

# PENTOZANLARIN KİMYASAL BİLEŞİMLERİ VE YAPILARI

Hülya Gül<sup>1\*</sup>, Halef Dizlek<sup>2</sup>

1 Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta  
2 Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi / Received: 08.12.2007

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 25.12.2007

Kabul tarihi / Accepted: 31.12.2007

## Özet

Buğday tanesinde bulunan başlıca nişasta dışı polisakaritlerden olan pentozanlar; suda çözünen ve suda çözünmeyen pentozanlar olmak üzere iki grup altında incelenirler. Her ikisinin de yapısında arabinoksilan ve arabinogalaktan fraksiyonları bulunur. Arabinoksilanın temel yapısını birbirlerine  $\beta$  (1-4) glikozidik bağları ile bağlanmış anhidro-D-ksilopiranozil birimleri ile yan zincirlere tekli veya ikili olarak bağlanmış tek birimlik  $\alpha$ -L arabinofuranozlar oluşturur. Arabinogalaktan, birbirlerine  $\beta$ -(1-3) ve  $\beta$ -(1-6) glikozidik bağları ile bağlanmış galaktopiranozil ünitelerinden oluşmuş dallı bir yapıya sahiptir. Sadece tek birimlik arabinoz üniteleri esas galaktoz ünitesine  $\beta$ - glikozidik olarak bağlanmıştır. Arabinoksilan ile karşılaştırıldığı zaman, arabinogalaktanın, galaktoz oranı yüksek, ksiloz oranı düşüktür. Suda çözünmeyen pentozanların da başlıca bileşenleri arabinoz ve ksilozdur ve bu pentozanların yaklaşık %60'ını arabinoksilanlar oluşturur. Suda çözünen pentozanlara göre, arabinozun ksiloza oranı daha yüksektir. Bu nedenle dallanma dereceleri, molekül ağırlıkları ve su bağlama kapasiteleri suda çözünen pentozanlara göre daha fazladır.

**Anahtar kelimeler:** Nişasta Dışı Polisakaritler, Suda Çözünen Pentozanlar, Suda Çözünmeyen Pentozanlar, Arabinoksilan, Arabinogalaktan.

## CHEMICAL COMPOSITION AND STRUCTURE OF PENTOSANS

### Abstract

Pentosans, which are the main non-starch polysaccharides of wheat kernel can be separated into water-soluble and water-insoluble fractions. Arabinoxylans and arabinogalactans are the fundamental constituents of both. Arabinoxylans have a backbone of (1-4)-linked  $\beta$ -D-xylopyranosyl residues, which may be un-, mono-, or di-substituted with terminal  $\alpha$ -L arabinofuranosyl residues. Arabinogalactans have a branch structure with  $\beta$ -D-galactopyranosyl residues linked through (1-3) and (1-6) glycosidic bonds and terminal  $\alpha$ -L arabinofuranosyl residues. When compared with arabinoxylans, arabinogalactans have a higher ratio of galactose and lower ratio of xylose. Arabinose and xylose is the main constituent of water insoluble pentosans. Arabinoxylans form an average 60% of them. Arabinose to xylose ratio of water insoluble pentosans is higher than water soluble pentosans. Therefore they have higher branched structure, molecular weight and water binding capacity than water-extractable pentosans.

**Keywords:** Non-Starch Polysaccharides, Water-Extractable Pentosans, Water-Unextractable Pentosans, Arabinoxylan, Arabinogalactan.

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ hulyagul@mmf.sdu.edu.tr, ☎ (+90) 246 211 1538, 📠 (+90) 246 237 0437

## GİRİŞ

Buğday tanesinde bulunan nişasta dışı polisakkaritlerin başlıcaları; sellüloz,  $\beta$ -glukan, pentozanlar, gliko ve galakto-mannanlardır. Nişasta dışı polisakkaritlerin tamamına yakın kısmı buğdayın kabuk ile kabuğa yakın bölgelerinde ve hücre duvarlarında bulunurlar. Diyet lif olarak da adlandırılan bu maddeler, insan sindirim sistemi tarafından sindirilemezler. Diyet lifin insan beslenmesi ve sağlığı üzerindeki öneminin anlaşılması ile birlikte, bu maddelerin kimyasal yapıları, izolasyon ve saflaştırma işlemleri ile ilgili kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır (1).

