مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۲۹، شماره ۴، سال ۱۳۹۲

ارتباط زیر واحدهای گلوتنین سنگین و صفات مرتبط با کیفیت دانه در ارقام گندم نان

Relationship Between High Molecular Weight Glutenin Subunits and Grain Quality Traits in Bread Wheat Cultivars

الهام مهرآذر[۱]، محسن محمدی[۲]، گودرز نجفیان[۳] و علی ایزدی دربندی[۴]

۱ و ۴- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات و استادیار، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت
۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۴/۶

چکیده

مهرآذر، ا.، محمدی، م.، نجفیان، گ. و ایزدی دربندی، ع. ۱۳۹۲. ارتباط زیر واحدهای گلوتنین سنگین و صفات مرتبط با کیفیت دانه در ارقام گندم نان. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۹:** ۸۳۸ - ۸۲۳

زیر واحدهای گلوتنین که تحت تاثیر عوامل وراثتی هستند تاثیر به سزایی در کیفیت خمیر گندم و نان حاصل از آن دارند. در این بررسی صفات مرتبط با کیفیت دانه در ۳۲ رقم تجاری گندم به‌همراه زیرواحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا با روش SDS-PAGE مورد ارزیابی قرار گرفتند. براساس نتایج، ارقام زاگرس، مارون، چناب و سیروان برترین ارقام از نظر زیرواحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا بودند و ارقام بزوستایا، پارسی، گلستان، چناب، نیک‌نژاد، اترک، مرودشت، کرج۲، خزر۱، ویری‌ناک، رسول و مغان۱ دارای ارزش کیفی مطلوبی نسبت به سایر ارقام بودند. بین آزمون ارتفاع رسوب SDS با آلل‌های *۲ ، ۱۰+۵ و۱۸+۱۷ همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی تایید کرد که چهار مولفه می‌توانند ۷۳/۴ درصد از کل تغییرات ارزش کیفی نانوایی را توجیه کند. با توجه به این نتایج، غربال بر اساس صفات تاثیرگذار در این مولفه‌ها نظیر درصد پروتئین، میزان جذب آب، سختی دانه و حجم رسوب SDS می‌تواند مناسب باشد. بر اساس نتایج رگرسیون گام‌به‌گام، درصد سن‌زدگی، عدد زلنی، درصد پروتئین و وزن هزار دانه ۷۶/۸ درصد تغییرات ارتفاع رسوب را توجیه کردند. ارقام برگزیده از نظر امتیاز ژنوتیپی و آزمون‌های فیزیکی برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی تعیین شدند.

واژه‌های کلیدی: گندم نان، زیرواحد گلوتنین با وزن مولکولی بالا، صفات کیفی، همبستگی.

نویسنده مسئول: elhammehrazar@ymail.com تلفن: ۰۹۱۲۷۰۵۶۲۵۱

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا است و در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ سطح زیر کشت آن در ایران ۶/۵۵ میلیون هکتار بود (Anonymous, 2012). تحقیقات مربوط به کیفیت نانوایی گندم اهمیت به سزایی دارد، چرا که بهینه کردن کیفیت نانوایی گندم یکی از طرق افزایش بهره‌وری تولید گندم است (Nikooseresht *et al.*, 2009). کیفیت پروتئین‌های ذخیره‌ای دانه گندم تحت کنترل ژنتیکی، محیطی و اثر متقابل آن‌ها قرار دارد (Shan *et al.*, 2003). مطلوبیت آرد برای تهیه نان بستگی به کیفیت و کمیت گلوتن آن دارد و گلوتن گندم شامل گلوتنین‌ها و گلیادین‌ها است. گلوتنین‌ها از نظر وزن مولکولی به دو گروه با وزن مولکولی بالا (HMW-Gs) و پایین (LMW-Gs) تقسیم می‌شوند (نیکوسرشت و همکاران، ۲۰۰۹). گلوتنین با وزن مولکولی بالا توسط ژن‌های واقع در مکان‌های *Glu*-D1، *Glu*-B1 و *Glu*-A1 که به ترتیب روی بازوی بلند کروموزوم‌های 1D، 1B و 1A قرار دارند رمز می‌شوند (Izadi Darbandi and Yazdi Samadi, 2012). آلل‌های هریک از این مکان‌های ژنی ارزش و امتیاز کیفی خاصی در بهبود کیفیت نهایی دارد، به نحوی که آلل‌های *۲، ۱۸+۱۷ و ۱۰+۵ بیشترین امتیاز و بالاترین کیفیت را در بین مکان‌های ژنی هم‌گروه خود دارند (Ranjbar *et al.*, 2006). تنوع در انواع گلوتنین‌های ذخیره شده در ساختمان آندوسپرم با تغییرات کیفیت مرتبط بوده و در تشخیص قوی یا ضعیف بودن کیفیت نانوایی به کار می‌رود اما این تنوع ژنتیکی وقتی آشکار می‌شود که شرایط بروز ژنوتیپ مهیا باشد. یکی از این شرایط کافی بودن مقدار و کمیت پروتئین در دانه است که عامل ایجاد خاصیت منحصر به فرد چسبندگی و کشسانی گلوتن به شمار می‌روند (شان و همکاران، ۲۰۰۳). مک ریچی (MacRitchie, 1990) نشان داد که امتیاز مکان *Glu*-1 سهم مهمی (۷۰-۵۰ درصد) از تغییرات در کیفیت نانوایی گندم‌های بسیاری از کشورها را توجیه می‌کند. با وجود این، کیفیت نان تنها با زیر واحدهای گلوتنین با وزن مولکولی زیاد تعیین نمی‌شود. گری بوش و همکاران (Graybosch *et al.*, 1993) دریافتند که لاین‌های با ترکیبات نامطلوب زیر واحدهای گلوتنین با وزن مولکولی زیاد معمولاً از نظر کیفیت ضعیف هستند، ولی وجود ترکیبات مطلوب این زیر واحدها نیز کیفیت قابل قبولی را تضمین نمی‌کند. مهم‌ترین ویژگی مرتبط با کیفیت گندم شامل وزن حجمی، سختی دانه و محتوای گلوتن هستند. وزن حجمی جزو عوامل فیزیکی و سایر صفات جزو عوامل شیمیایی دانه محسوب می‌شوند (Gupta *et al.*, 1991). در زمینه بررسی ویژگی‌های مرتبط با کیفیت نانوایی و اثر زیر واحدهای گلوتنین سنگین بر کیفیت ارقام و لاین‌های گندم

