



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SORGUM SAPLARINDAN DERİN ÖTEKTİK ÇÖZÜCÜ KULLANARAK KAĞIT
HAMURU ÜRETİMİ**

HAZIRLAYAN

AYSUN MUSTAK

DANIŞMAN

DOÇ. DR. AYHAN GENÇER

BARTIN-2019



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SORGUM SAPLARINDAN DERİN ÖTEKTİK ÇÖZÜCÜ KULLANILARAK KAĞIT
HAMURU ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Aysun MUSTAK

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	:	Doç. Dr. Ayhan GENÇER	- Bartın Üniversitesi
Üye	:	Doç. Dr. Ayben KILIÇ PEKGÖZLÜ	- Bartın Üniversitesi
Üye	:	Dr. Öğr. Üyesi Hikmet YAZICI	- Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Aysun MUSTAK tarafından hazırlanan “SORGUM SAPLARINDAN DERİN ÖTEKTİK ÇÖZÜCÜ KULLANILARAK KAĞIT HAMURU ÜRETİMİ” başlıklı bu çalışma, 01.08.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ayhan GENÇER (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Ayben KILIÇ PEKGÖZLÜ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hikmet YAZICI

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Ayhan GENÇER danışmanlığında hazırlamış olduğum “SORGUM SAPLARINDAN DERİN ÖTEKTİK ÇÖZÜCÜ KULLANILARAK KAĞIT HAMURU ÜRETİMİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

01.08.2019

Aysun MUSTAK



ÖNSÖZ

Tez danışmanlığımı yürüten, laboratuvar çalışmalarında bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım değerli hocam Doç. Dr. Ayhan GENÇER'e saygıyla ve içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

07.09.2016 - 05.02.2018 tarihleri arasında danışmanlığımı üstlenen, yüksek lisans çalışma döneminde her türlü konuda beni yalnız bırakmayan, laboratuvar çalışmalarımın yürütülmesi sırasında üstün sabır, gayret, emek ve güler yüzü ile araştırma konusunun seçiminden sonuçlandırılmasına kadar katkı ve emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Sezgin Koray GÜLSOY'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez savunma sınavına jüri üyesi olarak bizlere eşlik etme nezaketinde bulunan değerli hocalarım Doç. Dr. Ayben KILIÇ PEKGÖZLÜ ve Dr. Öğr. Üyesi Hikmet YAZICI' ya fikir ve önerileri ile sağladıkları katkıları için teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Tezimin hazırlanması aşamasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. İsmail ÖZLÜSOYLU hocama teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans dönemimde olduğu gibi tez çalışmalarımda da bana sürekli destek olan kıymetli arkadaşım Ülkü Burcu GİTTİ' ye, yardımda bulunan Zeynep Eda OZAN ve Muhsin TAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2017-FEN-CY-010). Katkılarından dolayı Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne' ne teşekkür ederim.

Beni bu günlere getiren, sevgisini ve güvenini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

Aysun MUSTAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SORGUM SAPLARINDAN DERİN ÖTEKTİK ÇÖZÜCÜ KULLANARAK KAĞIT HAMURU ÜRETİMİ

Aysun MUSTAK

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ayhan GENÇER

Bartın-2019, sayfa: 67

Derin ötektik çözücüler (DÖÇ), doğal, organik maddelerden oluşan, biyo-bozunur, yanıcı olmayan, uçucu olmayan, zehirli olmayan, çevreye dost, hazırlanması kolay, kokusuz, renksiz ve kullanıldıktan sonra kolayca geri dönüştürülebilen çözücülerdir. Bu çalışmada, çevreye dost bir kimyasal olan DÖÇ kullanılarak sorgum (*Sorghum bicolor* x *S. bicolor* var. *sudanense*) saplarından kağıt hamuru üretim olanakları araştırılmıştır. Kağıt hamuru ve kağıt özelliklerini karşılaştırmak için, geleneksel kağıt hamuru üretim yöntemlerinden soda ve Kraft yöntemleri ile de kağıt hamuru üretilmiştir. DÖÇ kullanılarak kağıt hamuru üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. DÖÇ ile sorgum saplarından elde edilen kağıt hamurlarının ve kağıtlarının bazı özelliklerinin soda ve Kraft yöntemi ile elde edilenlerle karşılaştırılabilir seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin ötektik çözücü; etilen glikol; kağıt hamuru; kolin klorür; sorgum sapı.

Bilim Kodu: 502.06.02

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PULP PRODUCTION USING DEEP EUTECTIC SOLVENT FROM SORGHUM STALKS

Aysun MUSTAK

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Industry Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Ayhan GENÇER

Bartın-2019, pp: 67

Deep eutectic solvents (DES) are characterized for natural, organic, biodegradable, non-flammable, non-volatile, non-toxic, environmentally friendly, easy to prepare, odorless, colorless, and easily to recycle after use. In this study, pulp and paper production possibilities from sorghum stalks (*Sorghum bicolor* x *S. bicolor* var. *sudanense*) using a green DES were investigated. Also, soda and kraft cooks from traditional pulp production methods were carried from sorghum stalks to compare with DES pulps. Pulp production using DES was accomplished successfully. Some pulp and paper properties of DES pulps were comparable with soda and kraft pulps.

Keywords: Sorghum; deep eutectic solvents; sorghum stalks; pulp, choline chloride; ethylene glycol.

Science Code: 502.03.01

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Kağıdın Tanımı.....	2
1.3 Sorgum (<i>Sorghum bicolor</i> x <i>S. bicolor</i> var. <i>sudanense</i>) Hakkında Genel Bilgiler	4
1.3.1 Sorgum Bitkisinin Botanik Özellikleri.....	5
1.3.2 Sorgum Bitkinin Bileşimi, Besin Değeri ve Kullanımı	6
1.4 Derin Ötektik Çözücüler (DÖÇ).....	7
1.5 Derin Ötektik Çözücülerin Hazırlanmasında Kullanılan Bazı Kimyasallar.....	10
1.5.1 Kolin Klorür ($C_5H_{14}ClNO$).....	10
1.5.2 Etilen glükol ($C_2H_6O_2$)	10
1.5.3 Üre (CH_4N_2O).....	11
1.5.4 Gliserin ($C_3H_8O_3$)	11
1.6 Derin Ötektik Çözücülerin Kullanım Alanları	12
1.7 Çalışmanın Amacı	12
BÖLÜM II.....	13
LİTERATÜR ÖZETİ	13
2.1 Lignoselülozik Maddelerin DÖÇ'ler İle Muameleleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar	13
2.2 Sorgum Saplarının Kağıt Hamuru Üretiminde Kullanımı İle İlgili Yapılan Çalışmalar	15
BÖLÜM III.....	16
MATERYAL VE METOT.....	16
3.1 Materyal.....	16
3.2 Metot.....	17

3.2.1 Sorgum Liflerinin Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	17
3.2.1.1 Keçeleşme Oranı	18
3.2.1.2 Elastiklik Katsayısı	18
3.2.1.3 Runkel Sınıflaması	18
3.2.2 Kimyasal Analizler	18
3.2.3 Pişirme İçin Sorgum Saplarının Hazırlanması.....	19
3.2.4 Pişirme Çözeltilisinin Hazırlanması ve Pişirme.....	19
3.2.5 Kağıt Hamurunda Yapılan Analizler	22
3.2.6 Deneme Kağıtlarının Elde Edilmesi	23
3.2.7 Kâğıtların Fiziksel, Optik ve Mekanik Özellikleri	24
3.2.8 Verilerin Değerlendirilmesi	25
BÖLÜM IV	26
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
4.1 Sorgum Saplarının Lif Morfolojisine Ait Bulgular	26
4.2 Kimyasal Analiz Sonuçları	27
4.3 Kağıt Hamurlarına Ait Bulgular	27
4.3.1 Kâğıt Hamurlarının Verimi Ve Bazı Kimyasal Özellikleri	27
4.3.2 Hamurların İstenilen Serbestlik Derecesine Ulaşma Süresi	33
4.4 Kağıtların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	34
4.4.1 Kopma İndisi	36
4.4.2 Uzama	38
4.4.3 TEA	41
4.4.4 Yırtılma İndisi	44
4.4.5 Patlama İndisi.....	47
4.4.6 Hacimlilik.....	49
4.4.7 Hava Geçirgenliği	52
4.5 Kağıtların Optik Özellikleri	54
4.5.1 Opaklık.....	56
4.5.2 Parlaklık	58
BÖLÜM V	61
SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
BİBLİYOGRAFYA	66

ÖZGEÇMİŞ.....	67
---------------	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
1.1: İki bileşenin ötektik çözücü oluşturmak için karıştırılması.	8
1.2: Hidrojen bağı oluşumu.	8
1.3: Kolin klorürün kimyasal yapısı	10
1.4: Etilen glikolün kimyasal yapısı.	10
1.5: Ürenin kimyasal yapısı	11
1.6: Gliserinin kimyasal yapısı.	11
1.7: DÖÇ'lerin elde edilmesi.	12
3.1: Sorgum bitkisi.	16
3.2: Sorgum saplarından 3 cm uzunluğunda kesilmiş örnekler.	17
3.3: Katı- Sıvı fazdaki DÖÇ karışımı.	20
3.4: Sıvı fazdaki DÖÇ karışımı.	20
3.5: Lif açıcı	22
3.6: Somerville tipi lif eleği.	22
3.7: Hollander.	23
3.8: Schopper Riegler test cihazı	23
3.9: Rapid Köthen kağıt makinası	24
4.1: Kağıt hamurlarının elenmiş verim değerleri.	29
4.2: Kağıt hamurlarının elek artığı değerleri.	29
4.3: Kağıt hamurlarının toplam verim değerleri.	30
4.4: Kağıt hamurlarının yıkanma sonrası elenmiş verim değerleri.	31
4.5: Kağıt hamurlarının yıkanma sonrası toplam verim değerleri.	31
4.6: Şekil 22: Kağıt hamurlarının kappa numarası değerleri.	32
4.7: Hamurların viskozite değerleri.	33
4.8: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların kopma indisi.	36
4.9: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların kopma indisi.	37
4.10: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların kopma indisi.	38
4.11: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların uzama değerleri.	39
4.12: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların uzama değerleri.	40
4.13: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların uzama değerleri.	41
4.14: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların TEA değeri.	42

4.15: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların TEA değeri.	43
4.16: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların TEA değeri.	44
4.17: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi.....	45
4.18: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi.	45
4.19: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi.	46
4.20: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların patlama indisi.....	47
4.21: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların patlama indisi.	48
4.22: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların patlama indisi.	49
4.23: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hacimlilik değeri.	50
4.24: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hacimlilik değeri.	51
4.25: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hacimlilik değeri.	51
4.26: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hava geçirgenliği değeri.	52
4.27: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hava geçirgenliği değeri.	53
4.28: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hava geçirgenliği değeri.	54
4.30: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların opaklık değeri.	56
4.31: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların opaklık değeri.	57
4.32: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların opaklık değeri.	57
4.33: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların parlaklık değeri.	58
4.34: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların parlaklık değeri.	59
4.35: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların parlaklık değeri.	60

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: DÖÇ oluşturan hidrojen bağı alan ve veren maddeler	9
1.2: DÖÇ tipleri	9
2.1: DÖÇ'ler kullanılarak yapılan delignifikasyon çalışmaları.	14
3.1: Kimyasal analizlerde kullanılan yöntemler	19
3.2: Pişirme.....	20
3.3: Kağıt testleri.	24
4.1: Sorgum saplarının lif morfolojilerinin farklı kaynaklarla kıyaslanması	26
4.2: Sorgum saplarının kimyasal bileşiminin farklı kaynaklarla kıyaslanması.....	27
4.3: Kağıt hamuru verimleri.	28
4.4: Hamurların istenilen serbestlik derecesine ulaşma süresi.	33
4.5: Dövülmemiş hamurdan elde edilen kağıtların fiziksel ve mekanik özellikleri.	34
4.6: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların fiziksel ve mekanik özellikleri	35
4.7: 43 °SR hamurdan elde edilen kağıtların fiziksel ve mekanik özellikleri.	35
4.8: Dövülmemiş hamurdan elde edilen kağıtların optik özellikleri.	54
4.9: 33 °SR Hamurdan elde edilen kağıtların optik özellikleri.....	55
4.10: 43 °SR hamurdan elde edilen kağıtların optik özellikleri.	55

KISALTMALAR DİZİNİ

DÖÇ	: Derin Ötektik Çözücü
K1	: Kraft1 Pişirmesi
K2	: Kraft2 Pişirmesi
S1	: Soda1 Pişirmesi
S2	: Soda2 pişirmesi
DÖÇ1	: DÖÇ1 Pişirmesi
°SR	: Schopper Riegler
K	: Kolin klorür
EG	: Etilen glikol
NaOH	: Sodyum hidroksit
m ²	: metrekaare
cm	: santimetre

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Kağıt çok geniş bir kullanım alanına sahip olması bakımıyla hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Kültürel hayatımızdaki yerinden sanata, ticaretten iletişime, eğitimden sağlığa, temizlikten gıda sektörüne kadar insanın var olduğu her alanda kullanılmaktadır.

Ülkelerin gelişmişlik ve refah seviyesinin yükselmesi, kağıt tüketiminin artmasındaki en önemli etkidir. Bununla beraber okuma yazma oranı ve nüfus artışı, kağıt tüketimini arttıran diğer unsurlardır. Günümüzde teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle azalacağı düşünülen kağıt tüketimi, bunun tam tersine artmaktadır.

Yapraklı ve iğne yapraklı ağaç odunları kağıt hamuru üretimi için ana hammadde kaynağını oluşturmaktadır. Yapraklı ağaç odunlarından elde edilen kağıt hamurları, kaba kağıt verirken, kısa lif boyutuna sahip olması nedeniyle kağıdın yüzeyindeki boş hacimleri doldurmaktadır. Bu da kağıdı daha opak ve baskı için daha uygun kılmaktadır. Yapraklı ağaç odunlarından düşük dirençli kağıt elde edilmektedir. İğne yapraklı ağaç odunlarından elde edilen kağıt hamurları, direncin arandığı kağıt türleri için tercih edilmesine karşın, kabalığı göz ardı edilebilir düzeydedir.

Günümüzde kağıt hamurlarının büyük çoğunluğu (yaklaşık %95'i) odundan elde edilmektedir. Kağıtta bulunan geri dönüştürülmüş lif sayısındaki önemli artışa rağmen, birincil lif kullanımı sürekli olarak artmaktadır. Ekonomik ve çevresel kısıtlamalar nedeniyle ormanlarımız artık bu ihtiyacı karşılayamamaktadır. Bu nedenle yıllık bitkilerden kağıt hamuru elde edilmesi ve kağıt üretiminde kullanılması kaçınılmazdır.

Kağıt hamuru üretiminde kullanılan selüloz; odun, keten, bambu, saman, pamuk ve diğer bitkisel materyallerin hücre çeperinin temel maddesini oluşturmakta olup, odunun hücre çeperinin %40-60'nı kapsar.

Suyu iten bir madde olan lignin iğne yapraklı ağaç odunlarında %25-35 yapraklı ağaç odunlarında %17-25 oranında bulunmaktadır. Kimyasal kağıt hamuru üretimindeki amaç odundaki veya yıllık bitkilerdeki lifleri bir arada tutan ve çoğunlukla ligninden oluşan orta lameli kimyasal yolla çözerek (delignifikasyon=lignin giderme) lifleri bireysel hale getirmektir. Bu işlem sırasında hücre çeperi içerisindeki lignin ve hemiselülozların büyük bir kısmı da çözüldüğünden bireysel hale geçen liflerin esneklikleri de artar.

Kimyasal kağıt hamuru üretiminde Soda ve Kraft pişirmesi olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Kraft pişirmesinde NaOH (sodyum hidroksit) ve Na₂S (sodyum sülfid), Soda pişirmesinde ise NaOH(sodyum hidroksit) kullanılmaktadır. Kraft pişirmesinde Na₂S maddesi kullanıldığından pişirme ve geri kazanma sırasında çıkan merkaptanlar ve H₂S atmosfere bırakıldığından hoş olmayan koku yayılmaktadır. Ayrıca Kraft yönteminde kullanılan kimyasal maddelerin aşındırıcılık özellikleri vardır. Kraft yöntemi dünya genelinde yaygın olarak kullanılan kimyasal kağıt hamuru üretim yöntemidir. Birçok avantajına rağmen (yüksek sağlamlık, farklı lignoselülozik hammaddelerde kullanım vb.) üretim esnasında çevreye zararlı kimyasallar (non-green,toxic) kullanılması nedeniyle hava ve su kirliliğine neden olduğu için tartışmasız bir şekilde çevreye dost bir metot değildir. Kraft yönteminin olumsuz özelliklerini gidermek amacıyla çevreye dost organosolv yöntemler başta olmak üzere birçok alternatif ve modifiye yöntemler geliştirilmektedir.