Buğday tanesinin pentozan oranı yaklaşık %7'dir. Bu oran kepek tabakasında %25 gibi yüksek bir değere yaklaşır. Buğday ununun pentozan içeriği %2-3 arasındadır. Pentozanların bir kısmı su ile ekstrakte edilebilir. Bu nedenle pentozanlar; suda çözünen ve suda çözünmeyen pentozanlar olmak üzere iki grup altında incelenirler. Buğday ununda bulunan pentozanların yaklaşık %0.4-0.8'i suda çözünebilir, %1.2-1.8 kadarı ise suda çözünmez özelliğindedir (2, 3, 4).

Pentozanlar, buğday ununun minör bileşenlerinden olmalarına rağmen, hamur ve ekmek kalitesini etkileyen önemli işlevsel özelliklere sahiptirler. Yüksek oranda su bağlama kapasiteleri, hamur ve ekmek özelliklerini etkileyen en önemli karakteristiklerinden bir tanesidir. Aşağıda suda çözünen ve çözünmeyen pentozanların kimyasal yapıları, işlevsel özellikleri ile benzer ve farklı yönleri açıklanmaya çalışılmıştır.

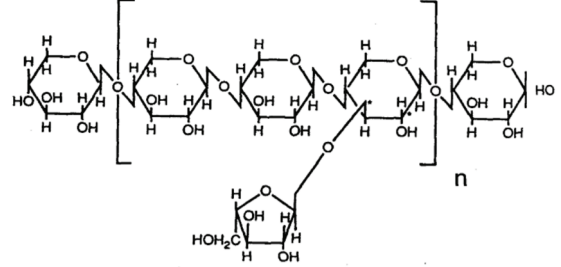
## SUDA ÇÖZÜNEN PENTOZANLAR

Suda çözünen pentozanlar, ksiloz ve arabinoz dışında genellikle galaktoz, glikoz, mannoz, fruktoz ve protein içerir. Yapılan çeşitli çalışmalarda suda çözünen pentozanların monosakkarit kompozisyonu; yaklaşık %11-43 arabinoz, %51-72 ksiloz, %1.9-2.4 galaktoz, %0.4-2 glikoz, %1 mannoz olarak belirlenmiştir (4, 5). Suda çözünen pentozanlar, amonyumsülfat ile tuz oluşturarak ya da etanol ile çöktürülerek arabinoksilan ve arabinogalaktan olmak üzere iki fraksiyona ayrılabilirler.

### Arabinoksilan

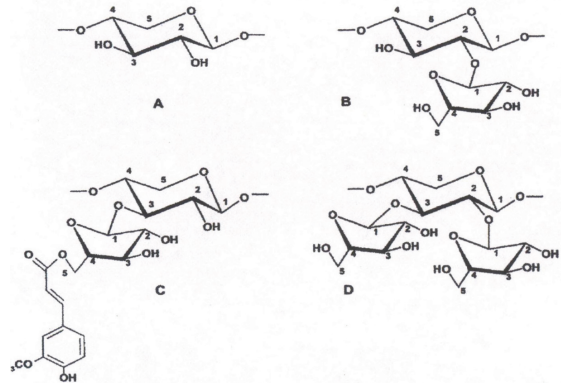
Buğday tanesinin toplam arabinoksilan içeriği %2.8-7.1 arasındadır, bunun %0.2-1.2'si su ile eks-

trakte edilebilir (6, 7). Arabinoksilanın temel yapısını birbirlerine  $\beta$  (1-4) glikozidik bağları ile bağlanmış anhidro-D-ksilopiranozil birimleri oluşturur (Şekil 1). Yan zincirlerde bulunan tek birimlik  $\alpha$ -L arabinofuranozlar ise bileşimde yer alan başlıca bileşenlerdendir.



Şekil 1. Buğday endosperminde bulunan pentozanların yapısı. C2 ve C3'ünlü karbon atomlarındaki muhtemel arabinoz dallanma noktaları \* işareti ile gösterilmiştir (30).

