

Makarnalık kalitesini etkileyen genlerin Türk makarnalık buğday çeşitlerindeki durumu*

Ahmet YILDIRIM^{a,*} Abdulvahit SAYASLAN^b Nejdet KANDEMİR^a
Tuğba ESERKAYA^a Mehmet KOYUNCU^b Özlem ATEŞ SÖNMEZOĞLU^a

^a Gaziosmanpaşa Ü, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Böl., Moleküler Biyoteknoloji Lab, Tokat, Türkiye

^b Gaziosmanpaşa Ü, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye

The situation of the genes affecting the durum quality in Turkish durum wheat varieties.

SUMMARY

This study was carried out to determine the presence or absence of pasta-quality associated γ -gliadin 45 and LMW-2 glutenins in 27 Turkish durum wheat cultivars obtained from different regions of Turkey. Kyle which is the most commonly grown cultivar of Canada was used as control. Five seeds from each cultivar were divided into two halves and one half was used for protein electrophoresis and the other half including embryo was germinated and used for DNA screening. For this purposes 12 SSR, one STS and two GAG primers linked to *Gli-B1* and *Glu-B3* loci were used. Polymorphism relations of all cultivars with Kyle were determined based on the PCR reactions. Additionally, the gliadins and LMW-glutenins in the durum wheat cultivars were separated and identified using the A-PAGE and SDS-PAGE, respectively. Based on the results of DNA markers, A-PAGE and SDS-PAGE screenings, 13 durum wheat cultivars out of 27 had the γ -gliadin 45 and LMW-2 type glutenins. On the other hand, it was noticeable that commonly grown Turkish durum wheat cultivars Sarıçanak-98, Kızıltan-91, Selçuklu-97 and Çeşit-1252 had the γ -gliadin 42 and LMW-1 type glutenins which are related to inferior pasta quality.

KEY WORDS: Durum wheat, pasta quality, γ -Gliadin 45, LMW glutenin

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan 27 adet tescilli makarnalık buğday çeşidinde LMW-2 glutenin ve γ -gliadin 45'in varlığı bakımından taranması amacıyla yürütülmüştür. Kontrol bitkisi olarak Kanada'nın en fazla yetiştirilen makarnalık buğday çeşidi olan Kyle kullanılmıştır. Araştırmada tescilli makarnalık buğday çeşitlerinden ve kontrol olarak kullanılan Kyle'den 5'er tohum alınarak embriyo ve endospermleri ayrılmıştır. Embriyolardan izole edilen DNA'lar 1B kromozomu kısa kolunun terminal kısmına haritalanmış ve makarna kalitesi için önemli olan, gluten kuvvetini sağlayan LMW-2 glutenin ve γ -gliadin 45'i içeren *Glu-B3* ve *Gli-B1* lokuslarının varlığı açısından taranmıştır. Bu amaçla bu iki QTL lokusuyla bağlantılı olan toplam 12 adet mikrosatelit (SSR) markörü kullanılmıştır. Tüm genotiplerin Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) ile üretilen bantlar arasındaki polimorfizm ilişkileri saptanmıştır. Ayrıca γ -gliadin 45'e spesifik olan bir adet STS ve iki adet GAG primeri de bu allelin saptanması amacıyla kullanılmıştır. Buna ek olarak, tüm çeşitlerin endospermleri ekstrakte edilerek, LMW-2 glutenin ve γ -gliadin 45'e sahip olanları belirlemek için SDS-PAGE ve A-PAGE yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, markör taramaları ile SDS-PAGE ve A-PAGE taramaları karşılaştırılarak LMW-2 glutenin ve γ -gliadin 45'e sahip çeşitler belirlenmiştir. 27 adet tescilli makarnalık buğday çeşidinden 13 tanesinin hem γ -gliadin 45'i hem de LMW-2 glutenini taşıdığı saptanmıştır. Ancak Türkiye'de yaygın olarak ekilen makarnalık buğday çeşitlerinden Sarıçanak, Kızıltan-91, Selçuklu-97 ve Çeşit-1252'nin düşük kalite ile ilişkili γ -gliadin 42 ve LMW-1 glutenin allellere sahip oluşları dikkat çekicidir.