نـان مطالعـات زیـادی انجـام شـده اسـت (Mottaghi *et al.*, 2009؛ Haghparast *et al.*, 2009؛ Nabovvati *et al.*, 2010؛ Akbari Rad *et al.*, 2010). نجفیـان و همکـاران (Najafian *et al.*, 2008) در آزمایـشی بـا اسـتفاده از صـفت حجـم رسـوب SDS، ۶۷ رقـم گنـدم نـان و دوروم ایرانـی را ارزیـابی و دسـته‌بنـدی کردنـد و عـلاوه بـر ایـن صـفت، میـزان گلـوتنین سـنگین آن‌هـا را نیـز گزارش کردند و با مـشخص شـدن دو گـروه بـا کیفیت خوب و متوسط، گروه متوسط برای تهیه نان‌های پهن و گروه خوب بـرای بهبـود کیفیـت ارقام ضعیف و نیز تهیه نان‌های حجمـی پیـشنهاد شـدند. ارزانـی (Arzani, 2002) در مطالعـه کیفیـت دانـه ۳۰۰ ژنوتیـپ گنـدم دوروم و انـدازه‌گیـری صـفات سـختی دانـه، محتـوای پروتئین، ارتفاع رسوب SDS و محتوای گلـوتن تر و خشک، تنـوع ژنتیکـی قابـل ملاحظـه‌ای را گـزارش کـرد. پیـرایش‌فـر و همکـاران (Pirayeshfar *et al.*, 2006) با بررسی کیفیـت گنـدم‌هـای تولیـد داخـل بـا نمونـه‌گیـری از اسـتان‌هـای مختلـف کـشور نـشان دادنـد کـه ۶۶ درصـد گنـدم تولیـد شـده کیفیـت خـوب، ۳۳ درصـد کیفیـت متوسـط و ۱/۵ درصـد از کیفیـت ضـعیف برخـوردار هـستند. امـروزه بـه خوبی مشخص شده است کـه تنـوع در میـزان و نوع پروتئین‌های ذخیره دانه مسئول تفـاوت‌هـای موجود در ارقام مختلـف گنـدم‌هـای تجـارتی از نظر کیفیت و خـواص غـذایی آرد اسـت کـه بـا ایجاد روش ارزیابی کیفیت براساس تعیین امتیـاز برای هر یک از آلل‌ها در مکان‌هـای ژنـی فـوق الـذکر، امکـان تعیـین ارزش کیفـی هـر رقـم بـر اسـاس ترکیبـات آللـی ایـن زیـر واحـدها و همچنـین عوامـل خـارجی مـوثر بـر ترکیـب آن‌ها فراهم شـده اسـت. نـشاسته نیـز در سـاختار نهـایی آرد گنـدم و اثـر کیفـی آن تـاثیر دارد (Najafian and Baghaie, 2011). هـدف از اجرای این تحقیق تعیین زیرواحـدهای گلـوتنین سنگین در سه مکـان ژنـی *Glu*-D1، *Glu*-B1 و *Glu*-A1 در ۳۲ ژنوتیپ گندم نان در برنامه‌هـای به‌نژادی و اندازه‌گیری صفات مرتبط با کیفیـت، و تعیـین رابطـه موجـود میـان ایـن صـفات و زیرواحدهای گلوتنین و شناسـایی ژنوتیـپ‌هـای برتر برای استفاده به عنـوان والـدهای بـا کیفیـت مناسب بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ۳۲ رقـم تجاری گنـدم نـان انتخـابی از ۴ اقلـیم کـشور کـه محـصول پژوهش‌های مستمر موسسه تحقیقـات اصـلاح و تهیه نهال و بذر کرج هستند، استفاده شـد. ارقـام با روش الکتروفورز SDS-PAGE از نظر تنـوع آللـی مکـان‌هـای ژنـی *Glu*-A1، *Glu*-B1 و *Glu*-D1 بررسـی شـدند. در ایـن بررسـی از روش اسـتخراج (Singh *et al.*, 1991) بـه‌همـراه تغییـرات اعمـال شـده (Izadi Darbandi *et al.*, 2010) استفاده شـد

که در آن از ژل‌های شیب غلظت (۱۲/۵-۸/۱ درصد پلی اکریل آمید) استفاده شد. برای دقت در تشخیص زیر واحدهای گلوتنین، الگوی الکتروفورزی ارقام گندم چهار بار (چهار بذر از هر رقم) تکرار شد. نامگذاری HMW-Gs با مدل جهانی پین و لاورنس (Payne and Lawrence, 1983) انجام شد. درارقام مورد مطالعه صفات کمی شامل وزن هزار دانه و درصد سن زدگی و صفات کیفی شامل میزان پروتئین، حجم رسوب زلنی، حجم نان، سختی دانه، عدد فالینگ، حجم رسوب با SDS، میزان گلوتن تر، شاخص گلوتن، میزان جذب آب آرد، بر اساس استانداردهای بین‌المللی (AACC) اندازه‌گیری شدند (Anonymous, 1983). اندازه‌گیری اندیس گلوتن (GI) با فرمول: گلوتن باقی مانده روی تور سانتریفیوژ تقسیم بر کل گلوتن انجام شد. همچنین فاکتورهای محتوای پروتئین (Prot%)، حجم رسوب زلنی (ZEL)، حجم نان (BV: Bread Volume)، رطوبت (MOIST %)، سختی دانه (HI%: Hardness Index) و جذب آب (WA%: Water Absorption) که توسط دستگاه اینفراماتیک ۸۶۰۰ (NIR) قابل محاسبه هستند، آزمون ارتفاع رسوب SDS و محتوای گلوتن سه مرتبه برای هر نمونه تکرار شد و میانگین حاصل به‌عنوان عدد نهایی در نظر گرفته شد تا دقت در انجام آزمایش حفظ شود. وزن هزار دانه مربوط به هر رقم میانگینی از وزن هزار دانه در سه سال متوالی بود. با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SAS آماره‌های توصیفی کمینه، بیشینه، دامنه، میانگین و انحراف معیار صفات مرتبط با کیفیت دانه، ضریب همبستگی، مولفه‌های اصلی و رگرسیون مرحله‌ای انجام شد.