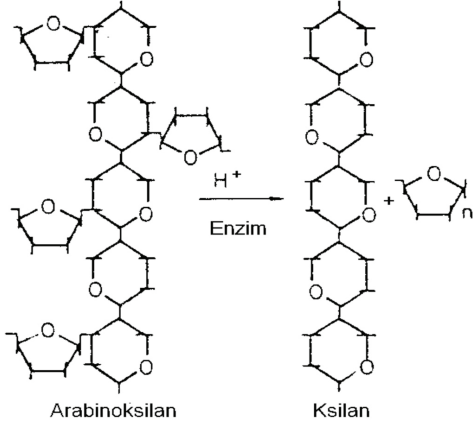
Tek birimlik arabinoz üniteleri ksilan zincirine C(O)3 ve/ya da C(O)2 pozisyonunda bağlanabilirler. Yapılarında yer alan ferulik asit ise 5. karbon atomuna ester bağı ile bağlanır. Böylece Şekil 2'den de görülebileceği gibi; arabinoksilanı oluşturan dört farklı temel yapı taşı oluşur. Arabinoksilan sadece tek bir arabinoz birimi bağlanmış ise; bağlanma genellikle 3. karbon atomunda gerçekleşir. Arabinoz birimleri ksilan zinciri üzerinde eşit olarak dağılmamışlardır. Arabinoksilanın dallanmamış bölgelerinin oranı yaklaşık %65, tek bir arabinoz birimi ile dallanmış olan bölgelerinin oranı %19, iki tane arabinoz birimi ile dallanmış olanların ise %20'dir (7-14).



Şekil 2. Arabinoksilanı oluşturan temel yapılar: A: dallanmamış ksiloz ünitesi ; B: C(O)2 pozisyonunda arabinoz birimi ile dallanmış ksiloz ünitesi C: C(O)3 pozisyonunda bağlanmış arabinoz ve C(O) 5 pozisyonunda bağlanmış ferulik asit içeren ksiloz ünitesi D: Hem C(O)2 hem de C(O) 3 pozisyonunda bağlanmış arabinoz içeren ksiloz ünitesi (27).

Arabinoksilanların dallanma derecesi, arabinozun ksiloza oranı ile belirlenmektedir. Arabinoz/ksiloz oranı, arabinoksilanların izole edildiği buğday çeşidine bağlı olarak değişmekle beraber; 0.5-0.71 arasındadır (4, 7, 10, 14, 15).

Ksilan zincirinin arabinozil birimleri ile dallanması, molekülün şeklini ve sulu çözeltiler içerisindeki davranışını belirler (1, 16). Arabinozil birimlerinin  $\alpha$ -L-arabinofuranozidaz veya zayıf asit hidrolizi ile uzaklaştırılması, ksilanların çökmesine neden olur (Şekil 3) (1).



Şekil 3. Perlin (1951) ve Neukom ve ark. (1967) tarafından önerilen suda çözünen arabinoksilanın yapısı ve arabinoksilanın suda çözünmeyen ksilana hidrolizi (19).

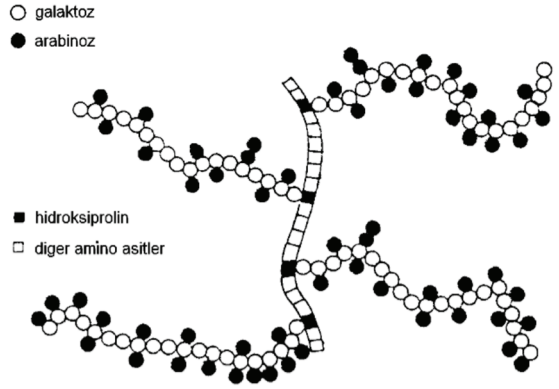
Suda çözünen arabinoksilanların molekül ağırlıkları 25-1000 kDa arasında değişim gösterir. Arabinoksilanın yaklaşık %50'sini oluşturan düşük molekül ağırlıklı grup 25-40 kDa arasında bir molekül ağırlığına sahiptir. Bu grubun karakteristik özelliği arabinoz/ksiloz oranının yaklaşık 0.4 olmasıdır. 40 kDa'nun üzerinde molekül ağırlığına sahip olan yüksek molekül ağırlıklı arabinoksilanların arabinoz/ksiloz oranları (0.5-0.9) daha yüksektir (17).