1.2 Kağıdın Tanımı

Kağıt, bitkisel liflerin özel aletlerde dövülmesi sonucu liflerin keçeleşmesi, saçaklanması, su emerek şişmesi ve mekanik etkiler sonucu kesilmesinden sonra süzgeç üzerinde oluşturulan safihanın daha sonra kurutulmasıyla hidrojen bağlarının oluşumu sonucu belirli bir sağlamlık kazanan düzgün safihadır (Eroğlu, 1990).

Kâğıt, bugünkü uygarlığımızın vazgeçilmez bir gereksinmesidir. Bu nedenle; daha önce de belirtildiği gibi ulusların gelişme durumunu gösteren bir ölçü olarak sürekli kullanılmaktadır. Dolayısıyla bir ülkenin gelişme durumu ile kişi başına kâğıt tüketimi arasında sıkı bir ilişki vardır.

Bugün çeşitli kullanma amaçlarına göre çok çeşitli kağıtlar üretilmektedir. Öyle ki bunların çeşit sayısını bile saptamak imkânsızdır. Kağıdın önemli özelliklerinden birisi de m^2 ağırlığıdır. Buna göre üç çeşit lifsel ürüne ayrılabilir (Eroğlu ve Usta, 2004).

- a. Kağıt 10-150 g/m^2
- b. Karton 150-400 g/m^2
- c. Mukavva 400-1200 g/m^2

Sektörün nihai ürününü oluşturan kağıtlar ve kartonlar literatürde genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar;

A) Kültürel Kağıtlar

Yazı Tabı Kağıtları: Üzerine yazı yazılabilir ve baskı yapılabilir nitelikte kağıtlardır. Kompozisyon itibarıyla kimyasal kağıt hamuru veya kimyasal kağıt hamuru ile mekanik odun kağıt hamurundan oluşmaktadır. Ayrıca, bu kağıtlara kullanım amacına bağlı olarak kaplama (kuşeleme) işlemi uygulanmaktadır.

Gazete Kağıdı: Yüksek oranda mekanik kağıt hamuru ile düşük oranlarda kimyasal kağıt hamuru ihtiva eden ve özellikle gazete basımı için kullanılan kağıtlardır.

B) Endüstriyel Kağıtlar

Sargılık Kağıtlar: Kağıt ve kağıt hamurundan elde edilen ambalaj malzemesi olarak kullanılan kağıtlardır.

Temizlik Kağıtları: Atık kağıttan, az miktarda kağıt hamuru (CTMP,TMP) içeren düşük gramajlı kağıtlardır.

Kraft Torba Kağıdı: Beyazlatılmamış ya da beyazlatılmış kraft kağıt hamurundan yapılan çok dayanıklı ambalaj kağıdıdır.

Oluklu Mukavva Kağıtları: Bir veya daha fazla oluklu tabakanın alt ve/veya üst yüzeylerinin düz tabaka (kraft liner) ile kaplanmasıyla meydana gelen bir üründür. Ambalaj kutularının imalinde ve kırılğan eşyanın paketlenmesinde seperatör ve destekleyici olarak kullanılır.

Kartonlar: Yüksek gramajlı, kalın, tek veya çok katlı olabilen kağıtlardır. Kullanım amacına bağlı olarak çok çeşitli adlarda ve özelliklerde üretimi yapılmaktadır.

Sigara ve İnce Özel Kağıtlar: Genellikle kendir, keten, jüt ve paçavra ve kağıt hamurundan üretilen yüksek mukavemetli ve düşük gramajlı kağıtlardır (Eroğlu ve Usta, 2004).

1.3 Sorgum (*Sorghum bicolor* x *S. bicolor* var. *sudanense*) Hakkında Genel Bilgiler

Tatlı sorgum-Sudan otu melezi bitkisi, bilimsel adı *Sorghum bicolor* x *S. bicolor* var. *sudanense* olan, C4 fotosentezine sahip tek yıllık, yaz dönemi bitkisidir (Köppen, 2009). Sorgum ince saplı, uzun boylu, bol yapraklı, bol kardeşli ve saplarının içerisinde fermente olabilir şeker oranı yüksek bir bitkidir (Karadaş, 2008). Sorgum-sudan otu melezi genellikle PH'ı 5,5 ile 8,3 arasındaki topraklarda büyüebilmekle birlikte her türlü toprakta da yetişebilir ancak zayıf topraklarda yeterli su ve gübre verilirse daha yüksek verim elde edilir. Sorgum-sudan otu melezi tuzluluğa, alkaliliğe, kuraklığa ve sıcaklığa oldukça dayanıklı bir bitkidir. Sorgum bitkileri kurak ve yarı kurak bölgelerde sulanarak yetiştirildiğinde iyi gelişen ancak kurak dönemlerde su stresine de oldukça dayanıklı bitkilerdir. Sorgumlar kurak dönemler sona erdiğinde, tekrar vejetatif büyümeye dönebilmektedir (Barnes vd., 1995). Sorgum ve türlerinin ana vatanı Afrika olmakla beraber dane, yeşil ve kuru yem, şıra, duvar kaplama gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Dayton, 1948).

Sorgum türleri birbirleri arasında kolayca melezlenerek verimli döller vermekte olup, sorgum (*Sorghum bicolor* Moench) ile sudan otu (*Sorghum sudanense* Stopf.)'nin melezlenmesi sonucu sorgum-sudan otu melezi elde edilmiştir (Skerman ve Riveros, 1990). Sorgum sudan-otu melezi son derece hızlı gelişen lezzetli, yeşil hayvan yemi olarak besleyici, bir mevsimde çok sayıda biçmeye elverişli, bitkisel özellikleri yönünden daha çok sudan otuna benzemekte olup, sudan otuna göre daha iri habituslu, daha yapraklı, saplarının daha kalın ve daha sulu olması nedeniyle özellikle A.B.D.'de sığırcılık işletmeleri için en önde gelen yem bitkilerinden birisi olarak yetiştirilmektedir (Sağlamtimur vd., 1998).

Sorgum bitkisinin toprak üstü aksamının fazla oluşu, üretim maliyetlerinin düşük oluşu, su stresine dayanıklı olması ve biçimden sonra hızlı bir şekilde yeniden sürme ve gelişme yeteneğine sahip olması gibi üstün özellikleri nedeni ile ekim alanı hızla artmaktadır (Balabanlı ve Türk, 2005).

Sorgum, Dünyada insan ve hayvan beslenmesinde en fazla kullanılan beş ana üründen birisidir. Dünyada ekiliş ve üretim bakımından buğday, mısır, çeltik ve arpadan sonra beşinci sırada yer almaktadır (Baytekin, 1992). Yaklaşık olarak 5 bin yıldan beri tarımı yapılan sorgum anavatanı Afrika'dan tüm dünyaya yayılmıştır.

Sorgum çeşitleri yönünden çok zengin olan Etiyopya ve Doğu Afrika kültür sorgumlarının kökeni olarak kabul edilmektedir (Açıkgöz, 1991). Tek yıllık buğdaygil yem bitkilerimizden olan sorgum ve sudan otunun ülkemizde ekimi giderek yaygınlaşmaktadır. Sulama imkânı olan tarlalarda verimi yüksek olan sorgumun ülkemizde ana ürün veya II. ürün olarak ekimi yapılmaktadır. Sorgum ve Sudan otu uygun yetişme koşullarında 6-7 kez biçilir ve toplam olarak 8-10 ton/da yeşil ot verebilir (Tıknazoğlu, 2006).

1.3.1 Sorgum Bitkisinin Botanik Özellikleri

Sorgum, tek gövdeli, bol yapraklı ve yüksekliği 1-5 m'ye kadar ulaşan tohumlu, bir tahıl bitkisidir.

Kök Sistemi: Tatlı sorgum, kökün epidermisi ağır disilikat kaplı bir katmandan oluşan çok kuvvetli bir kök sistemine sahiptir. Kök, kurak bir dönem boyunca kök sisteminin çürümesini engelleyen, yeterli mekanik desteği sağlayan, tam bir silikon sütun formunda olgunlaşarak gelişen bir yapıya sahiptir.

Bitkinin kuraklığa karşı dayanıklılığı ve su alım etkisi kök sisteminin canlılığını belirlemede önemli faktörlerden birisidir. Mısır ve sorgumun embriyonal kökleri eşit miktarda uzarken, sorgumun adventif kökleri mısıra göre iki kat uzar (Guiying vd., 2003; Eren, 2011).

Sap (Gövde): Boğum ve boğum aralarından oluşan sap kısmı % 5-15 oranında şeker içerebilir. Uzunluğu 0,6-5 m, çapı 1,5-3 cm olan ana sap üzerinde yaklaşık 10-20 adet boğum vardır. Genelde boğum arası uzunluk, aşağıdan yukarı çıkıldıkça artar.

Hasat tohumlar olgunlaştığında sap kesilerek yapılır. Hasattan sonra anız sapındaki durgun filiz kardeşlenme dönemindeki halini alır. Bu filizler iyi bir şekilde gelişerek yeni saplar oluşturabilir. Kök sistemi daha önceki kök sistemi olduğundan yeni bitkilerin gelişme dönemi daha kısa olacaktır. Sapın dışında çok sıkı kalın zarımsı doku vardır. İçi ise şeker ile depolanan sünger doku (öz) ile doldurulmuştur.

Sapın epidermisi, iklim kuru olduğu zaman bitkiden suyun buharlaşmasını engelleyen, bitkinin sapı su ile dolu olduğu zaman da sapın içine su emilimini engelleyen beyaz balmumu tozu ile kaplıdır.

Bu özelliklerinden dolayı, tatlı sorgum sadece kuraklığa karşı dirençli bir bitki değil, aynı zamanda su emmeye karşı da dirençlidir. Sap ağırlığı; çeşitlerle, bitki yoğunluğu, çevre ve yetiştirme koşullarıyla ilişkili olarak değişir. Yapraklar soyulduktan sonra kalan sapın miktarı, genellikle toprak yüzeyinin üzerindeki ağırlığının % 60-80'i kadardır (Guiying vd., 2003; Eren, 2011).

Yaprak: Yaprak kını, yaprak ayası ve yakacıktan oluşan yaprak paralel damarlıdır. Yapraklar, 30-135 cm uzunluğunda ve 6-13 cm genişliğindedir. Her bir boğumdan bir yaprak üretilir. Bir bitkideki yaprak sayısı saptaki boğum sayısına eşittir. Çünkü her bir boğumdan bir yaprak oluşur. Yaprak sayısı, çeşide ve bitkinin yetiştirildiği enleme bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Salkım: Çiçekler, birçok kırmızımsı çiçekten oluşmuş karışık salkım topluluğunda bulunur. Yaprak kınından gelişen karışık salkım hemen çiçeklenmeye başlar. İlk önce en tepedeki küçük başaklar, daha sonra sırasıyla salkımın ortasındaki başaklar ve en son alttaki kısım çiçeklenir.

Tohum: Kabuk ve tohumun renkleri çok farklı olabilmekte olup tohumlar kavuzla kaplıdır. Tohum kabuğu, tanen içerir ve biraz asit tadındadır. Eğer, tohum alkali topraklarda ekilirse, tanenin bazikliği etkisizleştirebilme özelliğinden dolayı tohumun çimlenmesinde baziklığın olumsuz etkisi lokal olarak azaltılabilir (Guiying vd.,2003; Eren, 2011).

1.3.2 Sorgum Bitkinin Bileşimi, Besin Değeri ve Kullanımı

Tatlı sorgum bitkisinin toplam kütlesinin, % 70-75'i saptan, % 10-15'i yapraktan, % 7'si taneden ve % 10'u kökten oluşur (Grassi, 2001). Şeker miktarı ve içeriği; tatlı sorgum bitkisinin şeker içeriği oldukça yüksektir. En fazla şeker saplarda (% 78,7) bulunur. Bunu sırasıyla, salkım (% 2,99) ve yapraklar (% 2,54) takip eder. Sap kısmında 14'ten fazla şeker çeşidi vardır ve hepsi homojen olarak dağılmıştır. Bunlardan en fazla bilinenleri; sakkaroz, fruktoz ve glikozdur.

Rajvanshi ve Nimbkar (2008) yaptıkları bir çalışmada 1 ha'lık bir alanda tatlı sorgum üretimi yapıldığı zaman 75-100 t/ha yeşil aksam elde edildiğini ve bunun 2-4 tonun tohum, 5-7 tonun kuru yaprak olduğunu ve 60-80 tonunun soyulmuş saplardan olduğunu ve bundan da 15-20 ton kuru sap elde edildiğini belirlemiştir. Böylece 1 ha'lık alandan 5-7 tonu kuru yaprak, 15-20

tonu kuru sap olmak üzere kağıt hamuru üretimi için toplamda yaklaşık olarak 25 ton hammadde elde edilebileceği görülmektedir.

Tatlı sorgum, taşıma yakıtı (biyoetanol, hidrojen ve metanol kaynağı olarak), enerji (elektrik ve ısı), hayvan yemi, kağıt hamuru üretimi, mangal kömürü, aktif kömür, bitki besin proteini (DDG) ve şurup yapımı gibi kullanım amaçları doğrultusunda yetiştirilebilmektedir (Chiaramonti ve Agterberg, 2002; Eren, 2011). Sorgumun kullanım amacına göre birçok faydası vardır. Bitki olarak, tohumla çoğalan, yetişme dönemi kısa olan, hem insan gıdası hem de hayvan yemi olarak kullanılan çiftçi dostu bir bitkidir. Bunlarla birlikte C4 kurak bölge bitkisi olup dayanımı oldukça yüksek toprak N_2O - CO_2 emisyonu düşük bir bitkidir. Etanol olarak kullanıldığında, düşük sülfürlü, üstün kaliteli, motor dostu olan, yüksek oktanlı ve çevre dostudur. Küspe olarak kullanıldığında, yüksek biyolojik değerli, mikro besinlerce zengin olan hem gıda hemde güç konjenrasyonunda kullanılabilen, silaj için de iyi özelliklere sahip olan bir bitkidir. Endüstriyel üretimde hammadde olarak kullanıldığında ise, bütanol ve alkolü içkiler üretilebilir, Fermentasyon yan ürünleri olarak donmuş CO_2 , asetik asit, fuzel yağı ve metan üretilebilir ve aynı zamanda kağıt hamuru ve kağıt yapımı için uygun maliyetli bir kaynaktır.

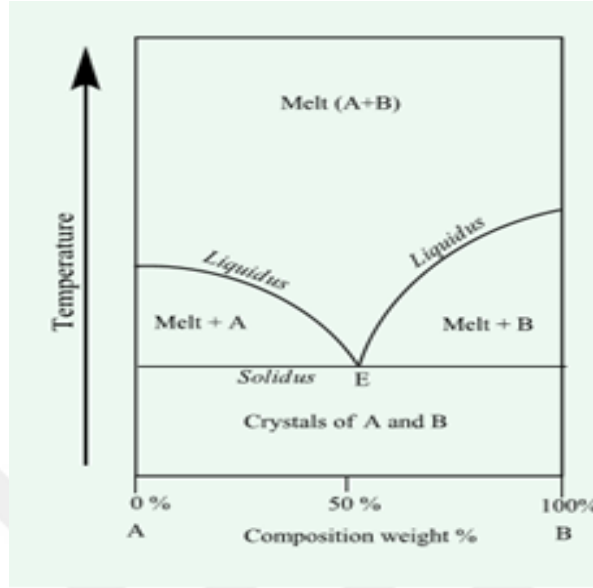
1.4 Derin Ötektik Çözücüler (DÖÇ)

Derin ötektik çözücülerini anlayabilmemiz için öncelikle ötektik kavramının ne olduğunu bilmemiz gerekir. Ötektik terimi, Yunanca “eutektos” kelimesinden gelip, “kolayca eriyen” anlamındadır. Birbiri içerisinde sınırlı oranlarda çözünen sistemlerde, karışımın belli bir bileşimde katılaştığı en düşük sıcaklığa denir (URL-1, 2019).

