1396-97 | 4 | SCoT16-845, SCoT24-1100, SCoT16-1465, SCoT25-680 | 24.6 | SCoT16-845 | 2.23** | 15.8 |
| | 1397-98 | 2 | SCoT16-845, SCoT25-680 | 8.7 | SCoT16-845 | 1.61** | 6.2 |
| GY | 1396-97 | 4 | SCoT16-1465, SCoT16-845, SCoT2-1004, SCoT24-1100 | 17.9 | SCoT16-1465 | -445.22** | 8.4 |
| | 1397-98 | 1 | SCoT33-780 | 4.0 | SCoT33-780 | 562.28** | 4.4 |

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

DM: تعداد روز تا رسیدگی، TKW: وزن هزار دانه، GY: عملکرد دانه.

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

DM: day to maturity, TKW: thousand kernel weight, GY: grain yield.

## References


Altıntas, S., Toklu, F., Kafkas, S., Kilian, B., Brandolini A., & Zkan, H. O. 2008. Estimating genetic diversity in durum and bread wheat cultivars from Turkey using AFLP and SAMPL markers. Plant Breeding, 127, 9-14. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01424.x

Cabo, S., Ferreira, L., Carvalho, A., Martins-Lopes, P., Martín, A., & Lima-Brito, J. E. 2014. Potential of start codon targeted (SCoT) markers for DNA fingerprinting of newly synthesized tritordeums and their respective parents. Journal of Applied Genetics, 55, 307–312. https://doi.org/10.1007/s13353-014-0211-3

Dellaporta, S. L., Wood, J., & Hicks, J. B. 1983. A plant DNA mini preparation: version II. Plant Molecular Biology Reporter, 1, 19–21.

Food and Agriculture Organization. 2018. Statistics: FAOSTAT agriculture. Area harvested, total production and productivity of crops. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. (Accessed 10 October 2018). Accessed on date. Retrieved October 10, 2018. from http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Feng, S., He, R., Yang, S., Chen, Z., Jiang, M., Lu, J., & Wang, H. 2015. Start codon targeted (SCoT) and target region amplification polymorphism (TRAP) for evaluating the genetic relationship of Dendrobium species. Gene, 567 (2), 182–188. https://doi.org/10.1016/j.gene.2015.04.076

Guo, J., Pradhan, S., Shahi, D., Khan, J. A., Mcbreen, J., Bai, G., Murphy, J. P., & Babar, M, A. 2020. Increased Prediction accuracy using combined genomic information and physiological traits in a soft

wheat panel valuated in multi-environments. Scientific Reports, 10, 7023. https://doi.org/10.1038/s41598-020-63919-3

Hou, Y., Yan, Z., Wei, Y., & Zheng, Y. 2005. Genetic diversity in barely from west China based on RAPD and ISSR analysis. Barely Genetics Newsletter, 35, 9-22.

Kumar, M., Mishra, G. P., Singh, R., Kumar, J., Naik, P. K., & Singh, S. B. 2009. Correspondence of ISSR and RAPD markers for comparative analysis of genetic diversity among different apricot genotypes from cold arid deserts of trans-Himalayas. Physiology and Molecular Biology of Plants, 15 (3), 225-236. https://doi.org/10.1007/s12298-009-0026-6

Gizaw, S.A., Garland-Campbell, K. & Carter, A.H. 2016. Use of spectral reflectance for indirect selection of yield potential and stability in Pacific Northwest winter wheat. Field Crops Research 196, 199–206. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.022

Hailu, F., Johansson, E., & Merker, A. 2010. Patterns of phenotypic diversity for phonologic and qualitative traits in Ethiopian tetraploid wheat germplasm. Genetic Resources and Crop Evolution, 57 (5), 781–790. https://doi.org/10.1007/s10722-009-9518-z

Hammer, Ø, Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, 4 (1), art. 4: 9pp., 178kb. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

Kouhestani, M., Sadeghzadeh, B., Ebrahimi, M.A., & Yousefi, V. 2016. Identification of SSR markers associated with agronomic traits in durum wheat. 2nd International and 14th Iranian Genetic Congress, 21-23 May 2016, Tehran, Iran. [In Persian].