Arabinoksilanlar, pentoz birimlerinin haricinde, tek birimlik  $\alpha$ -D-glukuronopiranozil ve bunların 4-O metil esterlerini de içerir. Bunlar, ana zincire (1-2) glikozidik bağları ile bağlanmışlardır. Ferulik asit tahıllarda bulunan başlıca sinamik asitlerdendir. Buğday tanesinde yaklaşık %0.5 (w/w) kuru madde üzerinden) oranında bulunur (18).

### Arabinogalaktan

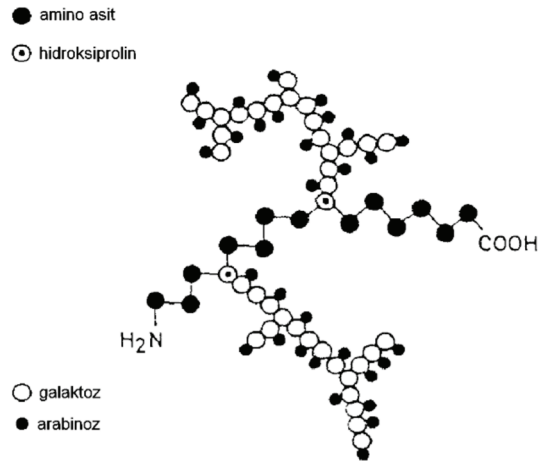
Arabinogalaktan ve arabinogalaktan-peptid'in yapıları, sırasıyla Fincher ve Neukom'un önderliğindeki araştırma grupları tarafından birbirin-

den bağımsız olarak araştırılmıştır. Araştırmacıların elde ettikleri bulgulara göre; arabinogalaktan, birbirlerine  $\beta$ -(1-3) ve  $\beta$ -(1-6) glikozidik bağları ile bağlanmış galaktopiranozil ünitelerinden oluşmuş dallı bir yapıya sahiptir. Sadece tek birimlik arabinoz üniteleri esas galaktoz ünitesine  $\beta$ -glikozidik olarak bağlanmıştır (19). Fincher ve ark. (20), galaktan zincirinin dallanmamış, düz bir zincir yapısına sahip olduğunu (Şekil 4), dallanmanın peptid zincirlerinde meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir.



Şekil 4. Fincher ve ark. (20) tarafından önerilen galaktan peptidin yapısı (19).

Strahm ve ark. (21) ise, galaktan peptidin yapısının Şekil 5'teki gibi olduğunu ortaya atmışlardır. Buna göre; ana galaktoz zinciri dallanmış bir yapıya sahiptir. Her iki durumda da, arabinogalaktanın yüksek orandaki çözünürlüğü moleküldeki dallanma derecesinin fazla oluşuna atfedilmektedir (19).



Şekil 5. Strahm ve ark. (21) tarafından önerilen galaktan peptidin yapısı (19).

Arabinoksilan ile karşılaştırıldığı zaman, arabinogalaktanın, galaktoz oranı (ortalama %49.9) yüksek, ksiloz oranı (%4.7) düşüktür. Yapısında yaklaşık %37.6 arabinoz, %1.1 glikoz, %0.2 mannoz ve %9 oranında protein bulunur. Arabinoksilanların ve arabinogalaktanların monosakkarit kompozisyonları ve protein içerikleri yapılan iki farklı çalışma sonucunda Çizelge 1'deki gibi bulunmuştur. Çizelgeden de görülebileceği gibi arabinoksilanların başlıca bileşenleri, arabinoz ve ksiloz iken; arabinogalaktanlarda başlıca bileşenler, arabinoz ve galaktoz olarak tespit edilmiştir. Arabinogalaktanın arabinoz/galaktoz oranı yaklaşık %0.6-0.73 arasındadır (9, 22).

Çizelge 1. Arabinoksilan ve Arabinogalaktan'ın Monosakkarit Kompozisyonları ve Protein İçerikleri

Fraksiyon	Protein (%)	Monosakkaritler Ara:Ksi:Man:Gal:Gli
Arabinoksilan	10.0 <sup>1</sup> 1.7 <sup>2</sup>	1.00:2.02:+:0.07:0.03 <sup>1</sup> 1.00:1.66:-:0.12:0.16 <sup>2</sup>
Arabinogalaktan	15.0 <sup>1</sup> 7.0 <sup>2</sup>	1.00:0.28:-:0.88:1.47 <sup>1</sup> 1.00:0.023:0.021:1.45:0.18 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> 17

<sup>2</sup> 3

Arabinogalaktan, peptid zinciri yeterince hidrokisprolin aminoasidi içeriyorsa, peptid zincirine kovalent olarak bağlanır. Yeterli hidrokisprolin aminoasidi yoksa tahıl proteinlerinde arabinogalaktan-peptid yapısı oluşmaz. Çünkü bu aminoasit arabinogalaktanın peptid zincirine bağlanma noktasını oluşturur (19).