نتایج و بحث

نام، شجره و مشخصات اقلیمی ارقام تجاری گندم نان مورد استفاده در این بررسی در جدول ۱ قابل مشاهده است.

الکتروفورز SDS-PAGE نشان داد که در میان ارقام مورد مطالعه چهار رقم زاگرس، مارون، چناب و سیروان دارای بالاترین کیفیت و رتبه کیفی ۱۰ بودند. ارقام بیات، اروند، نیشابور، گلستان، امید و روشن کیفیت متوسط و رتبه کیفی ۷-۵ داشتند و سایر ارقام با رتبه کیفی ۹-۸ کیفیت بالائی داشتند (جدول ۱ و شکل ۱).

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۲، ارقام مغان۲، بزوستایا، پارسی، زاگرس، گلستان، چناب، نیک نژاد، اترک، مرودشت، کرج۲، خزر۱، ویری‌ناک، رسول و مغان۱ جز ارقامی بودند که درصد پروتئین و حجم رسوب SDS بالایی نیز داشتند. بیشترین درصد پروتئین مربوط به ارقام چناب و کرج ۲ به میزان ۱۳ درصد و پایین‌ترین درصد پروتئین مربوط به ارقام خلیج و امید به میزان ۱۱/۵ و ۱۱/۶ درصد بود. فولر و همکاران (Fowler *et al.*, 1990) گزارش کردند که میزان پروتئین به عنوان متغییری در

جدول ۱- نام، شجره، امتیاز آللی، امتیاز ژنومی و مکان ژنی *Glu*-1 در ارقام گندم نان

Table 1. Name, pedigree, allelic score, genome score and gene loci of bread wheat cultivars

Genotype	رقم	اقلیم Zone	شجره Pedigree	مکان ژنی Gene locus			امتیاز آللی Allelic score	امتیاز ژنوم Genome score
				Glu-A1	*Glu*-B1	*Glu*-D1		
Moghan 2	مغان ۲	I	Choti Lerma	2*	17+18	2+12	3+3+2	8
Bezostaya	بزوستایا	IV	Bezostaya 1	2*	7+9	5+10	3+2+4	9
Parsi	پارسی	III	Dov "s" / Buc "s" // Darab	2*	13+16	5+10	3+2+4	9
Roshan	روشن	III	Landrace	N	7+8	2+12	1+3+2	6
Sabalan	سبلان	IV	908 / FnA12 / 1-32-4382	2*	7+8	2+12	3+3+2	8
Zagross	زاگرس	IV	Tan / Vee "s" // Opata 85	2*	17+18	5+10	3+3+4	10
Maroon	مارون	II	Landrace, Zabol	1	7+8	5+10	3+3+4	10
Pishgam	پیشگام	IV	Barakat / 90 Zhong 87	1	7+9	5+10	3+2+4	9
Golestan	گلستان	I	Alondra “s”	N	7+8	2+12	1+3+2	6
Falat	فلات	II	Seri 82 (Kvz / Buho “s” // Kal / Bb)	1	7+9	5+10	3+2+4	9
Chenab	چناب	II	C-271IND//WILLETDWARF/SONORA-64	2*	17+18	5+10	3+3+4	10
Niknejad	نیک نژاد	III	F13471 / Cow “s”	2*	7+9	5+10	3+2+4	9
Chamran	چمران	II	Attila, (CM85836 -50Y-OM-OY-3M-OY)	2*	7	5+10	3+1+4	8
Neishabur	نیشابور	III	Akbari	N	7+9	5+10	1+2+4	7
Atrak	اترک	II	Kauz “s”	2*	7+9	5+10	3+2+4	9
Marvdasht	مرودشت	III	HD2172 / Bloudan // Azadi	2*	7+8	2+12	3+3+2	8
Karaj 2	کرج ۲	III	Fa / Th-Mt // Omid	N	7+8	5+10	1+3+4	8
Kavir	کویر	IV	Stm / 3/ Kal // V534 / Jit716	N	7+8	5+10	1+3+4	8
Kaveh	کاوه	II	Fta-P1	2*	7+8	2+12	3+3+2	8
Arvand	اروند	I	Rsh(Mt-Ky*My48)	N	7+8	2+12	1+3+2	6
Khazar 1	خزر ۱	I	P4160(F3)*Nr69) LR64	2*	13+16	2+12	3+3+2	8
Bayat	بیات	II	C271 / Wte-Son64 // CIR	N	7+8	2+12	1+3+2	6
Vee/Nac	ویری ناک	II	Vee/nac	2*	17+18	2+12	3+3+2	8
Sefid	سفید	IV	Landrace	2*	7+8	2+12	3+3+2	8
Azar 2	آذر ۲	IV	Sardari derivative	2*	7+8	2+12	3+3+2	8
Rasoul	رسول	I	Veery “S” : Kvz/Buho “S” // Kal/Bb	1	7+9	5+10	3+2+4	9
Mihan	میهن	IV	Barakat / 90 Zhong 87	1	7+9	5+10	3+2+4	9
Sirvan	سیروان	I	PRL/2*PASTOR	2*	17+18	5+10	3+3+4	10
Sardari	سرداری	IV	Landrace	2*	7+8	2+12	3+3+2	8
Khalij	خلیج	II	Landrace, Zabol	2*	7+8	2+12	3+3+2	8
Moqan1	مغان ۱	I	LR-N10B*An3E	2*	7+8	2+12	3+3+2	8
Omid	امید	IV	Landrace	N	7+8	2+12	1+3+2	6

مناطق اقلیمی: I: گرم و مرطوب شمال؛ II: گرم جنوب؛ III: معتدل؛ IV:سرد.