Lopes, M. S., & Reynolds, M. P. 2010. Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. Functional Plant Biology, 37 (2), 147–156. https://doi.org/10.1071/FP09121

Lopes, M. S., Royo, C., Alvaro, F., Sanchez-Garcia, M., Ozer, E., Ozdemir, F., Karaman, M., Roustaii, M., Jalal-Kamali, M. R. & Pequeno, D. 2018. Optimizing winter wheat resilience to climate change in rain fed crop systems of Turkey and Iran. Frontiers in Plant Science, 9, 563. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00563

Luo, C., He, X., Chen, H., Ou, S., & Gao, M. 2010. Analysis of diversity and relationships among mango cultivars using Start Codon Targeted (SCoT) markers. Biochemical Systematics and Ecology, 38 (6), 1176–1184. https://doi.org/10.1016/j.bse.2010.11.004

Merida-Garcia, R., Liu, G., He, S., Gonzalez-Dugo, V., Dorado, G., Galvez, S., Solis, I., Zarco-Tejada, P. J., Reif, J. C., & Hernandez, P. 2019. Genetic dissection of agronomic and quality traits based on association mapping and genomic selection approaches in durum wheat grown in Southern Spain. PloS one, 14 (2), e0211718. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211718

McIntyre, C. L., Mathews, K. L., Rattey, A., Chapman, S. C., Drenth, J., Ghaderi, M. et al. (2010). Molecular detection of genomic regions associated with grain yield and yield-related components in an elite bread wheat cross evaluated under irrigated and rainfed conditions. Theoretical and Applied Genetics, 120, 527–541. https://doi.org/10.1007/s00122-009-1173-4

Mohammadi, R., Abdolahi, A., Mohammadi, M. S., Elahi, K., & Yari, S. R. 2016. Evaluation of yield gap of durum wheat genotypes under research and farmers' fields conditions. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 9 (2), 133-141. [In Persian]. DOI: https://doi.org/10.22092/RAFHC.2016.109760

Mohammadi, R., Etminan, A., & Shooshtari, L. 2019. Agro-physiological characterization of durum wheat genotypes under drought conditions. Experimental Agriculture, 55 (3), 484–499. https://doi.org/10.1017/S0014479718000133

Mohammadi, S. A. 2008. New methods of genetic analysis of quantitative traits in plants. Proceedings of the Tenth Congress of Agronomy and Plant Breeding, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj. 183-201. [In Persian].

Morgounov, A., Özdemir, F., Keser, M., Akin, B., Dababat, A.A., Dreisigacker, S., Golkari, S., Koc, E., Küçükçongar, M., Muminjanov, H., Nehe, A., Rasheed, A., Roostaei, M., Sehgal, D., & Sharma, R 2021. Diversity and adaptation of currently grown wheat landraces and modern germplasm in Afghanistan, Iran and Turkey. Crops, 1 (2), 54–67. https://doi.org/10.3390/crops1020007

Powell, W., Morgante, M., Andre, C., Hanafey, M., Vogel, J., Tingey, S. & Rafalski, A. 1996. The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. Molecular Breeding, 2, 225-238. https://doi.org/10.1007/BF00564200

Rashidi Monfared, S., Mardi, M., Hoseinzadeh, A. H., & Naghavi, M. R. 2008. Association analysis of important agronomic traits to retrotransposon markers SSAPs in durum wheat accessions. Journal of Modern Genetics, 3, 29-35. [In Persian]. DOI: https://doi.org/20.1001.1.20084439.1387.3.2.4.3

Rawashdeh, N. K., Haddad, N. I., Al-Ajlouni, M. M., & Turk, M. A. 2007. Phenotypic diversity of durum wheat (Triticum durum Desf.) from Jordan. Genetic Resources and Crop Evolution, 54, 129–138. https://doi.org/10.1007/s10722-005-2636-3

Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K., & Langridge, P. 2017. Early flowering as a drought escape mechanism in plants: How can it aid wheat production? Frontiers in Plant Science, 8, 1950. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01950

Soriano, J. M., Malosetti, M., Roselló, M., Sorrells, M. E., & Royo, C. 2017. Dissecting the old Mediterranean durum wheat genetic architecture for phenology, biomass and yield formation by association mapping and QTL meta-analysis. PloS one, 12 (5), e0178290. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178290

Tabasi, M., Sheidai, M., Hassani, D., &Koohdar, F. 2020. DNA fingerprinting and genetic diversity analysis with SCoT markers of Persian walnut populations (Juglans regia L.) in Iran. Genetic Resources and Crop Evolution, 67, 1437–1447. https://doi.org/10.1007/s10722-020-00914-7

Williams, J. G. K., Kubelik, A. R., Livak, K. J., Rafalski, J. A., & Tingey, S. V. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. Nucleic Acids Research, 18 (22), 6531–5.

Yousef, G. G., & Juvik, J. A. 2001. Comparison of phenotypic and marker-assisted selection for quantitative traits in sweet corn. Crop Science, 41, 645–655. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.413645x