ANAHTAR KELİMELER: Makarnalık buğday, makarna kalitesi, γ -Gliadin 45, LMW glutenin

*E-posta: ahmety55@gmail.com; ahmety55@kmu.edu.tr

Bu makale 2–5 Haziran 2008 tarihinde Ülkesel Tahıl Sempozyumu'nda sunulmuş ve Ülkesel Tahıl Sempozyumu kitabı sayfa 381–389'da yayınlanmıştır.

*Bu çalışma Avrupa Birliği COST-FA0604 Aksiyonu çerçevesinde TÜBİTAK tarafından TBAG-107O004 proje numarası ile desteklenmektedir.

GİRİŞ

Makarnalık buğday Türkiye açısından gerek gıda kaynağı olarak ve gerekse ekonomik açıdan oldukça önemli bir bitkidir. Türkiye, ekolojik bakımdan makarnalık buğday yetiştiriciliği için oldukça uygun olmasına rağmen, makarna üreticileri her yıl dışarıdan makarnalık buğday ithal etmektedir. Bunun en önemli nedeni, ülkemizde makarna sanayisinin istediği kalitede ürünün yeterli miktarda üretilmemesidir. Bu nedenle makarnalık buğday çeşitlerimizin kalite genleri bakımından iyileştirilmeleri gerekmektedir. Bu amaçla çeşitlerimizin kalite özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Makarnalık buğdaydan elde edilen son ürünlerin kalitesi tanenin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi ile doğrudan ilgilidir. Tane kalitesi, çevre faktörleri ve yetiştirme koşullarının etkisi yanında çeşidin genotipik özellikleri tarafından kontrol edilir. Makarnalık buğdayda kalite kriterleri genel olarak tanenin camsılık oranı, irmik kalitesi, makarna pişme kalitesi, hektolitreye ağırlığı, pigment miktarı, protein miktarı, gluten kuvveti ve oksidatif enzim aktiviteleridir (Clarke ve ark. 1998). Bu kalite kriterlerinden en önemlileri ise protein miktarı, gluten kuvveti, pigment miktarı ve oksidatif enzim aktiviteleridir. Bu kriterler kaliteli bir makarnada istenen sarı parlak rengin oluşumunda ve pişme kalitesinde etkilidir (Troccoli ve ark. 2000).

Makarna kalitesinde makarna rengi ve pişme özellikleri en belirleyici unsurlardır (Hoseney 1994). Kaliteli makarnada istenen parlak sarı renk büyük oranda buğdayın pigment konsantrasyonu ve oksidatif enzimlerin aktivitesine, “al dente” pişme özelliği ise gluten proteinlerinin miktarı ve özelliklerine bağlıdır. Durum buğdaylarının protein içeriklerinin yanında özellikle içerdikleri spesifik gliadin ve glutenin proteinleri ile gluten kuvveti arasında kuvvetli bir korelasyon söz konusudur (Kovacs ve ark. 1995, Troccoli ve ark. 2000).

Durum buğdaylarından üretilen makarnanın pişme kalitesiyle ilgili spesifik gliadin proteinlerinden en önemlileri, *Gli-B1* lokusunda bulunan γ -gliadin 42 / 45 proteinleridir (Pogna ve ark. 1990, Troccoli ve ark. 2000). γ -Gliadin 45 makarnada optimum gluten kuvveti ve yüksek pişme kalitesinin, γ -gliadin 42 ise zayıf gluten ve düşük pişme kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar gluten kuvveti ve makarna pişme kalitesinde asıl belirleyici olan proteinlerin γ -gliadin 42 ve 45 proteinleriyle genetik olarak ilişkili olan *Gli-B1* lokusuyla çok sıkı bağlantılı olan, *Glu-B3* lokusu tarafından kodlanan LMW-1 ve LMW-2 glutenin proteinleri olduğunu ortaya çıkarmıştır (Payne ve ark. 1982, Pogna ve ark. 1990, Gupta ve ark. 1994, Kovacs ve ark. 1995, Nieto Taladriz ve ark. 1997, Clarke ve ark. 1998, Edwards ve ark. 2007).