Abbott tarafından 2003 yılında keşfedilen DÖÇ’ler iki veya üç farklı bileşenin karıştırılması ile elde edilen iyonik yapıdaki çözücülerdir. Kuaterner amonyum tuzlarının hidrojen bağı donörüne sahip bileşenlerle karıştırılması ile elde edilir. Bu karışımla elde edilen DÖÇ anyonunun erime noktasının onu oluşturan bileşenlerden daha düşük olması, delignifikasyon sırasında daha düşük sıcaklık kullanılması olanağını sağlamaktadır. Bu avantajından dolayı pişirme sırasında hem enerji sarfıyatı azalır hem de maliyeti düşürülebilir. Ayrıca selülozun yüksek sıcaklıklarda olası bozunma reaksiyonları minimize edilebilir.

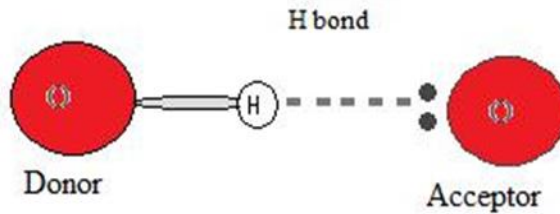
Örneğin 1:2 mol oranında kolin klorür ve ürenin karışımından elde edilen relinin erime noktası 12 °C olup, oda sıcaklığında sıvı haldedir. Buna karşın, relini oluşturan bileşenlerden kolinin

(hidrojen bağı alan madde) erime noktası 302 °C, ürenin (hidrojen bağı veren madde) erime noktası ise 133 °C'dir (Abbott vd., 2003).



Şekil 1.1: İki bileşenin ötektik çözücü oluşturmak için karıştırılması.
E: en düşük erime noktası (ötektik nokta) (Abbott, 2010).

Bir çözelti içerisinde farklı bileşiklerin molekülleri arasında hidrojen bağları oluşabilir. DÖÇ'ler bu tür bağ yapabilen bileşiklerdir. Kuvvetli bir H-bağı oluşabilmesi için 2 koşul vardır. Bunlar H-bağına proton sağlayan (proton verici-hydrogen bond donor) yüksek polaritede moleküller ve H-bağına elektron çifti sağlayan (proton kabul edici-hydrogen bond acceptor) atomları küçük moleküllerdir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Hidrojen bağı oluşumu (URL-2,2019).

Derin ötektik çözücülerin hazırlanmasında kullanılan proton ve elektron çifti sağlayıcı Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1: DÖÇ oluşturan hidrojen bağı alan ve veren maddeler (Abbott, 2010).

PROTON VERİCİ (proton sağlayan)	PROTON KABUL EDİCİ (elektron sağlayan)
ASİTLER (HO₂CCO₂H) Oksalik asit (HO ₂ CCO ₂ H) Malonik asit (HO ₂ CCH ₂ CO ₂ H) Laktik asit Malik asit Nikotinik asit	Kolin Klorür Betain Alanin Glisin Histidin Prolin
AMİDLER (H₂N-C=O-R₂) Üre (NH ₂ CONH ₂) Tiyoüre (NH ₂ CSNH ₂)	
ALKOLLER (HO-R₃) Gliserin (C ₃ H ₈ O ₃) Etilen glikol (C ₂ H ₆ O ₂)	

Dört çeşit DÖÇ bulunmakta olup bunlar Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2: DÖÇ tipleri.

Tip 1	Metal tuzu + organik tuz (Örn: ZnCl ₂ + kolin klorür)
Tip 2	Metal tuzu hidrat + organik tuz (Örn: CoCl ₂ ·6H ₂ O + kolin klorür)
Tip 3	Organik tuz + hidrojen bağı donörü (Örn: kolin klorür + üre)
Tip 4	Metal tuzu (hidrat) + hidrojen bağı donörü (Örn: ZnCl ₂ + üre)

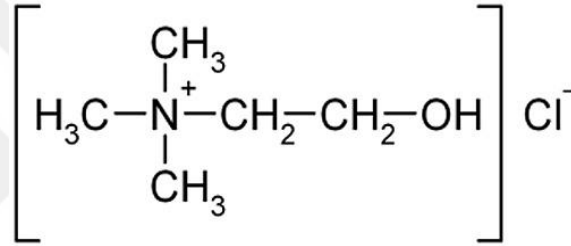
Derin ötektik sıvıların, çözücü olarak kullanılması klasik çözücülere oranla pek çok avantajının olmasından kaynaklanmaktadır. Öncelikle, polariteleri oldukça yüksek olduğundan derin ötektik çözücüler, klasik çözücülerde çözünmeyen selüloz gibi pek çok organik veya inorganik maddeyi çözebilme özelliğine sahiptir. Bunun yanında, derin ötektik çözücüler, çevreci çözücüler olarak nitelendirilmektedir. Derin ötektik çözücüler; organik maddelerden oluşmakta olup, ucuz, biyobozunur, yanıcı olmayan, uçucu olmayan, çevreye dost (non-toxic), hazırlanması kolay, kokusuz ve renksiz çözücülerdir (De Dios, 2013). DÖÇ’lerin yoğunlukları sudan daha yüksek olup, yüksek viskoziteye, düşük iyonik iletkenliğine sahip çözücülerdir. DÖÇ’ler son yıllarda yukarıda belirtilen bu avantajları nedeniyle dikkat çeken bir konu olup, farklı uygulamalarda (biyokataliz, ilaç, CO₂ absorpsiyonu, diğer çeşitli kimyasal ve endüstriyel

uygulamalar) DÖÇ'lerin kullanım olanaklarının araştırıldığı birçok araştırma yayınlanmaktadır (Wu vd., 2012).

1.5 Derin Ötektik Çözücülerin Hazırlanmasında Kullanılan Bazı Kimyasallar

1.5.1 Kolin Klorür ($C_5H_{14}ClNO$)

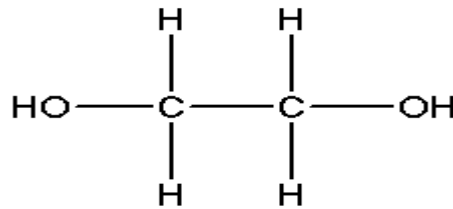
Tavuk yemlerinde katkı maddesi olarak (B4 vitamini) kullanılan kolin klorür biyolojik olarak bozunur (biodegradable) ve zehirli olmayan organik bir kuaternar amonyum tuzudur (Abbott, 2010). Kolin klorür kolin katyonuna ve klor anyonuna sahiptir. Molekül ağırlığı 139,6'dır. Kolin klorürün kimyasal yapısı Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3: Kolin klorürün kimyasal yapısı (URL-3, 2019).

1.5.2 Etilen glikol ($C_2H_6O_2$)

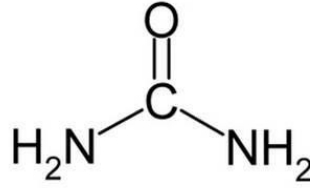
Etilen glikol renksiz, kaynama noktası 198 °C olan viskoz (kıvamlı) tatlımsı bir yağdır. Molekül ağırlığı 62,07'dir. Su ve alkolde her oranda karışır (URL-2, 2019). Etilen glikolün kimyasal yapısı Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4: Etilen glikolün kimyasal yapısı (URL-4, 2019).

1.5.3 Üre (CH₄N₂O)

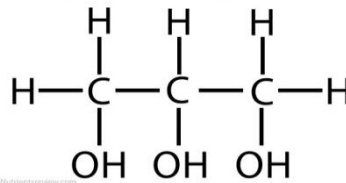
Üre 132 °C'de eriyen rombik prizmalar veya iğne şeklinde renksiz kristaller verir. Su ve alkolde iyi çözünür. Kloroform, eter veya etil asetatda çözünmez. 132 °C'nin üstünde amonyak gibi ürünler vererek bozunur. Molekül ağırlığı 60,06'dır. En çok gübre ve hayvan yemi olarak kullanılan üreden ilaç ve plastik yapımında da faydalanılır (URL-3, 2019). Ürenin kimyasal yapısı Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5: Ürenin kimyasal yapısı (URL-5, 2019).

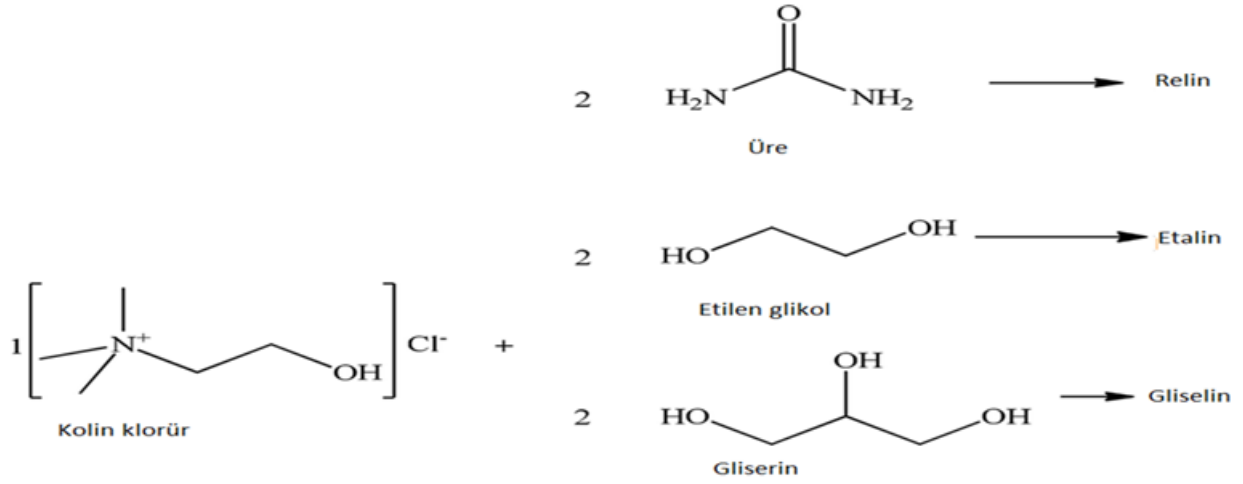
1.5.4 Gliserin (C₃H₈O₃)

Gliserin tatlımsı ağıdalı, kaynama noktası 290 °C olan renksiz bir sıvıdır. Su ve alkollerde her oranda karışır fakat eterde hemen hemen hiç çözünmez. Susuz gliserin şiddetli bir şekilde soğutulduğunda kristallenir (erime noktası 18 °C). Molekül ağırlığı 92,1'dir (URL-4, 2019). Gliserinin kimyasal yapısı Şekil 1.6'de verilmiştir.



Şekil 1.6: Gliserinin kimyasal yapısı (URL-6, 2019).

Yukarıda genel özellikleri belirtilen kimyasallar kullanılarak relin, etalin ve gliselin gibi DÖÇ'ler elde edilmektedir. Şekil 1.7'de 1 mol kolin klorür ve 2 mol üre kullanılarak relin, 1 mol kolin klorür ve 2 mol etilen glolikol kullanılarak etalin, 1 mol kolin klorür ve 2 mol gliserin kullanılarak gliselin elde edilmesi görülmektedir.



Şekil 1.7: DÖÇ'lerin elde edilmesi (Abbott vd. 2014).

1.6 Derin Ötektik Çözücülerin Kullanım Alanları

Klasik çözücü ve iyonik sıvılara göre oldukça avantajı olan DÖÇ'lerin pek çok kullanım alanı vardır. Öncelikle Lewis asidi katalizliğinde ilerleyen reaksiyonlarda yüksek verim elde edilmektedir. Ayrıca ürünler ayrı bir fazda bulunup dekante edip alınabileceğinden çözücü kalıntısı bulunmamaktadır. Bununla birlikte DÖÇ'ler elektrokimya ve metal işleme proseslerinde kullanılmaktadır. Ayrıca DÖÇ'ler bazı polimerlerde akışkanlaştırıcı olarak kullanıldığında, polimerlerin mekanik dayanımını arttırmaktadır. Biyodizel sentezinde kullanıldıklarında ise maliyeti düşürerek biyoyakıtların gelecekteki kullanımını daha uygun hale getirmektedir.

1.7 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, doğal, organik maddelerden oluşan, biyo-bozunur, yanıcı, uçucu ve zehirli olmayan, çevreye dost, hazırlanması kolay, kokusuz ve renksiz bir DÖÇ (kolin klorür + etilen glikol) kullanılarak sorgum sapından kağıt hamuru ve kağıt üretimi olanaklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Diğer taraftan, sorgum saplarından geleneksel kağıt hamuru yöntemlerinden soda ve Kraft yöntemleri ile kağıt hamurları ve kağıtlar elde edilmiştir. Farklı yöntemlerle elde edilen kağıt hamuru ve kağıtların özellikleri kıyaslanmıştır.

BÖLÜM II

LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Lignoselülozik Maddelerin DÖÇ'ler İle Muameleleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar

DÖÇ'ler lignin ve hemiselülozlar için iyi bir çözücü olup, selülozu çözme özelliği hakkında çok az bilgi bulunmaktadır (Wahlström, 2014). DÖÇ'lerin buğday sapı örneklerinde selülozu çözme etkisinin yok denecek kadar az olduğu belirtilmiştir (Francisco vd. 2012). Kumar vd. (2015) ise DÖÇ'lerin pirinç sapı örneklerinde selülozu çözme etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir. Buna karşın, Jablonský vd. (2015), DÖÇ'lerin buğday sapı örneklerinde delignifikasyon esnasında selüloz ve hemiselülozları da çözdüğünü belirtmişlerdir. Mısır koçanı ununun DÖÇ ön muamelesi sonrasında lignin ve hemiselüloz oranının azaldığı belirtilmiştir (Procentese vd., 2015). Xu vd. (2016), kolin klorür ve formik asitten elde ettikleri DÖÇ 'ü mısır koçanı unun delignifikasyonunda kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada ligninin %23,8'lik bir kısmının uzaklaştığını belirtmişlerdir. Literatürdeki bu farklılıklar çalışmalarda kullanılan lignoselülozik maddelerin ve DÖÇ'lerin hazırlanmasında kullanılan maddelerin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. DÖÇ'ler kullanılarak yapılan delignifikasyon çalışmaları Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: DÖÇ’ler kullanılarak yapılan delignifikasyon çalışmaları.

Hammadde	Derin Ötektik Çözücü		Mol oranı			Lignin oranındaki azalma (%)			Süre ve sıcaklık	Kaynak
	H-bağı alan	H-bağı veren								
Buğday sapı	Kolin klorür	Laktik asit	1:2	1:9		3,95	7,89		14 saat 60 °C	De Dios (2013)
		Oksalik asit	1:1		18,68					
		Malik asit	1:1		2,89			14 saat 85 °C		
Çam odunu	Kolin klorür	Laktik asit	1:2	1:9		4,86	9,71		14 saat 60 °C	
		Oksalik asit	1:1		9,71			14 saat 85 °C		
		Malik asit	1:1		1,71					
Pirinç sapı	Laktik asit	Kolin klorür	2:1	5:1	9:1	51	60	59	12 saat 60 °C	Kumar vd. (2015)
		Betain	2:1	5:1		52	56			
Buğday sapı	Kolin klorür	Laktik asit	1:9	1:10		14,6	29,1		24 saat 60 °C	Jablonsky vd. (2015)
		Malonik asit	1:1		3,8					
		Üre	1:2		1,3					
		Oksalik asit	1:1		57,9					
		Malik asit	1:1		21,6			24 saat 80 °C		
Buğday sapı	Laktik asit	Kolin klorür	10:1			14,3	5 saat 60 °C		Škulcová (2015)	
						18,9	10 saat 60 °C			
						21,7	20 saat 60 °C			
						29,2	30 saat 60 °C			
						34,7	50 saat 60 °C			
		46,7	70 saat 60 °C							
Buğday sapı	Prolin	Malik asit	3:1			14,9		24 saat 100 °C	Francisco vd. (2012)	
	Betain	Laktik asit	1:2			12,03		24 saat 60 °C		
	Kolin klorür	Laktik asit	1:10			11,82		24 saat 60 °C		
	Histidin	Laktik asit	1:9			11,88		24 saat 60 °C		
Palmye ağacı (boş meyve demeti)	Malik asit:sukroz:su		1:3:10			1,8		24 saat 100 °C	Yiin vd. (2016)	
Mısır koçanı	Kolin klorür	Formik asit	1:2			23,8		2 saat 130 °C	Xu vd. (2016)	
Mısır koçanı	Kolin klorür	Gliserin	1:2			24,82		15 saat 150 °C	Procentese vd. (2015)	
		Üre	1:2			24,82		15 saat 115 °C		
		İmidazol	3:7			88,32		15 saat 150 °C		
Dallı darı	Kolin klorür	trifluoroasetamid	1:2			6,63		24 saat 50 °C	Abougor (2014)	

2.2 Sorgum Saplarının Kağıt Hamuru Üretiminde Kullanımı İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Jiménez vd. (1993), sorgum saplarından soda yöntemi ile kağıt hamuru ve kağıt elde ederek buğday sapı, ayçiçeği sapı, asma budama artıkları, pamuk sapı ve zeytin ağacı budama artıklarının kağıt hamuru ve kağıt özellikleri ile karşılaştırmıştır. Sorgum sapının çalışmada kıyaslanan diğer lignoselülozik hammaddelerden daha kaliteli kağıtlar verdiğini tespit etmiştir.