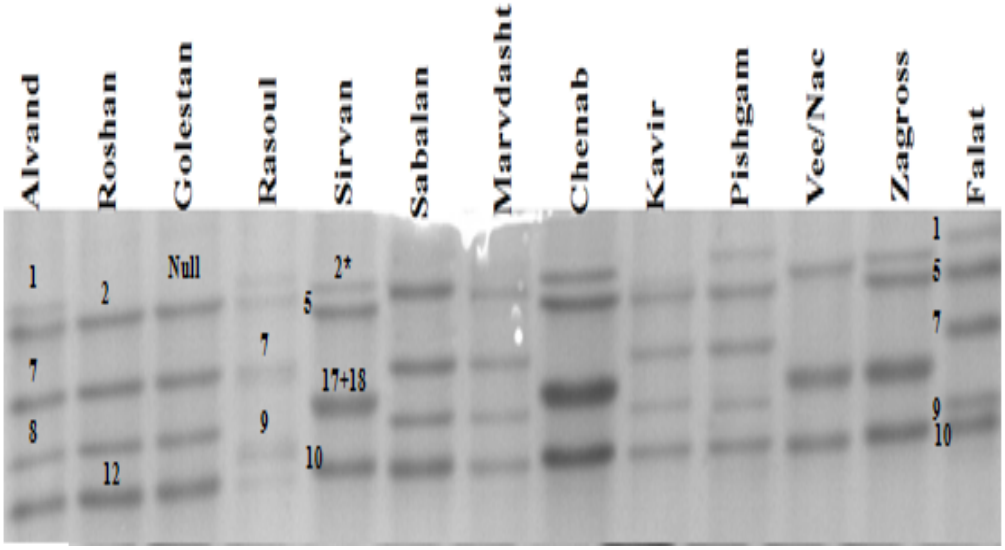
Climatic zones: I: North humid warm; II: South warm; III: Moderate; IV: Cold\

جدول ۲- ویژگی‌های کیفیتی اندازه‌گیری شده برای ارقام گندم نان

Table 2. Quality characteristics analyzed for bread wheat cultivars

رقم Cultivar		وزن هزار دانه 1000 Grain Weight (g)	درصد سن‌زدگی Sunn pest damage (%)	محتوای پروتئین Protein content (%)	درصد رطوبت دانه Grain moisture (%)	عدد زلنی Zeleni no.	حجم نان Bread volume	سختی دانه Grain hardness HI	جذب آب (٪) Water absorbtion %	عدد فالینگ Falling number	درصد گلوتن تر Wet gluten	الاستیسیته گلوتن Gluten elasticity	اندیس گلوتن Gluten index	حجم رسوب SDS
Moghan 2		38	1.0	12.3	9.7	32	513	46	64.2	487	30	S	10	67
Bezostaya		42	0.5	12.9	9.5	35	487	52	65.7	442	37	S	43	69
Parsi		48	1.0	12.8	9.7	35	504	52	65.2	410	28	S	11	68
Roshan		50	0.5	12.0	9.6	34	485	51	66.1	534	32	N	22	65
Sabalan		42	0.5	12.3	10.2	33	570	43	63.3	410	32	S	9	53
Zagross		40	0.5	12.9	9.5	35	485	52	66.7	431	34	S	20	70
Maroon		46	0.0	12.2	9.5	33	445	48	65.2	426	33	S	45	70
Pishgam		46	1.0	12.2	9.5	34	500	54	65.2	410	26	S	15	60
Golestan		42	0.5	12.3	10.4	34	526	48	63.7	370	36	S	30	70
Falat		40	0.5	11.9	10.2	32	482	50	65.4	436	28	S	14	59
Chenab		38	0.5	13.0	9.7	36	473	52	66.2	406	38	N	53	71
Niknejad		36	0.0	12.8	9.6	35	562	43	65.2	317	36	N	53	69
Chamran		42	0.5	11.9	9.5	32	482	48	64.2	423	26	N	16	65
Neishabur		40	0.0	11.6	9.8	32	502	45	63.7	300	28	N	50	58
Atrak		34	0.0	12.9	9.9	36	487	54	65.7	430	36	S	8	70
Marvdasht		36	0.5	12.4	9.7	35	439	54	66.0	327	36	S	8	68
Karaj 2		34	0.0	13.0	10.5	35	521	49	63.7	372	38	S	13	71
Kavir		38	1.0	12.4	9.5	33	458	48	65.0	322	32	S	12	60
Kaveh		36	2.0	12.2	10.1	34	461	49	65.7	382	38	S	31	66
Arvand		42	0.5	12.0	10.4	33	470	43	63.4	370	37	S	32	63
Khazar 1		44	2.5	12.7	9.3	34	456	54	65.9	423	36	S	11	63
Bayat		38	0.5	12.0	10.5	33	485	48	63.5	317	37	N	43	65
Vee/Nac		36	0.5	12.5	9.8	35	462	55	66.2	410	41	N	48	66
Sefid		44	0.0	11.9	9.9	32	535	46	65.0	423	38	N	31	60
Azar 2		46	0.5	11.7	9.8	32	500	45	64.1	364	39	S	54	64
Rasoul		48	2.0	12.6	9.5	34	475	52	65.7	412	35	S	28	70
Mihan		46	1.0	12.2	9.5	34	500	54	65.2	410	26	S	15	60
Sirvan		40	0.0	11.6	9.7	32	502	50	63.2	300	28	N	50	55
Sardari		44	0.0	11.9	9.9	32	535	46	65.0	423	38	N	31	60
Khalij		36	6.0	11.5	9.8	30	506	47	64.8	506	36	S	8	12
Moqan1		34	2.0	12.5	9.5	34	502	54	64.2	326	35	S	28	66
Omid		48	1.0	11.6	9.3	34	502	49	64.5	428	38	S	13	60
Range	دامنه	16.00	6.00	1.50	1.20	6.00	131.00	12.00	3.50	234.00	15.00	-	46.00	59.00
Minimum	کمینه	34.00	0.00	11.50	9.30	30.00	439.00	43.00	63.20	300.00	26.00	-	8.00	12.00
Maximum	بیشینه	50.00	6.00	13.00	10.50	36.00	570.00	55.00	66.70	534.00	41.00	-	54.00	71.00
Mean	میانگین	41.06	0.84	12.27	9.78	33.56	494.12	49.40	64.90	398.34	34.00	-	26.71	62.90
S.D	انحراف معیار	4.65	1.14	0.45	0.33	1.41	30.46	3.62	0.98	57.00	4.35	-	16.03	10.48

"مجله بهنژادی نهال و بذر" جلد ۱-۲۹، شماره ۴، سال ۱۳۹۲



شکل ۱- الگوی الکتروفورزی زیر واحدهای گلوتنین سنگین با روش SDS-PAGE برای تعدادی از ارقام در کنار ارقام شاهد فلات، الوند و سیروان

Fig. 1. Electrophoresis pattern of high molecular weight glutenin subunits resulting from SDS-PAGE method in several sampled cultivars as compared to check cultivars: Falat, Alvand and Sirvan