Bu çalışma, Türk makarnalık buğday çeşitlerinin γ -gliadin 45 ve LMW-2 glutenin allellerinin varlığının saptanması ve kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırmada, bitki materyali olarak Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nden temin edilen 27 adet tescilli makarnalık buğday çeşidi kullanılmıştır (Çizelge 1).

Her çeşitten ve kontrol bitkisi Kyle'den beşer tohum alınarak endospermeleri ve embriyoları kesilerek ayrılmıştır. Endospermeleri gliadin ve glutenin analizlerinde, embriyoları ise çimlendirilerek DNA analizlerinde kullanılmıştır. Embriyolar petrilere konularak dormansi ihtiyacının giderilmesi için 72 saat +4 °C'de tutulmuştur. 48 saat karanlıkta çimlenmeye bırakılan embriyolar çimlenince kontrollü seraya alınmış ve bitkicikler iki yapraklı döneme geldiklerinde CTAB metodu ile DNA'ları izole edilmiştir. Tüm DNA'lar, 1B kromozomu kısa kolunun terminal kısmına haritalanmış olan ve makarna kalitesi için önemli olan, gluten kuvvetini sağlayan LMW-2 glutenin ve γ -gliadin 45'i içeren Glu-B3 ve Gli-B1 lokuslarının varlığı açısından taranmıştır. Bu amaçla Gale ve ark. (1995), Gupta ve ark. (2002), Somers ve ark. (2004) ve Hayden ve ark. (2006) tarafından haritalanan ve bu QTL lokusuyla bağlantılı olan mikrosatelit (SSR) markörleri kullanılmıştır. Ayrıca γ -gliadin 45'e spesifik olan bir adet STS (D'Ovidio 1993) ve iki adet PCR primeri (GAG5,6) (Von Büren ve ark. 2000) bu allelin varlığı açısından taramada kullanılmıştır (Çizelge 2).

PCR ürünleri %3'lük metaphore agaroz ya da %1'lik agaroz jelde koşulmuştur.

Çeşitlerin sahip oldukları γ -gliadin proteinlerinin taranmasında Bushuk ve Zillman (1978) tarafından geliştirilen ve daha sonra Khan ve ark. (1985) tarafından modifiye edilen A-PAGE yöntemi kullanılmıştır.

Daha önce kesilen ve embriyo içermeyen yarım taneler havanda ezilmiş ve gliadin proteinleri %70 etil alkol (çözgen: materyal oranı = 3:1) ile ekstrakte edildikten sonra santrifüjlenerek berraklaştırılmıştır. γ -gliadin 42/45 bantlarının belirlenmesinde Marquis buğday çeşidi standart olarak kullanılmıştır. Ayrıca γ -gliadin 45 içerdığı bilinen Kyle çeşidi de kontrol olarak çalışmaya dâhil edilmiştir.

Buğday çeşitlerinin makarna pişme kalitesinde belirleyici olan LMW glutenin desenleri (LMW-1 / LMW-2) Masci ve ark. (2000) ve Gianibelli ve ark. (2002) tarafından tanımlanan SDS-PAGE yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Glutenin proteinleri, gliadin ekstraksiyonundan sonra arta kalan peletlerden Singh ve ark. (1991) tarafından tanımlanan yöntemle göre ekstrakte edilerek analize hazırlanmıştır. LMW glutenin desenlerinin belirlenmesinde Lira-1 (LMW-1), Lira-2 (LMW-2) ve Kyle (LMW-2) durum buğdayı çeşitleri standart olarak kullanılmıştır.