Belayachi ve Delmas (1995), sorgum saplarından soda-AQ yöntemi ile farklı pişirme koşullarında kağıt hamuru ve kağıt elde ederek sorgumun kağıt hamuru üretiminde kullanım olanaklarını değerlendirmiştir. Sonuç olarak, sorgum saplarının her bölgedeki kağıt endüstrisi için mükemmel bir hammadde olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Albert vd. (2011), sorgum saplarının lif özelliklerini belirleyerek kağıt hamuru ve kağıt üretim uygunluğunu değerlendirmiştir. Sorgum saplarından diğer yıllık bitkilerle kıyaslanabilir kağıt hamurları ve kağıtlar elde edilebileceğini belirtmiştir.

Gençer ve Şahin (2015), sorgum saplarından soda yöntemi kullanarak farklı pişirme koşullarında kağıt hamuru ve kağıt elde ederek sorgumun kağıt hamuru üretiminde kullanım olanaklarını araştırmıştır. Sorgum saplarından soda yöntemi ile en uygun pişirme koşulunun %20 NaOH, pişirme sıcaklığı 120 °C, çözelti/sap oranı 5/1, pişirme süresi 60 dak. alınarak yapılan pişirme olduğunu belirtmiştir.

Saeed vd. (2017), Sudan sorgumu, şeker kamışı ve %50 sorgum %50 şeker kamışı kullanarak soda-AQ yöntemi ile kağıt hamuru ve kağıt elde ederek özelliklerini karşılaştırmıştır. Sorgum saplarından elde edilen kağıt hamurunun şeker kamışı ve karışım kağıt hamurlarından daha düşük hamur verimi, daha yüksek viskoziteye sahip olduğunu tespit etmiştir. Diğer taraftan, şeker kamışından elde edilen kağıtların sorgum ve karışım kağıtlarından daha iyi fiziksel özellikler (kopma sağlamlığı, yırtılma indisi, katlama sağlamlığı ve patlama indisi) gösterdiğini belirtmiştir.

Gençer ve Hatıl (2019), sorgum saplarından kraft yöntemi kullanarak farklı aktif alkali ve sülfidite oranlarında pişirmeler yaparak en uygun pişirme koşulunu tespit etmeyi amaçlamıştır. En uygun kağıt hamuru ve kağıtların %14 aktif alkali ve %12 sülfidite olan pişirmeden elde edildiğini tespit etmiştir.

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Bu çalışmada kullanılan sorgum (*Sorghum bicolor*. x *s. bicolor* var. *sudanense*) bitkisi (Şekil 3.1) Batı Karadeniz Bölgesinin 41. 58° kuzey enlemi ile 32. 46° doğu boylamı arasında yer alan Bartın ilinden temin edilmiştir. Birinci ürün olarak yetiştirilen sorgum bitkisinin 2017 yılının ekim ayında orakla kesilerek hasadı yapılmıştır.

Kesimi yapılan sorgumlar içerisindeki yabancı otlar temizlenerek kağıt hamuru üretiminde kullanılmak üzere Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Lif ve Kağıt Laboratuvarına getirilmiştir. Sorgumlarda ortalama sap oranı %77,25, yaprak oranı ise %22,75 olduğu tespit edilmiştir. Sorgumun ortalama boyu 135,1 cm, kalınlığı ise 0,58 cm olarak ölçülmüştür. Yaprakları ve tohumu temizlenen sorgum sapı ortalama 3 cm uzunluğunda kesilerek laboratuvar ortamında serilerek kurutulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.1: Sorgum bitkisi (Fotoğraf: Aysun MUSTAK, 2017).



Şekil 3.2: Sorgum saplarından 3 cm uzunluğunda kesilmiş örnekler
(Fotoğraf: Aysun MUSTAK, 2017).

3.2 Metot

Bu çalışmada kimyasal kağıt hamuru üretim yöntemlerinden soda ve Kraft metodu ile elde edilen kağıt özellikleri ile DÖÇ ile elde edilen kağıt hamurlarından yapılan kağıtların özellikleri kıyaslanmıştır.

3.2.1 Sorgum Liflerinin Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bir hammaddenin yani lifin kağıt yapımında kullanılabilirliği hakkında yorum yapabilmek için öncelikle o lifin morfolojik özelliklerinin önceden bilinmesi gereklidir. Bu çalışmada maserasyon yöntemi ile lifler bireysel hale getirilerek sorgum bitkisinin lif analizleri yapılmıştır. Maserasyon yöntemi olarak bilinen bu yöntem “klorit yöntemi” de denilmektedir. Sorgum bitkisinin liflerini bireysel hale getirmek için bu yöntemde ortalama 3 cm uzunluğunda olan sorgum örneğinden 5 gram 250 ml’lik erlenmayere konularak üzerine 160 ml. su, 1,5 gr. sodyum klorit (NaClO_2) ve 0,5 ml. buzlu asetik asit ilave edilmiştir. Daha sonra erlenmayerin ağzı ters çevrilmiş 50 ml’lik erlenmayer ile kapatılıp sıcaklığı 78-80 °C olan sıcak su banyosunda 1 saat kaynatılmıştır. Bir saat sonunda erlenmayere tekrar 1,5 gr. sodyum klorit ve 0,5 ml asetik asit konularak 1 saat daha 70-80°C de kaynatılmıştır. Bu işlem üç kez tekrarlanmıştır. Reaksiyon süresi bitiminde erlenmayer buz banyosunda soğutulduktan sonra örnekler filtre kağıdından süzülüp, yıkanarak gliserin ile karıştırılıp ağzı kapaklı cam tüplerde saklanmıştır. Daha sonra bu liflerden az miktar alınıp geçici preparatlar hazırlanmış ve mikroskopta gerekli ölçümlerin yapılmasına geçilmiştir.

Mikroskopta lif boyu, lif genişliği, çeper kalınlığı ve lümen genişliği gibi değerler mikroskop yardımıyla ölçülmüştür. Ölçümler sırasında lif boyunu ölçerken lifleri sınıflandırmamaya ve lif genişliğini ölçerken lifin tam orta kısımlarından ölçüm yapmaya özen gösterilmiştir.

3.2.1.1 Keçeleşme Oranı

Keçeleşme Oranı = Lif Uzunluğu / Lif Genişliği formülünden yararlanılarak hesaplanmıştır.

3.2.1.2 Elastiklik Katsayısı

Elastikiyet Katsayısı = (Lümen Çapı x 100) / Lif Genişliği formülünden faydalanılarak hesaplanmıştır.

3.2.1.3 Runkel Sınıflaması

Runkel Sınıflaması = (Lif çeper Kalınlığı x 2) / Lümen Çapı formülünden yararlanılarak hesaplanmıştır.

3.2.2 Kimyasal Analizler

Bu çalışmada kullanılan Sorgum yıllık bitkisi örnekleri α -selüloz tayini, holoselüloz tayini, lignin tayini, soğuk su çözünürlüğü, sıcak su çözünürlüğü, alkol çözünürlüğü, %1'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözünürlüğü deneylerine tabi tutulmuştur. Kimyasal analizler Tablo 3.1'de belirtilen standart yöntemlere göre yapılmıştır.

Tablo 3.1: Kimyasal analizlerde kullanılan yöntemler.

Deney	Kullanılan Yöntem
Holoselüloz oranı	Klorit (Wise ve Jahn 1952)
Alfa selüloz	Rowell, 2005
Lignin oranı	TAPPI T 222 om-02
%1 NaOH çözünürlüğü	TAPPI T 212 om-02
Sıcak ve soğuk su çözünürlüğü	TAPPI T 207 cm-99
Alkol çözünürlüğü	TAPPI T 204 cm-97
Kimyasal analizler için örneklerin hazırlanması	TAPPI T 257 cm-02
Mesarasyon Yöntemi	Klorit Yöntemi

3.2.3 Pişirme İçin Sorgum Saplarının Hazırlanması

Bartın iklim koşullarında 1.ürün olarak yetiştirilmiş ve biçimi yapıldıktan sonra yaprakları ve tohumu kesilen sorgum sapları ortalama olarak 3 cm uzunlukta kesilerek pişirme örnekleri elde edilmiştir.

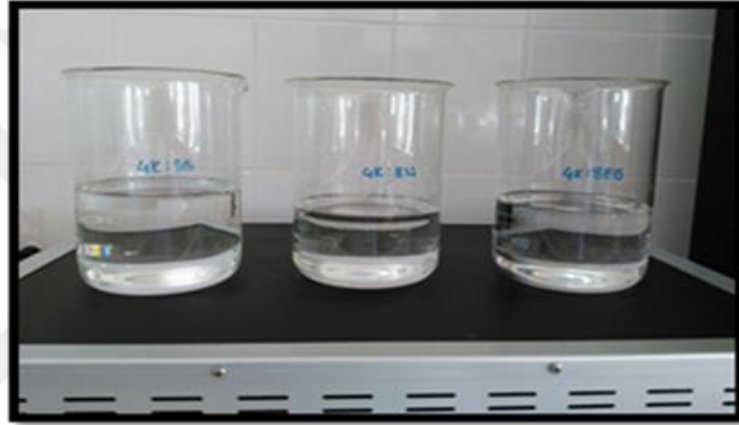
Laboratuvar ortamında kurutulup denge rutubetine gelen sorgum saplarının rutubeti belirlenerek çözelti yonga oranına göre tam kuru sorgum sapı miktarı belirlenip, sorgum sapları tartılarak pişirme için hazır hale getirilmiştir.

3.2.4 Pişirme Çözeltisinin Hazırlanması ve Pişirme

Pişirme çözeltisi, kullanılan kimyasalların mol oranı ve molekül ağırlığına göre hesaplanmıştır. Örneğin; 4K:10EG için kolin klorürün molekül ağırlığı 139,6, etilen glikolün molekül ağırlığı 62,07 dir. 4 mol kolin klorür için $4 \times 139,6 = 558,4$ g kolin klorür, 10 mol Etilen glikol için $10 \times 62,07 = 620,7$ g etilen glikol laboratuvar ortamında cam beherde hazırlanmıştır. Elde ettiğimiz katı –sıvı karışımı ısıtıcı tabla üzerinde, atmosferik basınç altında 100 °C’ye kadar sıcaklıklarda ısıtılmıştır (Şekil 3.3). Çözelti karışımı sıvı faza geçtiğinde pişirme işlemi için hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3: Katı- sıvı fazdaki DÖÇ karışımı (Fotoğraf: Sezgin Koray GÜLSOY, 2017).



Şekil 3.4: Sıvı fazdaki DÖÇ karışımı (Fotoğraf: Sezgin Koray GÜLSOY, 2017).

Bir pişirmede kullanılacak sorgum sapının hesaplanması için önce DÖÇ hazırlanmıştır. Bunun için 4K:10EG için, $4 \times 139,6 = 558,4$ gr kolin klorür ve $10 \times 62,07 = 620,7$ gr etilen glikolün toplamı 1178,1 gr'dır. Çözelti miktarı belirlendikten sonra, sap /çözelti oranı; 1/ 2,5 olduğu için $1178,1 / 2,5 = 471,24$ gr tam kuru sorgum sapı kullanılmıştır.

Pişirme işlemi 15 lt kapasiteli, elektrikle ısıtılan, 25 kg/cm^2 basınca dayanıklı, dakikada 2 devir yapabilen ve otomatik kontrol tablosuyla sıcaklığı termostatlı olarak kontrol edilebilen laboratuvar tipi döner pişirme kazanında yapılmıştır. Bu pişirmelerden 6'sı DÖÇ'lerden oluşmaktadır. Geleneksel yöntemler olan Kraft (K1,K2) ve soda (S1,S2) pişirmeleri de yapılarak hammaddelerin DÖÇ ve geleneksel yöntemlerle hamur ve kağıt özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kraft yöntemi ve soda yöntemi ile 2 şer pişirme yapılarak Tablo 3.2' de görüldüğü gibi toplam 10 adet pişirme yapılmıştır.

Tablo 3.2: Pişirme koşulları.

Piştirme No	Aktif Alkali (%)	Sülfidite (%)	Kolin:Etilen Glikol (mol/mol)	K:EG Mol oranı	NaOH (%)	Maksimum Sıcaklık (°C)	Maksimum Sıcaklığa Çıkma Süresi (dak.)	Maksimum Sıcaklıkta Piştirme Süresi (dak.)	Sap/Çöz. Oranı
DÖÇ1	-	-	4K:10EG	1: 2,5	-	175	60	80	1/2,5
DÖÇ2	-	-	5K:10EG	1:2	-	175	60	80	1/2,5
DÖÇ3	-	-	6K:10EG	1:1,67	-	175	60	80	1/2,5
DÖÇ4	-	-	4K:10EG	1.2,5	-	175	60	100	1/2,5
DÖÇ5	-	-	5K:10EG	1:2	-	175	60	100	1/2,5
DÖÇ6	-	-	6K:10EG	1:1,67	-	175	60	100	1/2,5
K1	10	14	-	-	-	175	60	80	1/2,5
K 2	14	18	-	-	-	175	60	80	1/2,5
S1	-	-	-	-	14	175	60	80	1/2,5
S2	-	-	-	-	18	175	60	80	1/2,5

Piştirme sonucunda elde edilen hamurlar önce 150 mesh'lik elek üzerine alınarak yıkama suyu berraklaşınca kadar yıkanmıştır. Temizlenen hamurlar laboratuvar tipi bir karıştırıcıda belli bir konsantrasyonda 5 dakika süreyle açılmıştır (Şekil 3.5). Açılan lifler TAPPI T 275 sp-02 standardına göre yarık açıklığı 0,15 mm olan Somerville tipi sarsıntılı vakum eleğinde elenerek pişmeyen kısımları ayrılmıştır (Şekil 3.6). Ayrılan pişmeyen kısımlar alınarak kurutulup tartılmış ve tam kuru yonga ağırlığına oranlanarak elek artığı miktarı yüzde olarak belirlenmiştir. Elenen kısım suyunu bırakması için elle sıkılmış ve karıştırıldıktan sonra polietilen torbalara alınarak rutubetin dengelenmesi için 24 saat ağzı kapalı bir şekilde bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda her piştirme için 4'er adet hamurun herhangi bir yerinden örnek alınıp, hamurun rutubet oranları belirlenerek elenmiş verim tayini yapılmıştır. Elenmiş verim ve elek artığı oranları laboratuvar ortamında gravimetrik ölçümler ile TAPPI T 210 cm-03 standardına göre belirlenmiştir.

DÖÇ piştirme örneklerinde, elenen kağıt hamurlarında kalan DÖÇ çözeltilerinin uzaklaştırılması amacıyla kağıt hamurları önce etil alkol, sonra aseton, en son musluk suyu ile yıkanarak kağıt hamurlarının yıkama sonrası elenmiş verimleri de hesaplanmıştır.



Şekil 3.5: Lif açıcı (Fotoğraf: Aysun MUSTAK, 2018).



Şekil 3.6: Somerville tipi lif eleği (Fotoğraf: Aysun MUSTAK, 2018).

3.2.5 Kağıt Hamurunda Yapılan Analizler

Elenen lifler TAPPI T 200 sp-01 standardına göre Hollander'de 33 ve 43 °SR'e kadar dövülmüştür (Şekil 3.7). Hamurların serbestlik derecesi Schopper Riegler cihazında ISO 5267-1 standardına göre belirlenmiştir (Şekil 3.8). Dövme esnasında hamurların 33 ve 43 °SR'e ulaşma süreleri kaydedilmiştir. Kağıt hamurlarının kapa numaraları TAPPI T 236 om-99, standardına göre belirlenmiştir. Kağıt hamurlarının viskozitelerinin belirlenmesinde ise SCAN-CM 15-62 standardı kullanılmıştır.



Şekil 3.7: Hollander (Fotoğraf: Aysun MUSTAK, 2018).



Şekil 3.8: Schopper Riegler test cihazı (Fotoğraf: Aysun MUSTAK, 2018).

3.2.6 Deneme Kağıtlarının Elde Edilmesi

Dövülmemiş, 33 ve 43 °SR'e kadar dövülmüş hamurlardan ISO 5269-2 standardına göre 75 ± 2 g/m² gramajlı 10'ar adet deneme kağıtları yapılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Rapid Köthen kağıt makinası (Fotoğraf: Aysun MUSTAK, 2018).