پیش‌بینی کیفیت نانوایی مطرح است. آن‌ها همچنین میزان پروتئین را به همراه سختی دانه، به عنوان متغییرهای اصلی در پیش‌بینی خواص کیفی نان معرفی کردند. نام بردگان تغییرات میزان پروتئین را به عنوان عامل اصلی در تنوع حجم نان گزارش کردند. از جنبه سختی دانه ارقام ویری‌ناک، خزر۱، میهن، مغان۱، پیشگام، اترک و مرودشت با سختی ۵۵-۵۴ دارای سخت‌ترین دانه و ارقام بزوستایا، پارسی، روشن، زاگرس، فلات، چناب، رسول و سیروان با سختی ۵۲-۵۰ در حد متوسط و سایر ارقام مورد مطالعه با سختی حدود ۴۹-۴۳ حائز نرم‌ترین دانه‌ها بودند که نتایج گزارش شده توسط اکبری‌راد و همکاران (۲۰۱۰) تائیدی بر این موضوع است. آن‌ها اظهار داشتند که سختی دانه در پیش بینی خواص کیفی نان مهم است. با توجه به تحقیق حاضر، ارقامی که سختی دانه بالایی داشتند از کیفیت بهتری برخوردار بودند و سایر صفات مرتبط با کیفیت در آن‌ها در شرایط مطلوبی قرار داشت. حجم رسوب با SDS که از صفات مهم در ارزیابی‌های کیفی است نقش مهمی در قدرت گلوتن داشته و با کیفیت پروتئین مرتبط است. ارقامی که حجم رسوب بالا دارند از نظر کیفیت نانوایی مطلوب بوده و دارای استحکام گلوتن بیشتر هستند و می‌توان بدون توجه به عملکرد دانه، در پیش بینی بهبود کیفیت نانوایی از آن‌ها استفاده کرد (نجفیان و همکاران، ۲۰۰۸).

ضریب همبستگی ساده به منظور بررسی روابط بین صفات مرتبط با کیفیت دانه و آلل‌های گلوتنین با وزن مولکولی بالا بررسی شد (جدول۳). بر اساس این همبستگی عدد زلنی و درصد محتوای پروتئین دانه بیشترین ضریب همبستگی (r =۰/۸۳) را به خود اختصاص دادند. محتوای پروتئین علاوه بر همبستگی مثبت و معنی‌داری که با زیر واحد ۵+۱۰ (r =۰/۳۵) داشت، همبستگی معنی‌دار منفی با زیر واحد ۲+۱۲ (r = -۰/۳۵) نیز نشان داد. همچنین محتوای پروتئین دارای همبستگی معنی‌داری با حجم رسوب SDS (r =۰/۵۸)، درصد جذب آب (r =۰/۴۷) و سختی دانه (r =۰/۴۳) بود. عدد زلنی نیز همانند محتوای پروتئین همبستگی معنی‌داری را با حجم رسوب SDS (r =۰/۶۷)، درصد جذب آب (r =۰/۵۰) و سختی دانه (r =۰/۵۷) نشان داد با این تفاوت که این صفت هیچ نوع همبستگی با زیر واحدهای گلوتنین نداشت. در مورد همبستگی بین حجم رسوب SDS و محتوای پروتئین دانه گزارش های مختلفی وجود دارد به طوری که در برخی گزارش‌ها همبستگی میان دو صفت مشاهده نشده است (Pena *et al.*, 1994) و برخی گزارش‌ها نیز بر وجود همبستگی بین این دو صفت تاکید دارد (Kovacs *et al.*, 1994). نتایج همبستگی ساده صفت ارتفاع رسوب با زیر واحدهای گلوتنین با وزن مولکولی سنگین (جدول۳) نشان داد که آلل‌های *۲، ۱۸+۱۷ و ۵+۱۰ همبستگی مثبت و معنی داری با صفت ارتفاع رسوب دارند. با توجه به نتایج حاصل از

جدول ۳- ضریب همبستگی بین زیر واحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا و صفات مرتبط با کیفیت دانه

Table 3. Correlation coefficients between HMW-Gs and grain quality characteristics in wheat cultivars

	2*	1	Null	7+8	7+9	7	17+18	13+16	5+10	2+12	T.K.W	S.D %	PROT%	MOIST %	ZEL	B.V	HI	WA%	FN.	W.GLUT	GLUT.I
T.K.W	-0.24	0.38*	0.05	-0.013	0.05	0.03	-0.25	0.27	0.01	-0.01											
S.D %	0.20	0.02	-0.17	0.11	-0.11	-0.05	-0.13	0.20	-0.27	0.27	-0.09										
PROT%	0.27	-0.05	-0.20	-0.34	0.15	-0.15	0.18	0.27	0.35*	-0.35*	-0.27	-0.16									
MOIST%	-0.25	-0.18	0.37*	0.39	-0.16	-0.15	-0.13	-0.21	-0.26	0.26	-0.33	-0.18	-0.08								
ZEL.	0.08	-0.05	-0.02	-0.26	0.18	-0.20	0.13	0.17	0.26	-0.26	-0.13	-0.31	0.83**	-0.12							
B.V.	0.11	-0.19	-0.009	0.070	0.10	-0.07	-0.10	-0.12	-0.08	0.08	0.02	-0.12	-0.09	0.25	-0.19						
HI	0.10	0.26	-0.28	-0.39*	0.17	-0.07	0.19	0.25	0.21	-0.21	-0.01	0.12	0.43*	-0.41*	0.57**	-0.52**					
WA %	0.28	0.19	-0.41*	-0.33	0.19	-0.13	0.17	0.17	0.18	-0.18	0.06	0.11	0.47**	-0.49**	0.50**	-0.45**	0.61**				
F.N.	0.097	0.15	-0.22	-0.08	-0.03	0.07	0.06	0.08	-0.14	0.14	0.36*	0.32	-0.0007	-0.20	-0.08	-0.007	0.14	0.41*			
W.GLUT	0.25	-0.44*	-0.10	0.45**	-0.33	-0.33	0.02	-0.12	-0.51**	0.51**	-0.28	0.06	0.21	0.25	0.25	-0.05	-0.07	0.16	-0.02		
GLUT.I	0.067	-0.09	0.005	-0.12	0.05	-0.12	0.25	-0.25	0.07	-0.07	-0.029	-0.35*	-0.08	0.06	0.01	0.007	-0.20	-0.09	-0.41*	0.3	
SDS	0.26**	0.03	-0.32*	0.84	0.08	0.03	0.22**	0.06	0.31**	-0.23*	0.06	-0.71**	0.58**	0.01	0.67**	-0.19	0.24	0.21	-0.23	0.10	0.23

* و **: به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

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

TKW: وزن هزار دانه؛ S.D.%: درصد سن‌زدگی؛ PROT%: درصد پروتئین؛ MOIST%: درصد رطوبت دانه؛ Zel: عدد زلنی؛ B.V.: حجم نان؛ HI: سختی دانه؛ WA%: درصد جذب آب؛ F.N.: عدد فالینگ؛ W.GLUT: درصد گلوتن تر؛ GLUT.I: اندیس گلوتن؛ SDS: حجم رسوب.