DNA markörleri ile tarama sonuçları, A-PAGE ve SDS-PAGE tarama sonuçları ile karşılaştırılarak hedeflenen iki QTL bölgesi açısından genotiplerin karakterizasyonları yapılmıştır.

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan tescilli makarnalık buğday çeşitleri

Çeşit adı	Tescil yılı	Pedigri/melez
T. turgidum ssp. durum		
Kunduru-1149	1967	Yerel çeşitten seleksiyon yoluyla ıslah edilmiştir.
Gediz-75	1976	LD357E/TC2//Jori"S"
Çakmak-79	1979	UVY162/61.130
Gökgöl-79	1979	-----
Diyarbakir-81	1981	LD393//BEL116E/2*TC/3/CIT71
Balcalı-85	1985	Bittern "S"
Kızıltan 91	1991	-----
Aydın 93	1993	OMRABIA "S"
Fırat-93	1993	-----
Salihli	1995	B.BAL//BYE*2/ TC60
Harran-95	1995	Korifla//D.S-15/Geiger
Altıntaş 95	1995	KND/68111/WARD
Amanos-97	1997	-----
Selçuklu-97	1997	073-44*2/Ovi/3/DF21-72//61-130/Uvy162
Ankara 98	1998	-----
Altıntoprak 98	1998	ACONCH189 =ALTAR84/AOS
Sarıçanak-98	1998	DACK/GEDİZ//USPA575
Balcalı-2000	2000	Stn "S"
Fuatbey-2000	2000	-----
Yelken-2000	2000	-----
Mirzabey-2000	2000	-----
Kümbet-2000	2000	-----
Çeşit-1252	----	-----
Zenit	----	-----
Kozmidor	----	-----
Quashar	----	-----
Kyle		Kanada tescilli çeşidi

Çizelge 2. Taramalarda kullanılan DNA markörleri

Glu-B3 ve Gli-B1 bölgeleriyle bağlantılı SSR markörleri	Primer dizisi (5'--- 3')
Xpsr11	Forward- gTT TTC CCA gTC ACg AC Reverse- CAg gAA ACA gCT ATg AC
Xwmc49	Forward- CTC ATg AgT ATA TCA CCg CAC A Reverse- gAC gCg AAA CgA ATA TTC AAg T
Xwmc329	Forward- ACA AAg gTg CAT TCg Tag A Reverse- AAC ACg CAT CAg TTT CAg T
Xwmc51-1B	Forward- TTA TCT Tgg TgT CTC ATg TcA g Reverse- TCg CAA Gat CAT CAg AAC AgT A
Xwmc550-1B	Forward- gACCCTgTgCTgCTATggAT Reverse- gCCACCCCTggTgAATTTAC
Xwmc798-1B	Forward- gTg Tgg TAg TgT AgC TgC CAA AAg Reverse- gTT AgC ATg gCA CAT AgA AgC Ag
Xwmc619-1B	Forward- TTC CCT TTC CCC TCT TTC Cg Reverse- TAC AAT CgC CAC gAg CAC CT
Xgwm374	Forward- ATA gTg TgT TgC ATg CTg TgT g Reverse- TCT AAT TAg CgT Tgg CTg CC
Xgwm550	Forward- CCC ACA AgA ACC TTT gAA gA Reverse- CAT TgT gTg TgC AAg gCA C
Xgwm608	Forward- ACA TTg TgT gTg Cgg CC Reverse- Gat CCC TCT CCg CTA gAA gC
Stm553actc	TTg ATA ATg AAg ATg CTC TgA CTC A
Stm542acag	CCC ACA AgA ACC TTT gAA gA
Stm264agac	CAg CAC CCA TCA ACC ACC A
γ -45 gliadini için spesifik DNA markörleri	Primer Dizisi (5'--- 3')
STS primeri	ATg AAg ACC TTA CTC ATC CT ACA TAC ACg TTg CAC ATg g
GAG5	ACA ATg gCC ACA ACA ACA AC
GAG6	TgC CCT gRC CCT ggR C

BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada tescilli makarnalık buğday çeşitlerinden toplam 27 çeşidin (27x5=135 genotip) 12 adet SSR markörü ile taranması sonucunda, en polimorfik olan dört marköre göre Kyle'den farklı olan 15 çeşit saptanmıştır (Çizelge 3).