3.2.7 Kâğıtların Fiziksel, Optik ve Mekanik Özellikleri

Deneme kağıtları TAPPI T 402 sp-03 standardına göre (23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 2$ bağıl nem) 24 saat kondisyonlandıktan sonra Tablo 3.3'te gösterilen testler yapılmıştır.

Tablo 3.3: Kağıt testleri.

Deney	Yöntem
Yırtılma İndisi	TAPPI T 414 om-98
Kopma İndisi	ISO 1924-3
TEA	
Uzama	
Patlama İndisi	TAPPI T 403 om-02
Opaklık	TAPPI T 519 om-02
Parlaklık	TAPPI T 525 om-02
Kalınlık	TAPPI T 411 om-97
Hacimlilik	TAPPI T 220 sp-01
Hava Geçirgenliği	ISO 5636-3

3.2.8 Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesinde SPSS paket programı kullanılmıştır. DÖÇ ve geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt ve kağıt hamurlarının özellikleri arasında fark olup olmadığını tespit etmek için elde edilen verilerde tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Gruplar arasında farklılık olduğu durumda bu farkın %95 güven aralığında anlamlı olup olmadığı Duncan testiyle belirlenmiştir. Grafiklerdeki sütunlar üzerindeki harfin aynı olması, gruplar arasındaki farkın %95 güven aralığında anlamlı olmadığı ($p>0,05$), harfin farklı olması ise, gruplar arasındaki farkın %95 güven aralığında anlamlı olduğu ($p<0,05$) anlamına gelmektedir.



BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Sorgum Saplarının Lif Morfolojisine Ait Bulgular

Sorgum sapının liflerinin lif uzunluğu, lif genişliği, lümen genişliği ve çeper kalınlığı değerleri ile bu değerler yardımıyla elde edilen keçeleşme oranı, elastiklik oranı ve Runkel oranı değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Sorgum saplarının lif morfolojilerinin farklı kaynaklarla kıyaslanması.

Özellik	Tespit	Albert vd., 2011	Gençer ve Şahin, 2015	Khazaeian vd., 2015	Saeed vd., 2017	Gençer ve Hatıl, 2019
Lif uzunluğu (mm)	1,02±0,03	1,77	2,31	1,80	0,52	2,10
Lif genişliği (µm)	18,84±1,56	19,53	16,0	13,80	26,80	14,32
Lümen genişliği (µm)	6,74±0,30	6,60	5,58	7,90	-	4,05
Çeper kalınlığı (µm)	5,36±0,31	6,46	5,21	2,90	-	5,00
Keçeleşme oranı	54,14	90,37	144,65	-	-	150,00
Elastiklik oranı	28,45	33,79	34,90	-	-	28,28
Runkel oranı	2,51	1,90	1,87	-	-	2,47

4.2 Kimyasal Analiz Sonuçları

Sorgum saplarının kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.2: Sorgum saplarının kimyasal bileşiminin farklı kaynaklarla kıyaslanması.

Özellik (%)	Tespit	Jiménez vd., 1993	Belayachi ve Delmas, 1995	Gençer ve Şahin, 2015	Saeed vd., 2017	Gençer ve Hatlı, 2019
H	77,28±1,98	65,83	61,62	71,00	54,80	77,80
AS	44,83±0,45	41,50	44,95	40,30	35,40	40,70
L	14,16±0,15	15,64	14,92	13,00	10,30	14,40
SıSÇ	29,21±0,54	21,70	43,80	19,70	13,20	22,90
SoSÇ	28,95±0,68	-	-	15,10	11,60	20,00
%1 NaOH	50,36±0,39	41,64	63,10	47,10	16,20	46,10
AÇ	24,45±1,15	7,99*	24,00*	15,30	-	19,00
K	-	4,85	2,65	-	5,30	-

*Alkol-benzen çözünürlüğü, H: Holoselüloz, AS: α -selüloz, L: Lignin, SıSÇ: Sıcak su çözünürlüğü, SoSÇ: Soğuk su çözünürlüğü, %1: %1 NaOH Çözünürlüğü, AÇ: Alkol Çözünürlüğü, K: Kül

Tablo 4.2’de görüldüğü gibi sorgum saplarının kimyasal analiz sonuçlarında alkol çözünürlüğü, sıcak su çözünürlüğü ve soğuk su çözünürlüğü değerlerinin yüksek çıkması sorgum sapın da alkol çözünürlüğü miktarının fazla olduğunu, alfa-selüloz ve holoselüloz değerlerinin yüksek olması ise şeker miktarının yüksek olduğunu göstermektedir.

4.3 Kağıt Hamurlarına Ait Bulgular

4.3.1 Kâğıt Hamurlarının Verimi Ve Bazı Kimyasal Özellikleri

Sorgum saplarından DÖÇ (6 adet) ve geleneksel yöntemler (4 adet) ile olmak üzere, farklı pişirme koşullarında toplam 10 adet pişirme yapılarak kağıt hamuru elde edilmiştir ve kağıt hamurlarının verimi ve bazı kimyasal özellikleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

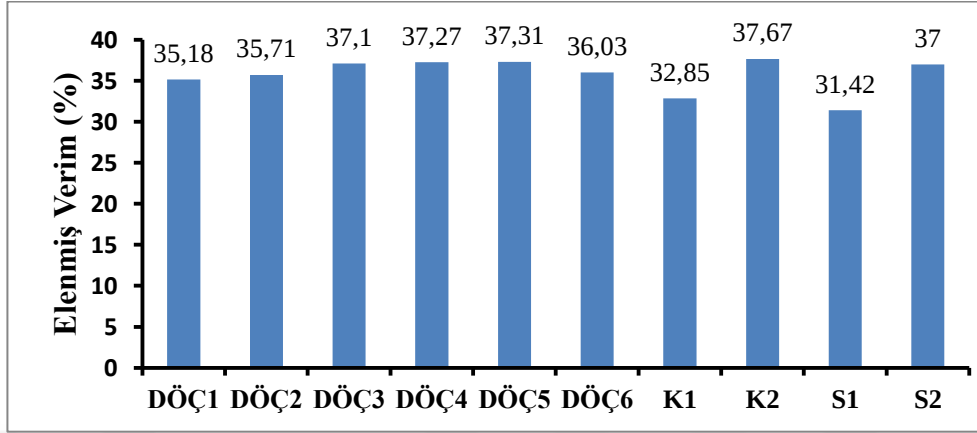
Tablo 4.3: Kağıt hamuru verimleri.

Piştirme No	Elenmiş Verim (%)	Elek Artığı (%)	Toplam Verim (%)	Yıkanma Sonrası Elenmiş Verim (%)	Yıkanma Sonrası Toplam Verim (%)	Kappa No	Viskozite (cm ³ /g)
DÖÇ1	35,18	5,98	41,16	29,30	35,28	70,14	1188
DÖÇ2	35,71	4,40	40,11	30,33	34,73	61,75	1173
DÖÇ3	37,10	4,77	41,87	33,05	37,82	72,54	1158
DÖÇ4	37,27	3,72	40,99	32,66	36,38	61,20	1231
DÖÇ5	37,31	4,50	41,81	33,56	38,06	73,43	1173
DÖÇ6	36,03	2,73	38,76	32,38	35,11	74,64	1180
K1	32,85	8,79	41,44	-	-	49,55	1150
K2	37,67	1,54	39,21	-	-	15,94	1170
S1	31,42	9,79	41,21	-	-	56,43	1173
S2	37,00	3,46	40,46	-	-	33,68	1181

DÖÇ ve geleneksel yöntemler ile elde edilen kağıt hamurlarının elenmiş verimleri Şekil 4.1’de, elek artığı değerleri Şekil 4.2, toplam verim değerleri Şekil 4.3’te, yıkanma sonrası elenmiş verim değerleri Şekil 4.4’te, yıkanma sonrası toplam verim değerleri Şekil 4.5’de ve kappa numaraları Şekil 4.6 ve viskozite değerleri Şekil 4.7’te verilmiştir.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi DÖÇ pişirmelerinden elde edilen kağıt hamurlarının elenmiş verim değerleri ile geleneksel yöntemlerle elde edilen hamurların elenmiş verim değerleri arasında çok açık bir fark olmadığı, hatta yüksek kappa numaralı geleneksel yöntem hamurlarından (K1,S1) daha yüksek elenmiş verime sahip oldukları görülmüştür. DÖÇ pişirmeleri içinde en yüksek elenmiş verim değeri %37,31 ile DÖÇ5 pişirmesinden, en düşük değer ise %35,18 ile DÖÇ1 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ piştirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum piştirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde hamurun elenmiş verimi doğrusal bir şekilde artmıştır. Ancak, maksimum piştirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir.

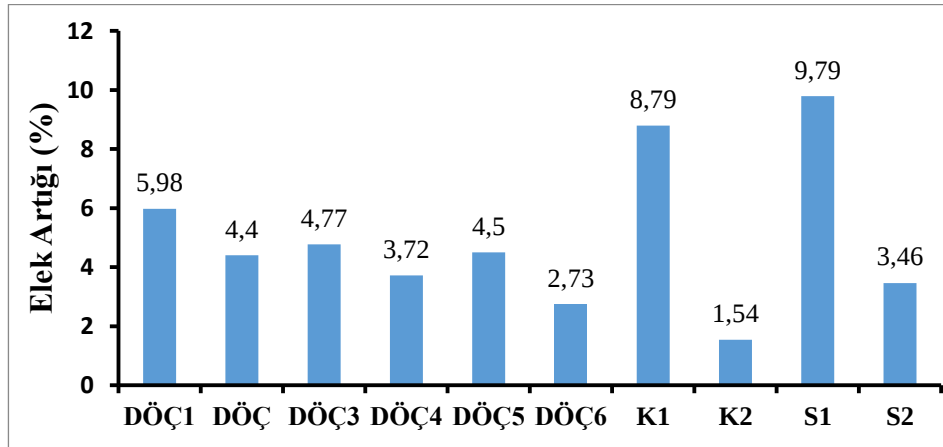
Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek elenmiş verim değeri %37,67 ile K2 pişirmesinden, en düşük değer ise %31,42 ile S1 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.1: Kağıt hamurlarının elenmiş verim değerleri.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi DÖÇ pişirmelerinden elde edilen kağıt hamurlarının elek artığı değerleri, geleneksel yöntemlerle elde edilen ve yüksek kappa numaralı (K1,S1) pişirmelerinden daha düşüktür. Geleneksel yöntemlerle üretilen düşük kappalı kağıt hamurlarına benzer elek artığı oranları tespit edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek elek artığı değeri %5,98 ile DÖÇ1 pişirmesinden, en düşük değer ise % 2,73 ile DÖÇ6 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıdın elek artığı değeri doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir.

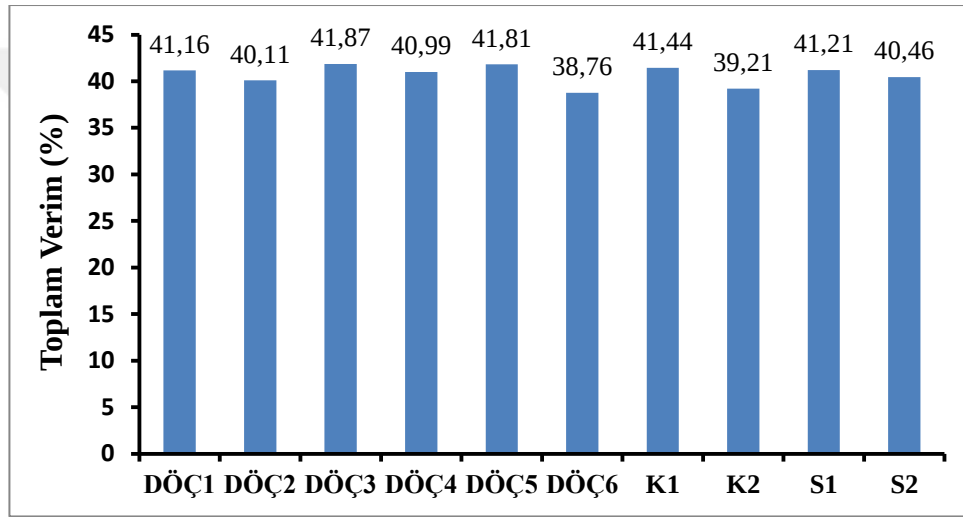
Geleneksel yöntemlerden elde edilen kağıt hamurlarında ise en yüksek elek artığı değeri %9,79 ile S1 pişirmesinden, en düşük değer ise %1,54 ile K2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.2: Kağıt hamurlarının elek artığı değerleri.

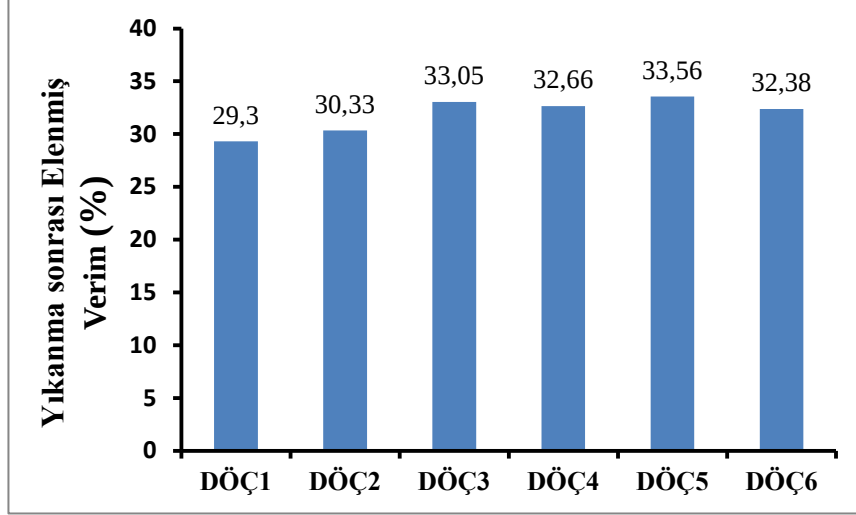
Şekil 4.3’de görüldüğü gibi DÖÇ pişirmelerinden elde edilen kağıt hamurlarının toplam verim değerlerinin geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarına benzer değerlerde olduğu görülmüştür. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek toplam verim değeri %41,87 ile DÖÇ3 pişirmesinden, en düşük değer ise %38,76 ile DÖÇ6 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıt hamurlarının toplam verim değerleri doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir.

Geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarında en yüksek toplam verim değeri %41,44 ile K1 pişirmesinden, en düşük değer ise 39,21 ile K2 pişirmesinden elde edilmiştir.



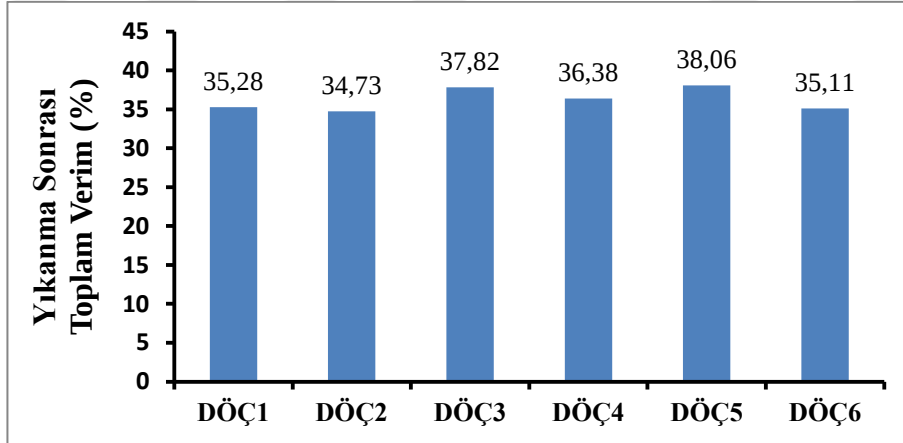
Şekil 4.3: Kağıt hamurlarının toplam verim değerleri.

Şekil 4.4’de DÖÇ pişirmelerinin yıkanma sonrası elenmiş verim değerleri verilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek yıkanma sonrası elenmiş verim değeri %33,56 ile DÖÇ5 pişirmesinden, en düşük değer ise %29,3 ile DÖÇ1 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıt hamurunun yıkanma sonrası elenmiş verim değeri doğrusal bir şekilde artmıştır. Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıt hamurunun yıkanma sonrası elenmiş verim değeri, kolin klorür miktarının artmasıyla doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir.