Izydorczyk ve ark. (16), sekiz farklı buğday çeşidinden izole edilen arabinogalaktan fraksiyonunda yer alan proteinin aminoasit kompozisyonunu belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, bu proteinin buğday depo proteinlerinden farklı olduğunu göstermiştir. Çünkü arabinogalaktan fraksiyonunda bulunan protein az miktarda glutamik asit ve prolin içerirken, fazla miktarda alanin ve hidrokisprolin içermektedir.

Arabinogalaktanın molekül ağırlığı 23000 – 100000 arasındadır (22, 23). Arabinoksilan ile karşılaştırıldığı zaman arabinogalaktanın molekül ağırlığı daha düşüktür. Arabinoksilanların ve arabinogalaktanların her ikisi de suyun yüzey gerilimini azaltırlar. Fakat arabinoksilan protein köpüklerini etkin bir şekilde stabilize ederken, arabinogalaktanların etkisi daha azdır. Arabinoksilanlar gluten ile birlikte pi-

şirmenin ilk aşamalarında karbondioksitin yayılma hızını yavaşlatırlar. Böylece ekmek içyapısı ve hacim üzerinde olumlu etkilerde bulunurlar (10, 16).

## SUDA ÇÖZÜNMEYEN PENTOZANLAR

Buğday ununda yer alan pentozanların yaklaşık %70'i suda çözünmeyen pentozanlardır. Suda çözünmeyen pentozanların kimyasal yapıları, suda çözünen pentozanlara benzer, fakat dallanma dereceleri daha fazladır. Suda çözünen pentozanlarda olduğu gibi, birbirlerine  $\beta$  (1-4) glikozidik bağları ile bağlanmış anhidro-D-ksilopiranozil birimlerinden oluşmuşlardır. Yan zincirlerde bulunan arabinozlar ise karakteristik olarak bir şeker birimi uzunlukta olup, ksiloza C(O)2 ya da C(O)3 pozisyonundan bağlıdır. Bu tek birimlik arabinoz birimleri genellikle ksiloz ünitesinin 3. karbon atomuna bağlanır. Hem 2. hem de 3. karbon atomuna bağlanmış arabinoz üniteleri de bulunur. Suda çözünmeyen pentozanları oluşturan ksiloz ünitelerinin yaklaşık %60'lık bir bölümü dallanmamıştır, %30 kadarı da hem 2. hem de 3. karbon atomuna bağlanmışlardır (8).

Suda çözünmeyen pentozanların başlıca bileşenleri arabinoz (yaklaşık %24-30) ve ksilozdur (%35-50). Yapılarında az miktarda mannoz (%1.3-2.3), galaktoz (%0.6-0.9) ve glikoz da (%6-12) bulunur. Yaklaşık %60.6'sı arabinoksilandır. Arabinoz/ksiloz oranı 0.55-0.96 arasındadır. Suda çözünen pentozanlara göre, arabinozun ksiloza oranı daha fazladır, dolayısıyla dallanma dereceleri yüksektir (4, 24, 25, 26).

Suda çözünemeyen pentozanların çözünmemelerinin bir nedeni; yapılarında yer alan arabinoksilanın, komşu arabinoksilan molekülleri ve diğer hücre duvarı bileşenleri ile (örneğin proteinler, sellüloz, lignin gibi) kovalent olan ve kovalent olmayan bağlar oluşturmalarıdır (27). Diğer bir nedeni ise yapılarında fenolik asitlerin bulunmasıdır. Lineback ve Rasper, (1)'in bildirdiğine göre; oksidatif jellatinizasyonda ferulik asidin yer almasından dolayı, suda çözünmeyen pentozanların bir kısmı buğday tanesinin olgunlaşması esnasında suda çözünen pentozanların oksidasyonu ile meydana gelmişlerdir. Suda çözünmeyen pentozanların ferulik asit içerikleri 0.86-1.10  $\mu\text{g}/\text{mg}$  pentozan arasındadır (24, 28, 29).