STS, A-PAGE ve SDS-PAGE tarama sonuçlarına göre 27 adet çeşitten 17 tanesinin hem γ -gliadin 45'e hem de LMW-2 glutenine sahip olduğu saptanmıştır (Çizelge 4). Türkiye'de ekim alanı en fazla olan

makarnalık buğday çeşidi Sarıçanak-98'dir. Bunun dışında yaygın bir şekilde yetiştirilen Kızıltan-91, Selçuklu-97 ve Çeşit-1252 gibi verimleri yüksek olan çeşitlerin kalite düzeyleri makarna üreticileri tarafından yeterli bulunmamaktadır. Araştırma sonuçlarımıza göre ülkemizde ekim alanı oldukça yüksek olan makarnalık buğday çeşitlerinden Sarıçanak-98 ve çizelgede gösterilen birçok makarnalık çeşidimizin γ -gliadin 42'ye ve LMW-1 glutenine sahip olduğu, ancak makarna kalitesi ile çok yakından ilgili olan γ -gliadin 45 ve LMW-2 glutenin

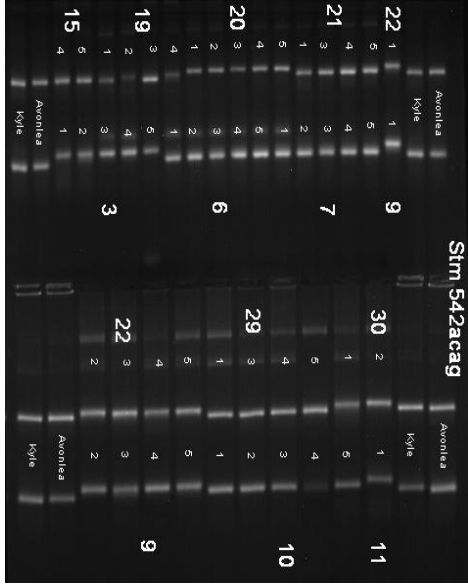
allellerini taşımadığı tespit edilmiştir. Buna karşılık Türk çiftçisi tarafından daha önceleri yaygın olarak yetiştirilmiş olan makarnalık buğday çeşitlerimizden Gediz-75, Çakmak-79, Zenit, Balcalı-2000 ve Diyarbakır-81'in yüksek kalite allellere sahip oldukları da belirlenmiştir. γ -Gliadin 45'in makarnada optimum gluten kuvveti ve yüksek pişme kalitesi ile ilgili olduğu, bununla birlikte durum buğdayının gluten kuvvetini ve kalitesini olumlu yönde etkileyen LMW-2 gluteninin γ -gliadin 45 ile çok yakın bağlantılı olduğu bilinmektedir (Nieto-Taladriz ve ark., 1997). Çünkü bu genleri içerdiği bilinen Gli-B1 ve Glu-B3 lokuslarının her ikisi de 1B kromozomunun kısa kolu üzerinde olup, birbirlerine sıkıca bağlantılıdır (Şekil 1). Araştırma sonuçlarımız bu bağlantıyı doğrulamaktadır. Çalışmada taraması yapılan çeşitlerden γ -gliadin 45'e sahip olan tüm çeşitlerin aynı zamanda LMW-2 glutenine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bitkilerin gelişme devrelerinin her aşamasında değerlendirilebilme avantajına sahip olan DNA