TKW: 1000 Grain weight; SD%: Sunn pest damage; PROT%: Protein content (%); MOIST %: Moisture%; ZEL: Zeleni No.; B.V.: Bread Volume; HI: Grain hardness; WA%: Water absorbtion (%); F. N.: Falling number; W. GLUT: Wet gluten; GLUT. I: Gluten index; SDS: Sedimentation volume.

آزمون ارتفاع رسوب SDS، آلل‌های *۲ از مکان ژنی *Glu*-A1، ۱۰+۵ از مکان ژنی *Glu*-D1 و ۱۸+۱۷ از مکان ژنی *Glu*-B1 روی ارتفاع رسوب بیشترین تاثیر را داشتند به طوری که وجود این آلل‌ها باعث افزایش ارتفاع رسوب SDS شد. آلل‌های نول و ۱۲+۲ همبستگی منفی و معنی‌داری را با صفت رسوب SDS نشان دادند که این نتایج با نتایج صادق‌زاده و همکاران (Sadeghzadeh *et al*., 2002) مطابقت دارد. با توجه به نتایج جدول همبستگی، زیر واحد ۱۸+۱۷ فقط با صفت حجم رسوب SDS همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد و با سایر صفت همبستگی نداشت. زیر واحد ۷ و ۱۶+۱۳ نیز هیچ همبستگی معنی‌داری با صفات و سایر زیر واحدهای مورد بررسی نشان ندادند. صفت اندیس گلوتن به جز با عدد فالینگ با سایر صفات همبستگی معنی‌داری نداشت که نشان‌دهنده این است که این زیر واحدها اثر زیادی روی صفات کیفی و سایر زیر واحدها ندارند. البته اگر تعداد ارقام بیشتر می‌شد احتمالاً بعضی از صفات و زیر واحدهای دیگر همبستگی خود را با این صفت و زیر واحدها آشکار می‌ساختند. همان طور که در بالا اشاره شد محتوای پروتئین دانه با دیگر صفات مرتبط با کیفیت دانه ارزیابی شده در این آزمایش، همبستگی معنی‌داری نشان داد به طوری که با صفات رسوب زلنی، سختی دانه، درصد جذب آب، درصد رسوب SDS همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت که این نتایج با بررسی‌های انجام شده توسط ایرانی (Irani, 2000) نیزمطابقت دارد.

به منظور تعیین سهم هر صفت در تنوع و کاهش تعداد متغییرهای اصلی، تجزیه به مولفه‌های اصلی روی ۳۲ رقم گزینش شده انجام شد. مقادیر ریشه‌های مشخصه، نسبت واریانس توجیه شده توسط هر مولفه و کل واریانس توجیه شده در جدول۴ آورده شده است. بر اساس تجزیه انجام شده، چهار مولفه نخست با مقادیر ویژه بیشتر از یک، ۷۳/۴ درصد از کل واریانس را در بین ارقام گندم نان مورد مطالعه برای دوازده صفت کیفی تبیین کردند که مولفه‌های اصلی اول تا چهارم به ترتیب ۲۸/۹، ۲۱/۵، ۱۳/۱ و ۹/۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند و با توجه به این که منشا ارقام گندم نان مورد مطالعه متفاوت است تنوع ژنتیکی ارقام مورد مطالعه زیاد است. از اهداف این تجزیه این است که صفت کیفی مورد بررسی را در قالب چند مولفه‌اصلی خلاصه کرده و نقش این صفات را در تبیین تنوع کل بیان کند. در مولفه اول که بیشترین میزان تغییرات را توجیه می‌کرد، صفات درصد پروتئین، عدد زلنی، سختی دانه، درصد جذب آب و حجم رسوب SDS در جهت مثبت و صفات حجم نان، درصد رطوبت دانه و درصد سن زدگی در جهت منفی بیشترین سهم را در توجیه تنوع داشتند. در مولفه دوم بالاترین سهم متعلق به صفات درصد رطوبت دانه، اندیس

جدول ۴- نتایج مربوط به تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات مختلف کیفیتی ارقام گندم نان

Table 4. The results of principal component analysis for different quality traits of bread wheat varieties

Characteristics	صفات	بردارهای ویژه Particular vectors				همبستگی متغیرها با مولفه‌ها Correlation of variables with components			
		مولفه اول PC1	مولفه دوم PC2	مولفه سوم PC3	مولفه چهارم PC4	مولفه اول PC1	مولفه دوم PC2	مولفه سوم PC3	مولفه چهارم PC4
T.K.W	وزن هزار دانه	-0.033	-0.211	-0.607	-0.011	-0.062	-0.340	-0.761**	-0.012
S.D%	درصد سن‌زدگی	-0.111	-0.434	0.435	-0.109	-0.207	-0.699**	0.546**	-0.118
PROT%	محتوای پروتئین	0.430	0.129	0.166	0.332	0.801**	0.208	0.208	0.361*
MOIST%	درصد رطوبت	-0.197	0.338	0.297	0.259	-0.367*	0.543**	0.372*	0.282
ZEL.	عدد زلنی	0.474	0.162	0.047	0.185	0.884**	0.260	0.059	0.201
B.V.	حجم نان	-0.259	0.162	-0.052	0.539	-0.482**	0.261	-0.065	0.586**
HI	سختی داته	0.405	-0.226	0.034	-0.076	0.754**	-0.364*	0.043	-0.083
WA%	درصد جذب آب	0.407	-0.257	0.053	-0.119	0.758**	-0.414*	0.066	-0.129
F.N.	عدد فالینگ	0.039	-0.429	-0.021	0.292	0.074	-0.690**	-0.027	0.318
W. GLUT	گلوتن تر	0.100	0.192	0.467	-0.209	0.186	0.309	0.586**	-0.227
GLUT. I	اندیس گلوتن	-0.018	0.357	-0.107	-0.574	-0.034	0.574**	-0.135	-0.625**
SDS	حجم رسوب	0.357	0.340	-0.292	0.072	0.666**	0.546**	-0.366*	0.078
Eigen value	مقادیر ویژه	3.46	2.58	1.57	1.18				
Variance%	درصد واریانس	28.90	21.50	13.10	9.80				
Cumulative variance%	واریانس تجمعی	28.90	50.40	63.50	73.40				

ns، * و ** : به‌ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.
For abbreviated characteristics see Table 3.