Şekil 4.4: Kağıt hamurlarının yıkanma sonrası elenmiş verim değerleri.

Şekil 4.5’de DÖÇ pişirmelerinden elde edilen kağıt hamurlarının yıkanma sonrası toplam verim değerleri verilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek yıkanma sonrası toplam verim değeri %38,06 değeri ile DÖÇ5 pişirmesinden, en düşük değer ise %34,73 ile DÖÇ2 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile yıkanma sonrası toplam verim değerleri doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir.

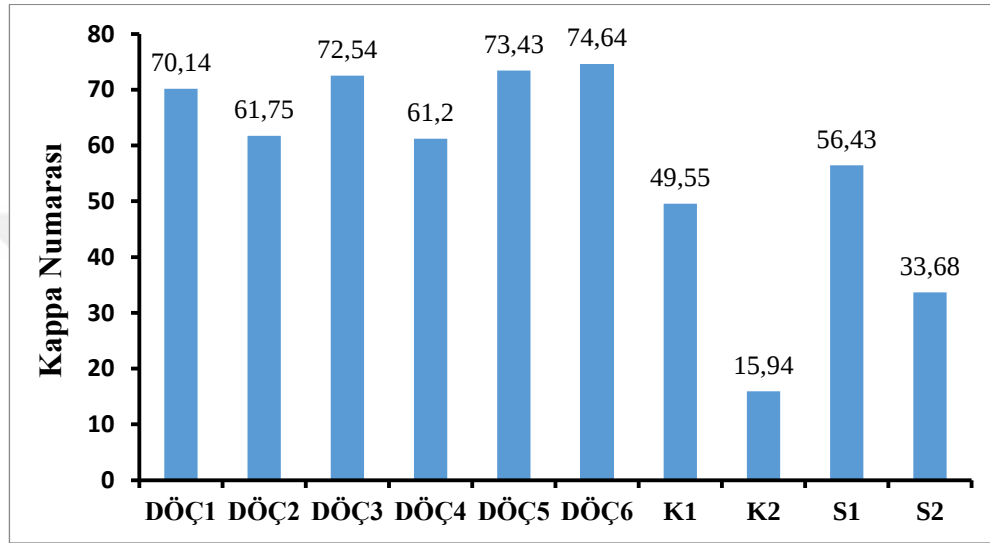


Şekil 4.5: Kağıt hamurlarının yıkanma sonrası toplam verim değerleri.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi DÖÇ pişirmelerinden elde edilen elde edilen kağıt hamurları, geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarına göre daha yüksek kappa numarası değerlerine sahiptir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek kappa numarası değeri 74,64 ile DÖÇ6 pişirmesinden, en düşük değer ise 61,75 ile DÖÇ2 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıt hamurunun kappa

numaraları doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir. Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde, kağıt hamurlarının kapa numaraları kolin klorür miktarının artması ile doğrusal bir şekilde artış göstermiştir.

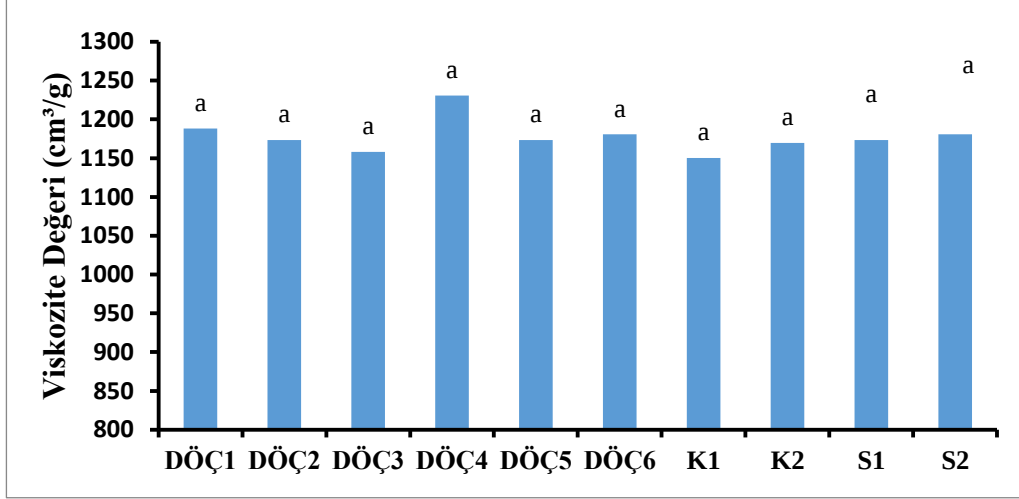
Geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarında ise en yüksek kapa numarası değeri 56,43 ile S1 pişirmesinden, en düşük değer ise 15,94 ile K2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.6: Şekil 8: Kağıt hamurlarının kapa numarası değerleri.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi DÖÇ pişirmelerinden elde edilen elde edilen kağıt hamurları, geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarına göre genel olarak daha yüksek viskozite değerlerine sahiptir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek viskozite değeri 1230,82 cm³/g ile DÖÇ4 pişirmesinden, en düşük viskozite değeri ise 1157,95 cm³/g ile DÖÇ3 pişirmesinden elde edilmiştir. . DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıt hamurlarının viskozite değerleri doğrusal bir şekilde azalmıştır. Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde, kağıt hamurlarının viskozite değerleri doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir.

Geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarında ise en yüksek viskozite değeri 1180,83 cm³/g ile S2 pişirmesinden, en düşük viskozite değeri ise 1150,11 cm³/g ile K1 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.7: Hamurların viskozite değerleri.

4.3.2 Hamurların İstenilen Serbestlik Derecesine Ulaşma Süresi

Farklı koşullardaki pişirme şartlarından elde edilen kağıt hamurları yıkandıktan sonra standartlara uygun olarak Hollenderde 10 dk ağırlıksız olarak açılmıştır ve hamur başlangıç SR° serbestlik dereceleri belirlenmiştir (Tablo 4.4). Daha sonra Hollendere ağırlık takılarak hamur 33 °SR ve 43 °SR serbestlik derecesine getirilmiştir.

Tablo 4.4: Hamurların istenilen serbestlik derecesine ulaşma süresi.

Pişirme No	Başlangıç °SR	33 °SR'e ulaşma süresi (sn)	43 °SR'e ulaşma süresi (sn)
DÖÇ1	19	240	310
DÖÇ2	22	210	280
DÖÇ3	24	190	300
DÖÇ4	22	210	250
DÖÇ5	23	165	275
DÖÇ6	26	120	225
K1	20	340	450
K2	18	420 (34 °SR)	540 (45 °SR)
S1	23	315	390
S2	21	330	450

Tablo 4.4’de görüldüğü gibi DÖÇ kağıt hamurlarının hem 33 °SR hem de 43 °SR’ e geleneksel yöntem kağıt hamurlarından daha hızlı sürede ulaşmışlardır. 33 °SR ve 43 °SR’ e en hızlı ulaşan kağıt hamurunun 120 ve 225 sn ile DÖÇ6 örneği olduğu görülmüştür.

Bilindiği gibi kağıt hamurlarında kalan lignin ile dövme süresi doğru orantılıdır. DÖÇ kağıt hamurlarının geleneksel yöntem kağıt hamurlarından daha yüksek kappa numarası ve dolayısıyla daha fazla lignin içermelerine rağmen istenen dövme derecelerine daha hızlı ulaşmalarında hamurdaki kalıntı lignin oranının etkili olmadığı düşünülmektedir.

4.4 Kağıtların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

DÖÇ, soda ve kraft yöntemleri ile elde edilen farklı serbestlik derecelerindeki kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4.5-4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.5: Dövülmemiş hamurdan elde edilen kağıtların fiziksel ve mekanik özellikleri.

Piştirme No	Kopma İndisi (N.m/g)	Uzama (%)	TEA (J/m ²)	Yırtılma İndisi (mN.m ² /g)	Patlama İndisi (kPa.m ² /g)	Hacimlilik (cm ³ /g)	Hava Geçirgenliği (ml/dak.)
DÖÇ1	33,47±1,30	1,6±0,05	30,02±1,05	4,27±0,30	1,32±0,27	1,93±0,04	5000±0
DÖÇ2	38,34±1,03	1,86±0,09	39,63±1,22	4,5±0,35	1,57±0,28	1,75±0,03	4162±111,63
DÖÇ3	36,14±1,05	1,89±0,08	37,71±1,15	4,21±0,42	1,62±0,064	1,75±0,04	2619±99,55
DÖÇ4	33,99±1,00	1,82±0,05	34,67±0,89	4,29±0,21	1,49±0,05	1,78±0,04	4147±199,69
DÖÇ5	38,06±0,62	2,06±0,07	44,15±0,80	4,13±0,42	1,65±0,04	1,75±0,03	3551±122,69
DÖÇ6	42,52±0,72	2,16±0,11	52,36±0,80	4,16±0,41	1,81±0,07	1,68±0,04	1880±82,52
K1	64,62±2,80	1,84±0,07	60,76±2,27	2,94±0,14	2,73±0,08	1,57±0,05	2259±82,65
K2	68,46±1,80	2,08±0,08	72,34±2,67	3,16±1,11	3,13±0,12	1,69±0,03	2257±47,95
S1	64,01±2,67	1,82±0,08	58,97±2,30	3,26±0,11	2,82±0,12	1,67±0,04	1886±80,78
S2	71,91±2,01	1,92±0,04	70,05±2,09	3,3±0,10	3,17±0,06	1,57±0,05	1845±39,07

Tablo 4.6: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların fiziksel ve mekanik özellikleri.

Piştirme No	Kopma İndisi (N.m/g)	Uzama (%)	TEA (J/m ²)	Yırtılma İndisi (mN.m ² /g)	Patlama İndisi (kPa.m ² /g)	Hacimlilik (cm ³ /g)	Hava Geçirgenliği (ml/dak.)
DÖÇ1	56,74±1,29	1,95±0,27	59,15±1,48	3,07±0,13	2,56±0,09	1,62±0,03	853±41,08
DÖÇ2	58,17±1,94	2,04±0,09	63,78±2,01	3,03±0,14	2,63±0,10	1,48±0,04	553±52,82
DÖÇ3	51,61±1,15	2,31±0,09	64,89±1,52	3,41±0,14	2,34±0,08	1,58±0,03	837±52,99
DÖÇ4	54,54±1,26	2,21±0,09	65,34±1,43	3,23±0,21	2,46±0,12	1,52±0,03	651±60,68
DÖÇ5	53,24±1,40	2,28±0,08	65,67±1,72	3,24±0,17	2,33±0,07	1,56±0,04	972±48,78
DÖÇ6	51,09±1,18	2,07±0,08	57,91±1,38	3,3±0,14	2,33±0,08	1,54±0,03	777±62,67
K1	81,68±3,04	1,9±0,08	76,79±2,25	2,16±0,08	3,68±0,09	1,33±0,02	277±4,76
K2	85,43±2,45	2,05±0,07	87,65±2,84	2,11±0,07	3,76±0,12	1,39±0,03	192±7,04
S1	82,2±1,97	1,94±0,08	78,86±3,20	2,27±0,10	3,67±0,12	1,39±0,04	239±8,91
S2	85,04±1,78	1,94±0,07	82,39±2,41	2,39±0,09	3,88±0,09	1,36±0,03	273±8,93

Tablo 4.7: 43 °SR hamurdan elde edilen kağıtların fiziksel ve mekanik özellikleri.

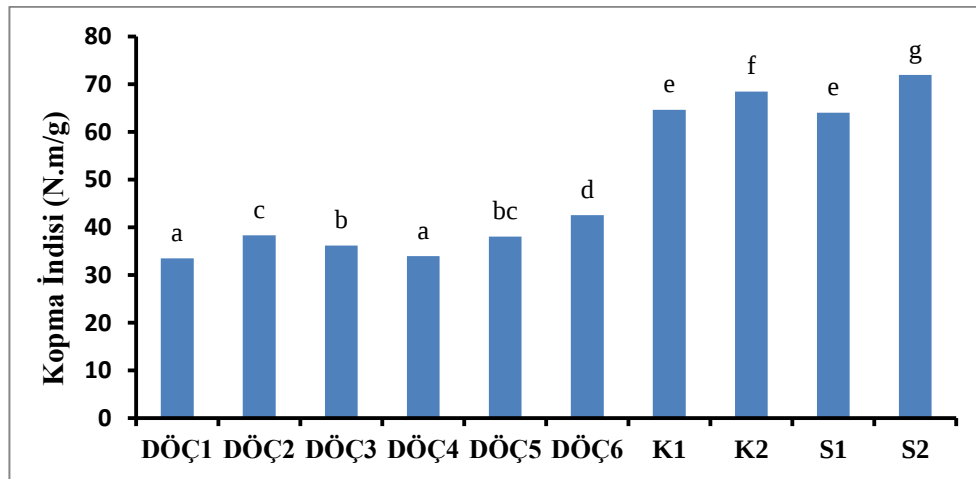
Piştirme No	Kopma İndisi (N.m/g)	Uzama (%)	TEA (J/m ²)	Yırtılma İndisi (mN.m ² /g)	Patlama İndisi (kPa.m ² /g)	Hacimlilik (cm ³ /g)	Hava Geçirgenliği (ml/dak.)
DÖÇ1	61,68±1,67	1,96±0,08	63,7±1,93	2,67±0,17	2,65±0,17	1,51±0,03	287±13,72
DÖÇ2	65,16±1,64	2,20±0,08	79,28±2,38	2,7±0,19	2,87±0,15	1,45±0,07	201±38,28
DÖÇ3	60,91±0,09	2,33±0,07	76,81±2,08	2,79±0,6	2,71±0,12	1,45±0,04	228±12,81
DÖÇ4	60,76±1,44	2,3±0,08	76,16±1,47	2,97±0,22	2,86±0,07	1,44±0,05	217±133,16
DÖÇ5	63,45±1,28	2,26±0,08	76,59±1,89	2,54±0,16	2,79±0,09	1,42±0,03	218±17,6
DÖÇ6	60,29±1,30	2,13±0,09	69,37±1,54	2,66±0,11	2,61±0,07	1,44±0,03	210±5,36
K1	83,78±2,82	1,9±0,07	78,61±2,22	1,94±0,08	4,05±0,15	1,28±0,04	74±1,65
K2	86,81±2,93	2,03±0,07	88,26±3,36	1,93±0,08	3,97±0,13	1,34±0,03	52±2,02
S1	86,28±3,56	2,03±0,06	87,11±3,05	2,31±0,7	3,83±0,12	1,34±0,03	109±4,32
S2	89,76±2,17	1,89±0,07	83,71±2,50	2±0,08	4,19±0,09	1,29±0,03	73±2,32

4.4.1 Kopma İndisi

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen deneme kağıtlarının kopma indisi değerleri üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.8-4.10’da verilmiştir.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında, DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre kopma indisi değerlerinin daha düşük olduğu ve aradaki farkın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek kopma indisi 42,52 N.m/g ile DÖÇ6 pişirmesinde, en düşük değer ise 33,47 N.m/g ile DÖÇ1 pişirmesinde elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın kopma indisi doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir. Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıdın kopma indisini artan kolin klorür oranı ile doğrusal bir şekilde arttığı ve bu artışın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek kopma indisi değeri 85,04 N.m/g ile S2 pişirmesinde en düşük kopma indisi değeri 64,62 N.m/g ile K1 pişirmesinde elde edilmiştir.



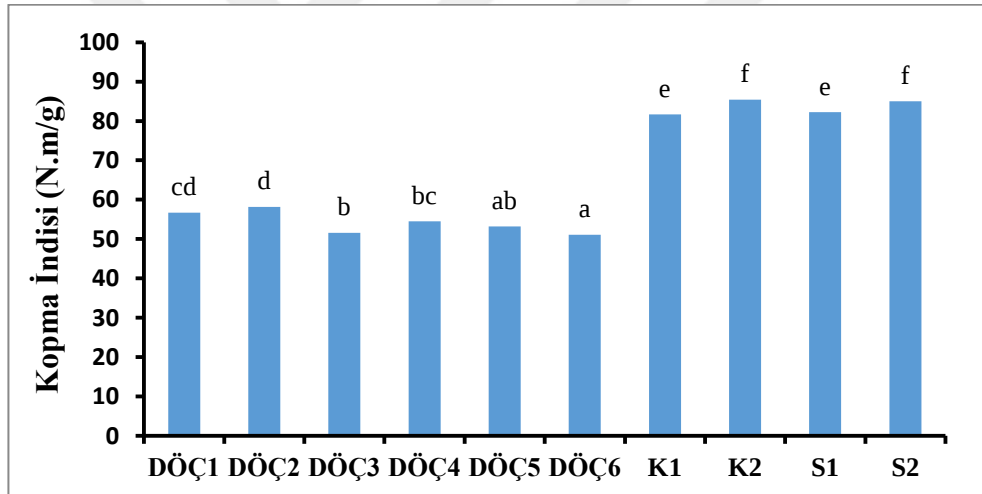
Şekil 4.8: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların kopma indisi.