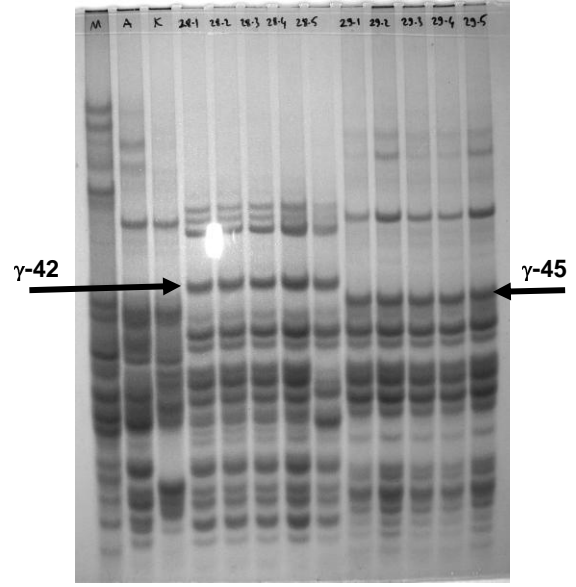
markörleri genetik karakterizasyon ve ıslah çalışmalarında büyük bir potansiyele sahiptir. Son yıllarda buğdayda DNA markörlerinden oldukça polimorfik olan mikrosatellitler (SSR) yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmamızda moleküler DNA (Şekil 1) ve protein (Şekil 2,3) markörleri birlikte kullanılmış, elde edilen sonuçlar birbiriyle paralellik göstermiştir. Çalışmamızda *Glu-B3* ve *Gli-B1* lokuslarını doğrudan gösteren SSR markörleri kullanılmıştır (Şekil 4). Bu iki lokusu çevreleyen markörlerin birçoğu yüksek kalite gen kaynağı olarak kullanılması planlanan Kyle ile Türk makarnalık buğday çeşitleri arasında polimorfizm göstermiştir. Bunlardan dört adedinin polimorfizm durumları Çizelge 3'de verilmiştir. Kalite ile ilgili gen bölgesini çerçeveleyecek şekilde seçilecek olan markörlerin (flanking marker) "markör yardımıyla seleksiyon (MAS)" amacıyla kullanılması, ıslah programlarının etkinliğini artıracaktır. Bu amaçla MAS yöntemiyle desteklenen geri melez ıslahı başlatılmış olup, halen devam etmektedir.

Çizelge 3. Polimorfik SSR markörleri

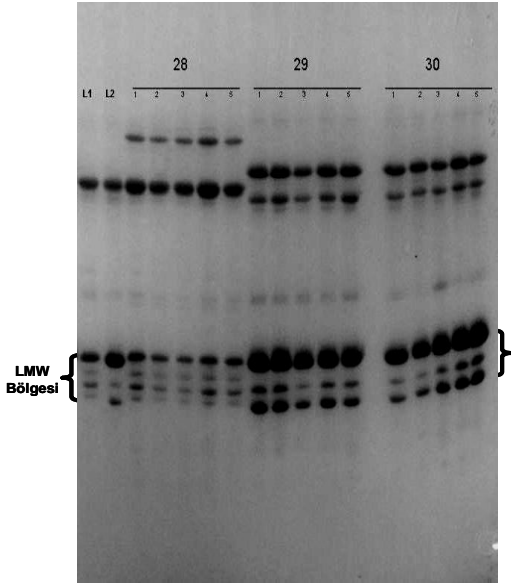
ÇEŞİTLER	GAG 5-6	gwm 608	Stm 542acag	Stm 553actc
Gediz-75	+	+	+	+
Diyarbakır-81		+		+
Balcalı-85				+
Aydın-93			+	+
Fırat-93			+	+
Salihli		+	+	+
Harran-95		+		+
Amanos-97				+
Selçuklu-97				+
Altıntoprak-98				+
Sarıçanak-98	+		+	+
Balcalı-2000				+
Fuatbey-2000			+	+
Kozmidor				+
Quashar			+	+