## SONUÇ

Buğday tanesinde miktar olarak az fakat işlevsel özellikleri açısından önemli minör bileşenlerden olan pentozanlar; buğday tanesinde yaklaşık %7, buğday ununda ise %2-3 oranında bulunurlar ve suda çözünürlüklerine göre; suda çözünen ve suda çözünmeyen pentozanlar olmak üzere iki grup altında incelenirler.

Buğday ununda suda çözünmeyen pentozanların oranı (yaklaşık %1.2-1.8) suda çözünenlere oranla (yaklaşık %0.4-0.8) daha fazladır. Suda çözünen pentozanların başlıca bileşenlerini; arabinoz (%11-43), ksiloz (%51-72), galaktoz (%1.9-2.4) az miktarda glikoz (%0.4-2) ve mannoz (%1) oluştururken, suda çözünmeyen pentozanlar; arabinoz (%24-30), ksiloz (%35-50), glikoz (%6-12), mannoz (%1.3-2.3) ve galaktoz (%0.6-0.9) içerirler. Suda çözünmeyen pentozanların dallanma dereceleri dolayısıyla molekül ağırlıkları ve su bağlama kapasiteleri, suda çözünen pentozanlara göre daha fazladır. Suda çözünmeyen pentozanları çözünür forma dönüştürmek için kuvvetli alkali kullanılır.

Pentozanların izolasyonunda ve saflaştırılmasında farklı teknikler kullanılması nedeniyle, kimyasal yapıları ve işlevsel özellikleri ile ilgili ortak bir sonuca varılamamıştır. Fakat son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte kimyasal yapıları biraz daha açıklığa kavuşturulmuştur. Pentozanları oluşturan münferit bileşenlerin özellikleri ve ekmek üzerine etkileri araştırılmaya başlanmıştır. Bu un bileşenlerinin, ekmek yapımı ve fırın ürünlerinin kalitesi üzerindeki işlevsel rollerinin tamamen açığa kavuşturulması için; kimyasal yapıları ile işlevsel özellikleri arasındaki ilişki üzerinde daha detaylı çalışmalara gerek vardır.

## KAYNAKLAR

1. Lineback DR, Rasper VF, 1988. Wheat carbohydrates. In *Wheat: Chemistry and Technology*, Y Pomeranz (ed), pp. 277-373, American Association of Cereal Chemists, Inc., USA.
2. Yeh YF, Hosenev RC, Lineback R. 1980. Changes in wheat flour pentosans as a result of dough mixing and oxidation. *Cereal Chem.* 57 (2): 144-148.
3. Izydorczyk MS, Biliaderis CG, Bushuk W. 1990. Oxidative gelation studies of water-soluble pentosans from wheat. *J Cereal Sci*, 11: 153-169.
4. Rouau X, Moreau D. 1993. Modification of some physicochemical properties of wheat flour pentosans by an enzyme complex recommended for baking. *Cereal Chem*, 70 (6): 626-632.
5. Izydorczyk MS, Biliaderis CG, Bushuk W. 1991. Comparison of the structure and composition of water-soluble pentosans from different wheat varieties. *Cereal Chem*, 68 (2): 139-144.
6. Saulnier L, Peneau N, Thibault JF. 1995. Variability in grain extract viscosity and water-soluble arabinoxylan content in wheat. *J Cereal Sci*, 22: 259-264.
7. Cleemput G, Booiij C, Hessing M, Gruppen H, Delcour JA. 1997. Solubilisation and changes in molecular weight distribution of arabinoxylans and protein in wheat flours during bread-making, and the effects of endogenous arabinoxylan hydrolysing enzymes. *J Cereal Sci*, 26: 55-66.
8. Hosenev RC. 1983. *Principles of Cereal Science and Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc., 327 s, USA.
9. Westerlund E, Andersson R, Aman P, Theander O. 1990. Effects of baking on water-soluble non-starch polysaccharides in white bread fractions. *J Cereal Sci*, 12: 33-42.
10. Izydorczyk MS, Biliaderis CG. 1992. Influence of structure on the physicochemical properties of wheat arabinoxylan. *Carbohydr Polym* 17: 237-247.
11. Cleemput G, Roels SP, Oort MV, Grobet PJ, Delcour JA. 1993. Heterogeneity in the structure of water-soluble arabinoxylans in European wheat flours of variable bread-making quality. *Cereal Chem*, 70 (3): 324-329.
12. Izydorczyk MS, Biliaderis CG. 1993. Structural heterogeneity of wheat endosperm arabinoxylans. *Cereal Chem.* 70 (6): 641-646.
13. Andersson R, Westerlund E, Aman P. 1994. Natural variations in the contents of structural elements of water-extractable non-starch polysaccharides in white flour. *J Cereal Sci*, 19: 77-82.
14. Dervilly PG, Rimsten L, Saulnier L, Andersson R, Aman P. 2001. Water-extractable arabinoxylan from pearled flours of wheat, barley, rye and triticale. evidence for the presence of ferulic acid dimers and their involvement in gel formation. *J Cereal Sci*, 34: 207-214.
15. Dervilly PG, Saulnier L, Roger P, Thibault JF. 2000. Isolation of homogeneous fractions from wheat water-soluble arabinoxylans. Influence of the structure on their macromolecular characteristics. *J Agric Food Chem*, 48: 270-278.
16. Izydorczyk MS, Biliaderis CG, Bushuk W. 1991. Physical properties of water-soluble pentosans from different wheat varieties. *Cereal Chem*, 68 (2): 145-150.