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi 33°SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre kağıtların kopma indisinin daha düşük olduğu ve aralarındaki bu ayrımın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$)

olduğu belirlenmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek kopma indisi 58,17 N.m/g ile DÖÇ2 pişirmesinde, en düşük değer ise 51,09 N.m/g ile DÖÇ6 pişirmesinde elde edilmiştir.

DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın kopma indisini doğrusal olmayan bir şekilde etkilediği görülmüştür. Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıdın kopma indisi değerlerinin istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bir şekilde azaldığı görülmüştür.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek kopma indisi değeri 85,43 N.m/g ile K2 pişirmesinde en düşük kopma indisi değeri 81,68 N.m/g ile K1 pişirmesinde elde edilmiştir.

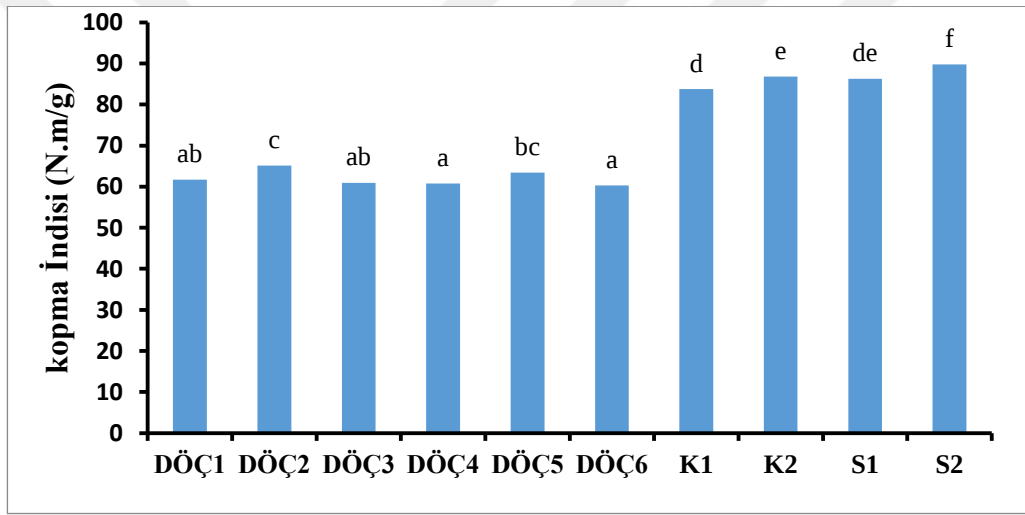


Şekil 4.9: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların kopma indisi.

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi 43 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük kopma indisi değerlerine sahip olduğu ve aradaki farkın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek kopma indisi 65,16 N.m/g ile DÖÇ2 pişirmesinde, en düşük değer ise 60,29 N.m/g ile DÖÇ6 pişirmesinde elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıdın kopma indisi değerlerinin istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bir şekilde DÖÇ2 pişirmesinde arttığı DÖÇ3’te azaldığı görülmüştür. DÖÇ kağıt hamurlarının geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarına oranla kağıtların kopma indisi değerlerindeki değişime bakarak dövme işlemine

daha iyi cevap verdiği görülmüştür. Örneğin; DÖÇ1 pişirmesinde dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıdın kopma indisi 33,47 N.m/g'dan, kağıt hamurunun 33 °SR'e kadar dövülmesi ile 56,74 N.m/g'a (%69,52 artış), kağıt hamurunun 43° SR'e kadar dövülmesi ile ise 61,68 N.m/g'a (%84,28 artış) yükseldiği tespit edilmiştir. Ancak, K1 pişirmesinde dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıdın kopma indisi 64,62 N.m/g'dan, kağıt hamurunun 33 °SR'e kadar dövülmesi ile 81,69 N.m/g'a (%26,41 artış), kağıt hamurunun 43 °SR'e kadar dövülmesi ile ise 83,78 N.m/g'a (%29,65 artış) yükseldiği tespit edilmiştir.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek kopma indisi değeri 86,81 N.m/g ile K2 pişirmesinde en düşük kopma indisi değeri ise 83,78 N.m/g ile K1 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.10: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların kopma indisi.

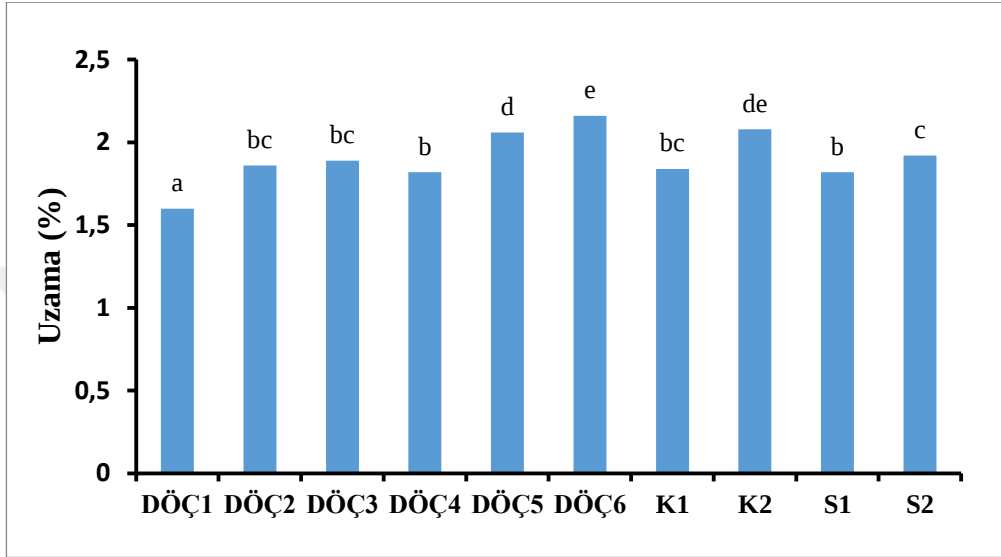
4.4.2 Uzama

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının uzama değerleri üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.11-4.13'de verilmiştir.

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örnekler ile geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklerin uzama değerleri arasında istatistiki olarak anlamlı ($p < 0,05$) bir fark olmasına rağmen bu farkın önemli bir derecede olmadığı görülmüştür. DÖÇ pişirmelerinde en yüksek uzama değeri %2,16 ile DÖÇ6 pişirmesinde, en düşük değer ise %1,6 ile DÖÇ1 pişirmesinde elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında

kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıdın uzama değerinin istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bir şekilde arttığı görülmüştür.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek uzama değeri %2,08 ile K2 pişirmesinden en düşük uzama değeri ise %1,82 ile S1 pişirmesinden elde edilmiştir.

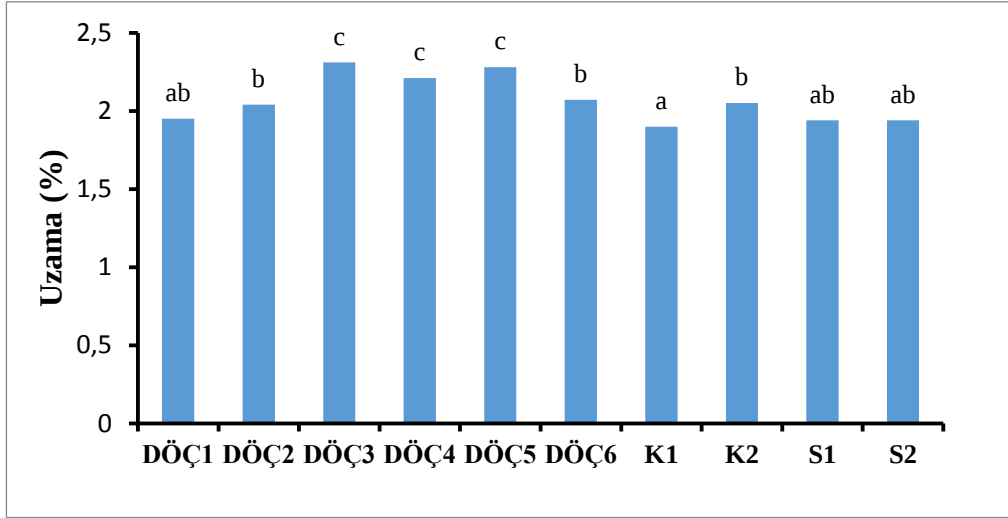


Şekil 4.11: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların uzama değerleri.

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi 33 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında, DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örnekler ile geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklerin uzama değerleri arasında istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bir fark olmadığı belirlenmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek uzama değeri %2,31 ile DÖÇ3 pişirmesinde, en düşük uzama değeri ise %1,95 ile DÖÇ1 pişirmesinde görülmüştür.

DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının arttırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın uzama değerinin doğrusal bir şekilde arttığı ve bu artışın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir. Ancak maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kolin klorür mol oranının artması ile kağıdın uzama değerinin, DÖÇ6 pişirmesinde, istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bir şekilde azalmıştır.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek uzama değeri %2,05 ile K2 pişirmesinden, en düşük uzama değeri %1,90 ile K1 pişirmesinden elde edilmiştir.

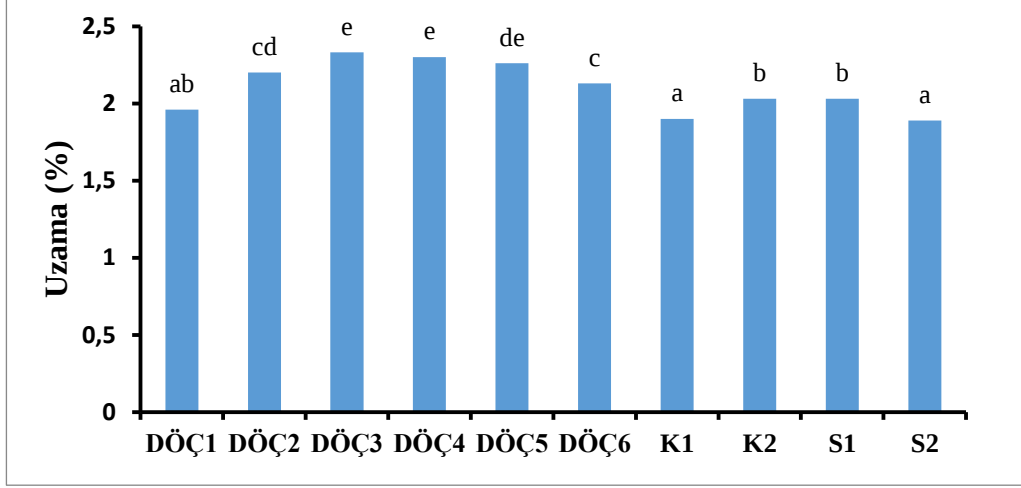


Şekil 4.12: 33 SR° kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların uzama değerleri.

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi 43° SR’ e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere daha yüksek uzama değeri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmelerinde en yüksek uzama değeri %2,33 ile DÖÇ3 pişirmesinde, en düşük değer ise %1,96 ile DÖÇ1 pişirmesinde görülmüştür. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde doğrusal bir artış vardır ve bu artış istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıdın uzama değerinin artan kolin klorür oranı ile istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.

DÖÇ kağıt hamurlarının geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarına oranla kağıtların uzama değerlerindeki değişime bakarak dövme işlemine daha iyi cevap verdiği görülmüştür. Örneğin; DÖÇ2 pişirmesinde dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıdın uzama değeri %1,86’dan kağıt hamurunun 33 °SR’e kadar dövülmesiyle %2,04’ e (%9,67 artış) 43 °SR’ e kadar dövülmesi ile ise %2,2’ye (%18,27 artış) yükseldiği tespit edilmiştir. Ancak, K1 pişirmesinde dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıdın uzama değeri %1,84’ten kağıt hamurunun 33 °SR’ e kadar dövülmesi ile %1,9’a (%3,26 artış) 43 °SR’ e kadar dövülmesi ile yine aynı %1,9 (%3,26 artış) olduğu belirlenmiştir.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek uzama değeri %2,03 ile K2 ve S1 pişirmesinden en düşük uzama değeri ise %1,89 ile S2 pişirmesinden elde edilmiştir.



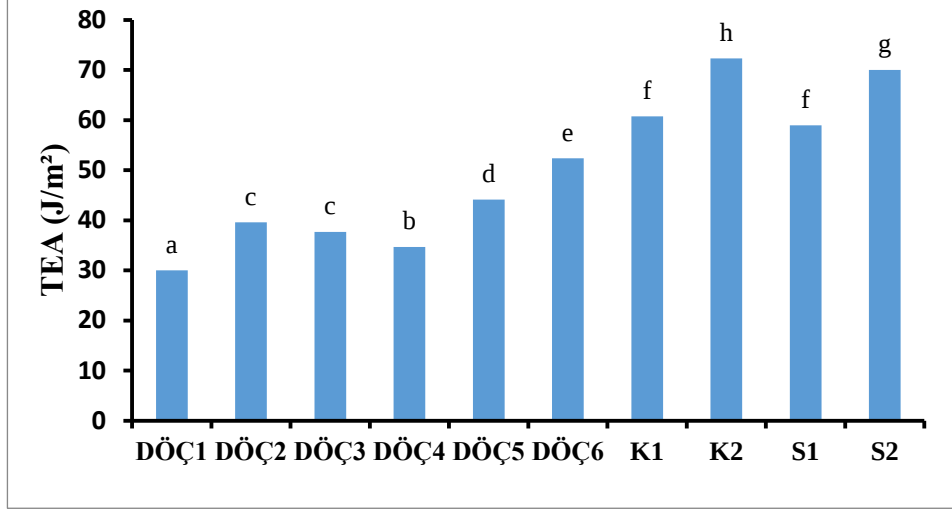
Şekil 4.13: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların uzama değerleri.

4.4.3 TEA

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının TEA değerleri üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.14-4.16’da verilmiştir.

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük TEA değeri elde edilmiştir. DÖÇ ve geleneksel yöntemlerle elde edilen deneme kağıtlarının TEA değerleri arasındaki farkın istatistikî olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek TEA değeri 52,36 J/m² ile DÖÇ6 pişirmesinde, en düşük değer ise 30,02 J/m² ile DÖÇ1 pişirmesinde elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın TEA değeri sadece DÖÇ2 pişirmesinde artmıştır ve bu artış istatistikî olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde artan kolin klorür oranı ile kağıdın TEA değerinin doğrusal bir şekilde arttığı ve bu artışın istatistikî olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek TEA değeri 72,34 J/m² ile K2 pişirmesinde, en düşük değer ise 58,97 J/m² ile S1 elde edilmiştir.

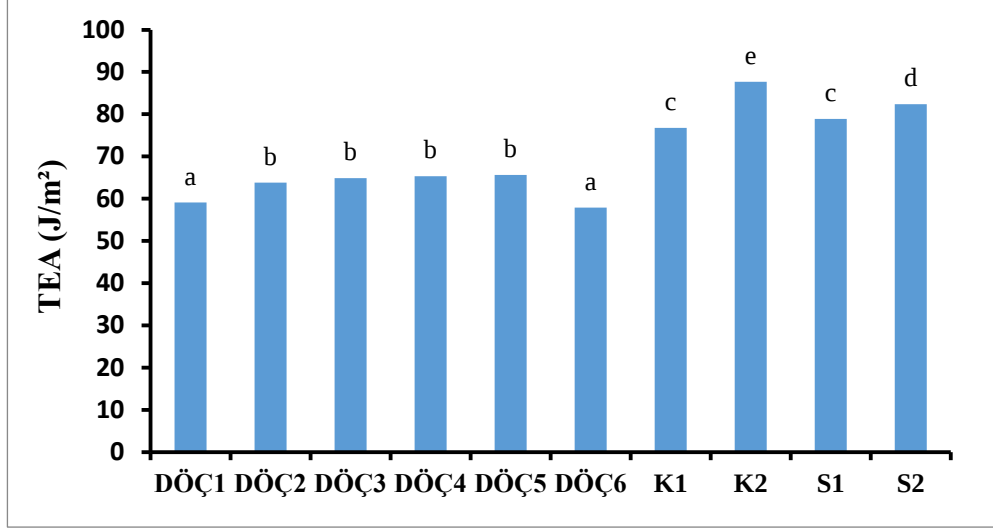


Şekil 4.14: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların TEA değeri.