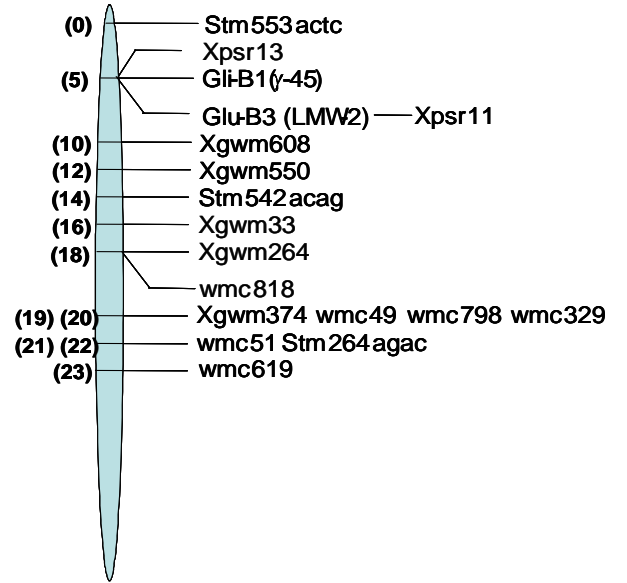
Şekil 1: Stm 542 markörü ile tarama sonucunun %3'lük metaphore jel elektroforezinde görünümü



Şekil 2: Tescilli buğday çeşitlerinden bazılarının A-PAGE elektroforogramları



Şekil 3: Tescilli buğday çeşitlerinden bazılarının SDS-PAGE elektroforogramları



Şekil 4. Glu-B3 ve Gli-B1 lokuslarını içeren 1BS kromozomuna ait farklı haritalardan alınan ve bu bölgelerle bağlantılı olan DNA markörlerinin harita üzerindeki muhtemel pozisyonları. Koyu renkli rakamlarla gösterilen değerler cM cinsinden uzaklıkları ifade etmektedirler.

Çizelge 4. Tescilli makarnalık buğday çeşitlerinin γ -Gliadin 42 , γ -Gliadin 45 ve LMW-1 glutenin, LMW-2 glutenin proteinleri bakımından STS, A-PAGE ve SDS-PAGE tarama sonuçları

ÇEŞİT ADI	γ -Gliadin 42	γ -Gliadin 45	LMW-1 Glutenin	LMW-2 Glutenin
Kunduru-1149		+		+
Gediz-75		+		+
Cakmak-79		+		+
Gökgöl-79		+		+
Diyarbakir-81		+		+
Balcalı-85		+		+
Kızıltan-91	+		+	
Aydın-93		+		+
Fırat-93		+		+
Salihli	+		+	
Harran-95		+		+
Altıntaş-95	+		+	
Amanos-97		+		+
Selcuklu-97	+		+	
Ankara-98		+		+
Altıntoprak-98		+		+
Saricanak-98	+		+	
Balcalı-2000		+		+
Fuatbey-2000		+		+
Yelken-2000	+		+	
Mirzabey-2000	+		+	
Kümbet-2000		+		+
Çeşit-1252	+		+	
Zenit		+		+
Kozmidor		+		+

SONUÇ

Bu çalışma, tescilli makarnalık buğday çeşitlerimizin kalite genleri bakımından karakterizasyonunun yapılmasında SSR markörleri, STS markörü ve GAG markörleri ile A-PAGE ve SDS-PAGE sistemlerinin başarılı bir şekilde kullanılacağını göstermiştir. Ayrıca γ -gliadin 45 ve LMW-2 glutenin proteinlerine sahip olan tescilli makarnalık buğday çeşitlerimiz de saptanmıştır. Böylece bundan sonraki kalite ile ilgili çalışmalara ışık tutması açısından çeşitlerimizin durumları belirlenmiştir. Makarna kalitesinin göstergesi olan bu gen bölgelerinin geri melezleme yöntemiyle ekim alanı ve verimi yüksek ancak makarna kalitesi düşük olan mevcut çeşitlere veya yeni çeşit adaylarına aktarılması ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır.