گلوتن و حجم رسوب SDS در جهت مثبت و صفات درصد سن‌زدگی و عدد فالینگ در جهت منفی بود. در مولفه سوم صفات در صد سن زدگی و درصد گلوتن تر به صورت مثبت و وزن هزار دانه در جهت منفی بیشتر از سایر صفات در تبیین تغییرات سهیم بودند و در نهایت در مولفه چهارم، صفات حجم نان و درصد پروتئین در جهت مثبت و اندیس گلوتن در جهت منفی بالاترین مقادیر از تنوع داده‌ها را توجیه کردند. بر پایه همبستگی میان متغیرها و مولفه‌ها، مولفه اصلی اول درصد پروتئین، عدد زلنی، سختی دانه، درصد جذب آب و حجم رسوب SDS را با صفات درصد رطوبت دانه و حجم نان مقایسه می‌کرد. مولفه اصلی دوم درصد رطوبت دانه، اندیس گلوتن و حجم رسوب SDS را بادرصد سن زدگی، سختی دانه، درصد جذب آب و عدد فالینگ، مولفه اصلی سوم درصد سن زدگی، درصد رطوبت دانه و در صد گلوتن تر را با وزن هزار دانه و حجم رسوب SDS و سرانجام مولفه اصلی چهارم درصد پروتئین و حجم نان را با اندیس گلوتن مقایسه کرد. از سوی دیگر، صفات حجم رسوب SDS و درصد رطوبت دانه در سه مولفه اصلی شرکت داشتند که این موضوع بیانگر اهمیت بسیار بالای این صفات در توجیه تغییرات داده‌ها بود و صفاتی از جمله درصد سن زدگی، درصد پروتئین، حجم نان، سختی دانه، درصد جذب آب و اندیس گلوتن در دو مولفه اصلی شرکت داشتند و اهمیت بالایی نسبت به سایر صفات از جمله وزن هزار دانه، عدد زلنی، عدد فالینگ و درصد گلوتن تر را دارا بودند. از میان این صفات کیفی تنها صفت درصد رطوبت دانه تقریبا در در دو مولفه دارای ضریب هم نشان بودند. این موضوع نشان می‌دهد که این صفت برای توجیه تغییرات کیفیت ارقام مولفه مهمی به حساب می‌آید. ولی نکته مهم اینجاست که این صفت در دو مولفه از مولفه‌ای که در آن شرکت داشت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. می‌توان گفت که صفات درصد سن زدگی، حجم نان، اندیس گلوتن و درصد رسوب SDS باید مهم‌تر از سایر صفات باشند زیرا همبستگی آن‌ها در هر دو مولفه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود.

برای شناسایی صفات کیفی که بیشترین مقدار از تغییرات رسوب SDS را تبیین می‌کنند، تجزیه رگرسیون مرحله‌ای به کار رفت (جدول ۵). در این مدل مشخص شد که صفات سن زدگی، عدد زلنی، محتوای پروتئین و وزن هزار دانه از جمله صفاتی بودند که بخش عمده‌ای از تغییرات مربوط به تغییر ارتفاع رسوب SDS را به خود اختصاص دادند و ضریب تبیین یا تشخیص مدل ۷۶/۸ درصد بود. صفت کیفی درصد سن زدگی نخستین متغیری بود که وارد مدل شد، و ۵۰/۹ درصد از تغییرات مقدار رسوب را توجیه کرد و از اهمیت بیشتری برخوردار بود. در این مورد ارقامی که درصد سن زدگی بالاتری داشتند، تغییر ارتفاع رسوب SDS را بیشتر تحت تاثیر قرار دادند. با وارد

جدول ۵- نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای صفت حجم رسوب SDS برای گندم نان
Table 5. The result of stepwise regression for sedimentation volume trait

صفات کیفی اضافه شده به مدل		عرض از مبدا	ضرایب رگرسیون				ضریب تشخیص جزء	ضریب تشخیص مدل
			b1	b2	b3	b4		
S.D%	درصد سن‌زدگی	68.41	-6.53				0.509	0.509
ZEL.	عدد زلنی	-56.75	-5.10	3.69			0.223	0.732
PROT%	محتوای پروتئین	-74.52	-5.36	2.04	5.97		0.019	0.752
T.K.W	وزن هزار دانه	-97.65	-5.24	1.78	7.54	0.30	0.015	0.768
F	مقدار F جزء در مدل نهایی		31.14**	24.23**	2.24	1.83		

**: معنی دار در سطح احتمال ۱٪. **: significant at 1% probability level, respectively .

شدن صفت کیفی عدد زلنی به مدل در مجموع ۷۳/۲ درصد از تغییرات متغیر تابع توجیه شد. در مراحل بعد صفت درصد پروتئین و وزن هزار دانه به مدل افزوده شدند و به ترتیب ۱/۹ و ۱/۵ درصد از تغییرات حجم رسوب SDS را توجیه کردند. ضرایب رگرسیونی موجود در واقع ضرایب رگرسیونی جزء هستند و در واقع نقش متغییر را پس از در نظر گرفتن نقش متغییرهای دیگر نشان می‌دهد. این نتیجه با نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی هماهنگی داشت. همچنین می‌توان از ژنوتیپ‌هایی که در بعضی از صفات ارزش بالاتر از میانگین داشتند جهت بالا بردن ارزش آن صفت در سایر ژنوتیپ‌ها استفاده کرد (Rashidi *et al*., 2007). نتایج این آزمایش گروه بندی مطلوبی از ارقام در ارتباط با خصوصیات کیفی مرتبط با ویژگی‌های نانوایی نشان داد. این نتایج می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی کیفیت و معرفی ارقامی که کیفیت نانوایی مطلوبی دارند، به کشاورزان و کارشناسان کشور کمک کند.