17. Hoffman RA, Roza M, Maat J, Kamerling JP, Vligenthart JFG. 1991. Structural characteristics of the cold-water soluble arabinoxylans from the white flour of the soft wheat variety kadet. *Carbohydr Polym*, 15: 415-430.
18. Sancho AI, Bartolome B, Gomez-cordoves C., Williamson G, Faulds CB. 2001. Release of ferulic acid from cereal residues by barley enzymatic extracts. *J Cereal Sci*, 34: 173-179.
19. Meuser F, Suckow P. 1986. Non starch polysaccharides. In: *Chemistry and Physics of Baking*, JMV. Frazier and T Galliard. (eds), pp. 42-61, The Royal Society of Chemistry.
20. Fincher GB, Sawyer WH, Stone BA. 1974. Chemical and physical properties of an arabinogalactan-peptide from wheat endosperm. *Biochem J*, 139, 535-545.
21. Strahm A, Amado R, Neukom H. 1981. Hydroxyproline-galactoside as a protein-polysaccharide linkage in a water soluble arabinogalctan-peptide from wheat endosperm. *Phytochem*, 20: 1061.
22. Loosveld AMA, Delcour JA. 2000. The significance of arabinogalactan-peptide for wheat flour bread making. *J Cereal Sci*, 32: 147-157.
23. Loosveld A, Maes C, Van Casteren WHM, Schols HA, Grobet PJ, Delcour JA. 1998. Structural variation and levels of water-extractable arabinogalactan-peptide in european wheat flours. *Cereal Chem* 75 (6): 815-819.
24. Gruppen H, Marseille JP, Voragen AGJ, Hamer RJ. 1990. On the large scale isolation of water-insoluble cell wall material from wheat flour. *Cereal Chem*, 67 (5): 512-514.
25. Gruppen H, Kormelink FJM, Voragen AGJ. 1993. Enzymic degradation of water-unextractable cell wall material and arabinoxylans from wheat flour. *J Cereal Sci*, 18: 129-143.
26. Rouau X, Surget A. 1998. Evidence for the presence of a pentosanase inhibitor in wheat flours. *J Cereal Sci*, 28: 63-70.
27. Courtin CM, Delcour JA. 2001. Relative activity of endoxylanases towards water-extractable and water-unextractable arabinoxylan. *J Cereal Sci*, 33: 301-312.
28. Michniewicz J, Biliaderis CG, Bushuk W. 1990. Water-insoluble pentosans of wheat: composition and some physical properties., *Cereal. Chem.* 67 (5): 434-439.
29. Eliasson AC, Larsson K. 1993. *Cereals In Bread Making*. Marcel Dekker, Inc., 376 s. USA.
30. Michael ENA. 1990. *Biochemistry of Food*. Academic Press, Inc, 557 s. USA .