KAYNAKLAR

- Bushuk W and Zillman RR (1978) Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. I. Apparatus, method and nomenclature. Canadian Journal of Plant Science, 58: 505-515.
- Clarke JM, Marchylo BA, Kovacs MIP, Noll JS, McCaig TN, Howes NK (1998) Breeding durum wheat for pasta quality in Canada. Wheat: Prospects for Global Improvement, 229-236.
- D'Ovidio R (1993) Single seed PCR of LMWglutenin genes to distinguish between durum wheat cultivars with good and poor technological properties. Plant Mol. Biol., 22: 1173-1176.
- Edwards NM, Gianibelli MC, McCaig TN, Clarke JM, Ames NP, Larroque OR and Dexter JE (2007) Relationships between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse

- durum wheat genotypes. *Journal of Cereal Science*, 45: 140-149.
- Gale MD et al. (1995) Genetic Maps of Hexaploid Wheat Proceedings of the 8th International Wheat Genetics Symposium, 1: 29-40.
- Gianibelli MC, Lagudah ES, Wrigley CW and MacRitchie F (2002) Biochemical and genetic characterization of a monomeric storage protein (T1) with an unusually high molecular weight in *Triticum tauschii*. *Theoretical and Applied Genetics*, 104:497-504.
- Gupta RB, Paul JG, Cornish GB, Palmer GA, Bekes F and Rathjen AJ (1994) Allelic variation at glutenin subunits and gliadin loci, Glu-1, Glu-3 and Gli-1, of common wheats. I. Its additive and interaction effects on dough properties. *Journal of Cereal Science*, 19: 9-17.
- Gupta PK, Balyan HS, Edwards KJ, Isaac P, Korzun V, Röder M, Gautier MF, Joudrier P, Schlatter AR, Dubcovsky J, De la Pena RC, Khairallah M, Penner G, Hayden MJ, Sharp P, Keller B, Wang RCC, Hardouin JP, Jack P, Leroy P (2002) Genetic mapping of 66 new microsatellite (SSR) loci in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 105: 413-422.
- Hayden MJ, Stephenson P, Logojan AM, Khatkar D, Rogers C, EAÖFen J, Koebner RMD, Snape JW, Sharp PJ (2006) Development and genetic mapping of sequence-tagged microsatellites (STMs) in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.*, 105: 413-422.
- Hoseney (1994) *Principles of Cereal Science and Technology* (2nd ed). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Kovacs MIP, Howes NK, Leisle D, Zawistowski J (1995) Effect of two different low molecular weight glutenin subunits on durum wheat pasta quality parameters. *Cereal Chem.*, 72: 85-87.
- Nieto-Taladriz MT, Ruiz M, Martinez MC, Vazquez JF and Carrillo JM (1997) Variation and classification of B low-molecular-weight glutenin subunit alleles in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 95: 1155– 1160.
- Payne PI, Holt LM, Lawrence GJ and Law CN (1982) The genetic of gliadin and glutenin, the major storage proteins of the wheat endosperm. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition*, 31: 229-241.
- Pogna NE, Autran JC, Mellini F, Lafiandra D and Feillet P (1990) Chromosome 1B-encoded gliadins and glutenin subunits in durum wheat: Genetics and relationship to gluten strength. *Journal of Cereal Science*, 11:15-34.
- Somers DJ, Isaac P, Edwards K (2004) A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.*, 109: 1105-1114.
- Trocconi A, Borrelli GM, De Vita P, Fares C and Di Fonzo N (2000) Durum wheat quality: A multidisciplinary concept. *Journal of Cereal Science*, 32: 99-113.
- Von Büren M, Lüthy J, Hübner P (2000) Aspelt-specific γ -gliadin gene: discovery and detection. *Theor Appl Genet.*, 100: 271-279.