References

Akbari Rad, M., Najafian, G., Esmailzadeh Moghadam, M., and Khodarahmi, M. 2010. Study of genetic variation in baking quality related characteristics in bread wheat advanced lines and commercial cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 12: 213-226 (in Persian).

Anonymous, 1983. Approved methods of the AACC, Method No.39-11-01, 39-25-01, 38-12-02 and 56-70-01. American Association of Cereal Chemists (AACC). St. Paul, Minnesota, USA.

Anonymous 2012. Agriculture Statistical Newsletter. Jihad-e-Agriculture Ministry, Tehran, Iran (in Persian).

Arzani, A. 2002. Grain quality of durum wheat germplasm as affected by heat and drought stress at grain filling period. Wheat Imformation Service 94: 9-14.

Fowler, D. B., Brydon J., and Delaroche, I. A. 1990. Environmental and genotype influence on grain protein concentration of wheat and rye. Agronomy Journal 82: 655-664.

Graybosch, R. A., Peterson, C. J., Hansen, L. E., Worral, D., Shelton, D. R., and Lukaszewski, A. 1993. Comparative flour quality and protein characteristics of 1BL/1RS and 1AL/1RS wheat – rye translocation lines. Journal of Cereal Science 17: 95-106.

Gupta, R. B., Bekes, F., and Wrigley, C. W. 1991. Predication of physical dough properties from glutenin subunit composition in bread wheats: Correlation studies. Cereal Chemistry 68: 328-333.

Haghparast, R., Rajabi, R., Najafian, G., Rashmeh Karim, K., and Aghaee Sarbarzeh, M. 2009. Evaluation of indices related to grain quality in advanced bread wheat genotypes under rainfed conditions. Seed and Plant Improvement Journal 25-1: 315-328 (in Persian).

Irani, P. 2000. Pasta quality traits of some durum wheat varieties. Journal of Agricultural Science and Technology 2: 143-148.

Izadi Darbandi, A., and Yazdi Samadi., B. 2012. Marker-assisted selection of high molecular weight glutenin alleles related to bread-making quality in Iranian common wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Genetics 91: 193-198.

Izadi Darbandi, A., Yazdi Samadi, B., Shanejat Boushehri, A. A., and Mohammadi, M. 2010. Allelic variations in *Glu*-1 and *Glu*-3 loci of historical and modern Iranian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Journal of Genetics 89: 193-199.

Kovacs, M. I. P., Dahlke, G., and Noll, J. S. 1994. Gluten viscoelastictiy: its usefulness in the Canadian durum wheat breeding program. Journal of Cereal Science 19: 251-257.

MacRitchie, F. 1987. Evaluation of contributions from wheat protein fractions to dough mixing and breadmaking. Journal of Cereal Science 6: 259-268.

Mottaghi, M., Najafian, G., and Bihamta, M. R. 2009. Effect of terminal drought stress on grain yield and baking quality of hexaploid wheat genotypes. Iranian

Journal of Crop Sciences 11: 290-306 (in Persian).

Nabovvati, S., Aghaee Sarbarzeh, M., Choukan, R., Ghanavati, F., and Najafian, G. 2010. Genetic variation in agronomic characteristics and grain quality traits of durum wheat genotypes. Seed and Plant Improvement Journal 26-1: 331-350 (in Persian).

Najafian, G., and Baghaie, N. 2011. Genetic variation in high molecular weight glutenin subunits in parental lines and cultivars of wheat used in breeding programs of cold and temperate agro-climatic zones of Iran. Seed and Plant Improvement Journal 27-1: 305-322 (in Persian).

Najafian, G., Bahraie, S., Baghaie, N., Mortezagholi, M., and Babaie-Goli, E. 2008. Bread making quality attributes of Iranian commericial cultivars of wheat and their HMW glutenin subunits composition. Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium, 24-29 Aug., Brisbane, Australia. p. 241.

Nikooseresht, R., Najafian, G., Mirfakhrai, R. GH., and Dehghani, H. 2009. Evaluation of bread making quality of wheat using SDS sedimentation volume and high molecular weight glutenin subunits. Seed and Plant Improvement Journal 25-1: 373-383 (in Persian).

Payne, P. I., and Lawrence, G. J. 1983. Catalogue of alleles for the complex loci, *Glu*-A1, *Glu*-B1 and *Glu*-D1 which code for HMW subunits of glutenin hexaploid wheat. Cereal Research Communications 11: 29-35.

Pena, R., Zarco-Hernandez, J., Amaya-Celis, A., and Mujeeb-Kazi, A. 1994. Relationships between chromosome 1B-encoded glutenin subunit compositions and bread making quality characteristics of some durum wheat cultivars. Journal of Cereal Science 19: 243-249.

Pirayeshfar, B., Jalal Kamali, M. R., Najafian, G., Keshvarz, A., Nourinia, A., and Lotfinejad, L. 2006. The quality of bread wheats produced in Iran during 2003-04 cropping season. Proceedings of the 9th Iranian Congress of Crop Sciences, University of Tehran, Abureyhan Campus, Pakdasht, Iran (in Persian).

Ranjbar, G. A., Hollamby, G. J., and Shepherd, K. W. 2006. Segregation patterns of known major genes in the doubled haploid population derived from (Trident × Molineux) wheat F_1 × maize crosses I. determination of endosperm protein phenotypes. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 12: 174-181.

Rashidi, V., Majidi Heravan, E., Mohammadi, S. A., and Moghaddam-Vahed, M. 2007. Determination of genetic relationship in durum wheat lines by cluster analysis and identification of morphological main characters in each groups. Iranian Journal of Agricultural Sciences 13: 439-449 (in Persian).

Sadeghzadeh, B., Ghannadha, M. R., Ahmadian Tehrani, P., Abdmishani S., and Seied Tabatabaei, B. E. 2002. Determination of relationship between HMW-GS and wheat baking quality through Electrophoresis. Iranian Journal of Agricultural Sciences 33: 535-542 (in Persian)

Shan, X., Clayshulte, S. R., Haley, S. D., and Byrne, P. F. 2003. Variation for glutenin and waxy alleles in the US hard winter wheat germplasm. Journal of Cereal Science 37: 129–137.

Singh, N. K., Sheperd, K. W., and Cornish, G. B. 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. Journal of Cereal Science 14: 203-208.