Şekil 4.15’de görüldüğü gibi 33 °SR’ e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük TEA değerleri görülmektedir ve aralarındaki farkın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek TEA değeri 65,67 J/m² ile DÖÇ5 pişirmesinde, en düşük değer ise 57,91 J/m² ile DÖÇ6 pişirmesinde tespit edilmiştir.

DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın TEA değerinin arttığı ve bu artışın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir. Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4,DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıdın TEA değeri DÖÇ6 pişirmesinde azaldığı ve bu azalışın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek TEA değeri 87,65 J/m² ile K2 pişirmesinde, en düşük değer ise 76,79 J/m² ile K1 pişirmesinde elde edilmiştir.

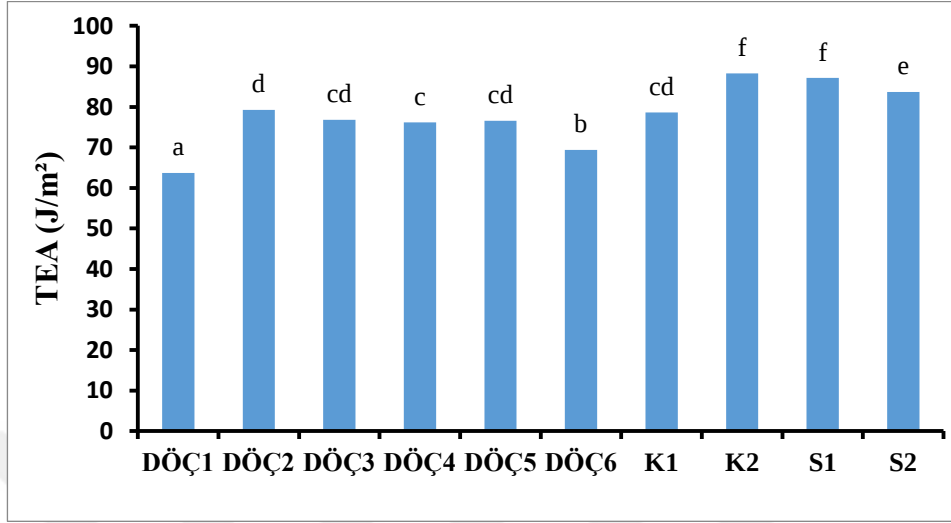


Şekil 4.15: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların TEA değeri.

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi 43 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde, geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük TEA değerlerine sahiptir ve aralarındaki fark istatistiki olarak ($p<0,05$) anlamlıdır (K1 hariç). DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek TEA değeri 79,28 J/m² ile DÖÇ2 pişirmesinde, en düşük değer ise 63,7 J/m² ile DÖÇ1 pişirmesinde elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinden elde edilen kağıtların TEA değeri DÖÇ2 pişirmesinde artarken DÖÇ3 pişirmesinde azalarak doğrusal olmayan bir şekilde etkilendiği görülmüştür. Maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıdın TEA değeri artan kolin klorür miktarıyla, DÖÇ5 pişirmesinde artarken DÖÇ6 pişirmesinde azalmıştır.

DES kağıt hamurlarının geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarına oranla kağıtların TEA değerlerindeki değişime bakarak dövme işlemine daha iyi cevap verdiği tespit edilmiştir. Örneğin; DÖÇ1 pişirmesinde dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıdın TEA değeri 30,02 J/m² den, kağıt hamurunun 33 °SR’ e kadar dövülmesi ile 59,15 J/m²’ye (%97 artış), kağıt hamurunun 43 °SR’ e kadar dövülmesi ile ise 63,7 J/m²’ye (%112 artış) yükseldiği tespit edilmiştir. Ancak, K1 pişirmesinde dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıdın TEA değeri 60,76 J/m² den, kağıt hamurunun 33 °SR’ e kadar dövülmesi ile 76,79 J/m²’ye (%26,38 artış), kağıt hamurunun 43 °SR’ e kadar dövülmesi ile ise 78,61 J/m²’ye (%29,37 artış) yükseldiği tespit edilmiştir.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek TEA değeri 88,26 J/m² ile K2 pişirmesinde, en düşük değer ise 74,02 J/m² ile K1 pişirmesinde görülmüştür.



Şekil 4.16: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların TEA değeri.

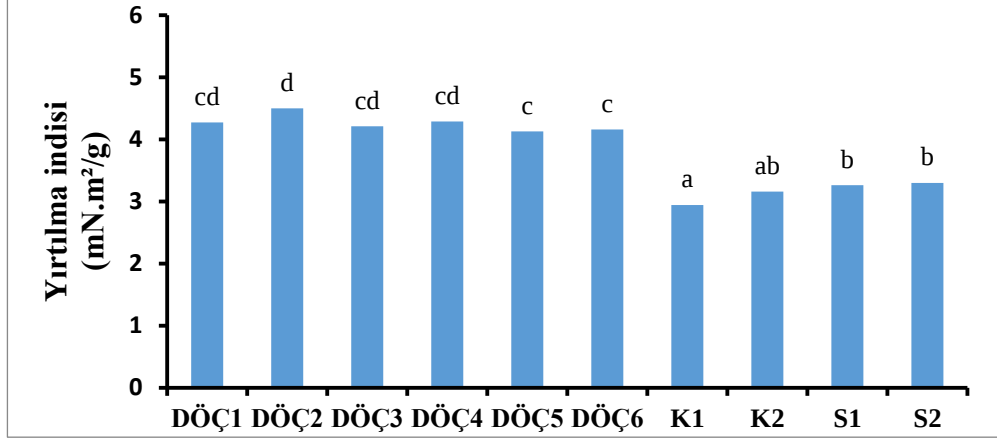
4.4.4 Yırtılma İndisi

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının yırtılma indisi üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.17-4.19’da verilmiştir.

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde, geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek yırtılma indisi elde edilmiştir ve aradaki fark istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$).

DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek yırtılma indisi 4,5 mN.m²/g ile DÖÇ2 pişirmesinde, en küçük değer ise 4,13 mN.m²/g ile DÖÇ5 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması, ile maksimum pişirme sıcaklığında hem 80 dak. pişirilen hem de 100 dk. Pişirilen örneklerde kağıdın yırtılma indisinin istatistiki olarak anlamsız ($p<0,05$) ölçüde değiştiği görülmüştür.

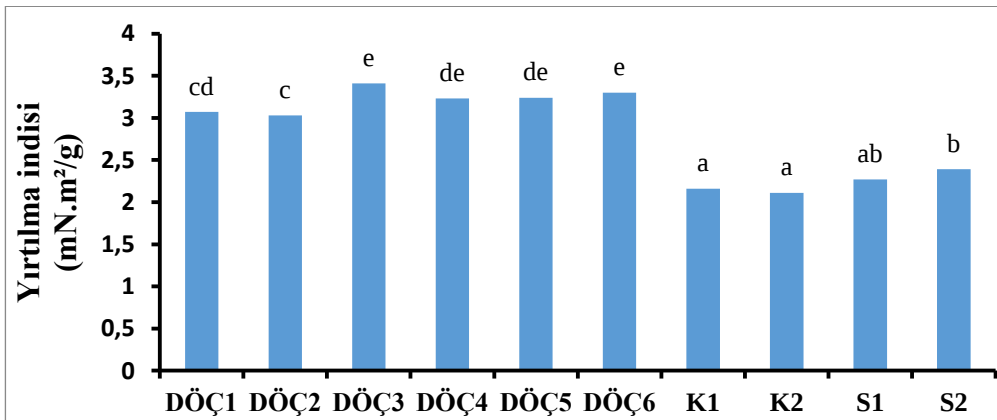
Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek yırtılma indisi 3,3 mN.m²/g ile S2 pişirmesinde, en düşük değer ise 2,94 mN.m²/g ile K1 pişirmesinde elde edilmiştir.



Şekil 4.17: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi.

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi 33 °SR’ e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde, geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek yırtılma indisi değerleri elde edilmiştir. Aralarındaki bu fark istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$). DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek yırtılma indisi 3,41 mN.m²/g ile DÖÇ3 pişirmesinde, en düşük değer ise 3,03 mN.m²/g ile DÖÇ2 pişirmesinde elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın yırtılma indisi DÖÇ2 pişirmesinde azalırken DÖÇ3 te artmaktadır ve bu etkilenmeler istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıdın yırtılma indisinin artan kolin klorür oranı ile istatistiki olarak anlamlı bir farkın olmadığı görülmüştür ($p<0,05$).

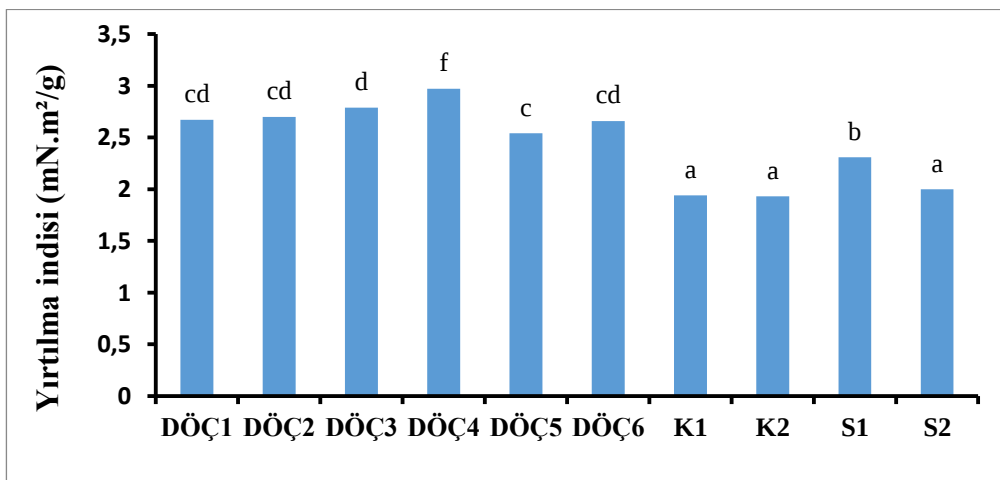
Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek yırtılma indisi 2,39 mN.m²/g ile S2 pişirmesinde en düşük değer ise 2,11 mN.m²/g ile K2 pişirmesinde elde edilmiştir.



Şekil 4.18: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi.

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi 43 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek yırtılma indisi değeri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek yırtılma indisi 2,97 mN.m²/g ile DÖÇ4 pişirmesinde, en düşük değer ise 2,54 mN.m²/g ile DÖÇ5 pişirmesinde elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın yırtılma indisi değerlerinin arttığı ancak bu artışın istatistiki olarak anlamlı olmadığı görülmüştür (p<0,05). Maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıdın yırtılma indisinin artan kolin klorür oranı ile doğrusal olmayan bir azalış gösterdiği, bu azalışın istatistiki olarak anlamlı (p<0,05) olduğu tespit edilmiştir.

Hem DÖÇ hem de geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarının serbestlik derecesi arttıkça deneme kağıtlarının yırtılma indisi değeri azalmaktadır. Bu azalışın her iki hamur türünde de benzer oranlarda olduğu görülmüştür. Örneğin; DÖÇ1 pişirmesinde dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıdın yırtılma indisi 4,27 mN.m²/g’den kağıt hamurunun 33 °SR’e kadar dövülmesi ile 3,07 mN.m²/g’a (%28,10 azalma), kağıt hamurunun 43 °SR’e kadar dövülmesi ile ise 2,67 mN.m²/g’a (%37,47 azalma) düştüğü tespit edilmiştir. K1 pişirmesinde ise dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıdın yırtılma indisi 2,94 mN.m²/g’den kağıt hamurunun 33 °SR’e kadar dövülmesi ile 2,16 mN.m²/g’a (%26,53 azalma), kağıt hamurunun 43 °SR’e kadar dövülmesi ile 1,94 mN.m²/g’a (%34,01 azalma) düştüğü belirlenmiştir.



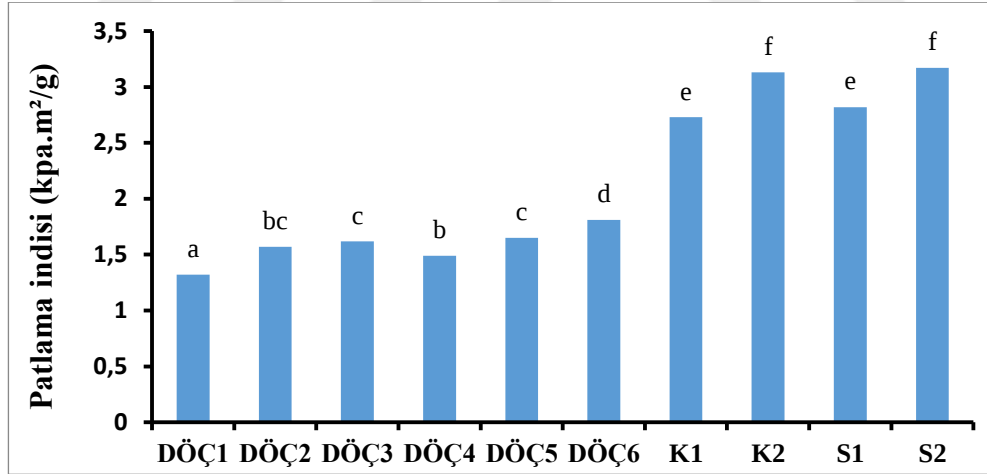
Şekil 4.19: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi.

4.4.5 Patlama İndisi

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının patlama indisi değerleri üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.20-4.22’de verilmiştir.

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük patlama indisi değeri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisindeki en yüksek kopma indisi değeri 1,81 k.Pa.m²/g ile DÖÇ6 pişirmesinde, en düşük değer ise 1,32 k.Pa.m²/g ile DÖÇ1 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında hem 80 dak. hem de 100dk. pişirilen örneklerin patlama indisi değerlerinin doğrusal bir şekilde arttığı ve bu artışın istatistiki olarak anlamlı olduğu görülmüştür (p<0,05).

Geleneksel yöntemlerden elde kağıtlarda ise en yüksek patlama indisi 3,13 k.Pa.m²/g ile S2 pişirmesinde, en düşük değer ise 2,73 k.Pa.m²/g ile K1 pişirmesinden elde edilmiştir.

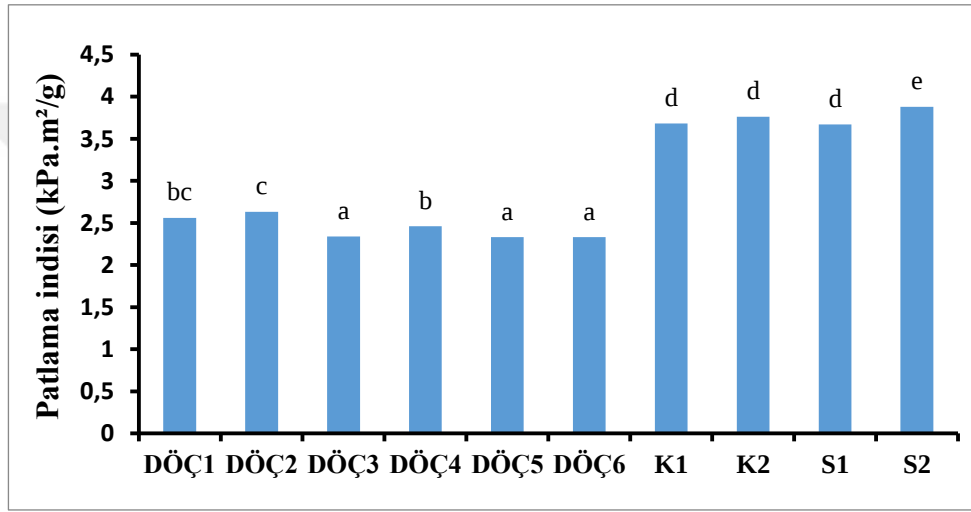


Şekil 4.20: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların patlama indisi.

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi 33 °SR’ e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde, geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük patlama indisi elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri ile geleneksel yöntemlerden elde edilen örneklerin patlama indisi değerleri arasındaki fark istatistiki olarak anlamlıdır (p<0,05). DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek patlama indisi 2,63 k.Pa.m²/g ile DÖÇ2 pişirmesinde, en düşük değer ise 2,33 k.Pa.m²/g ile DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinden elde edilmiştir.

DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın patlama indisinin doğrusal olmayan bir şekilde etkilendiği bu etkinin ise istatistiki olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Ancak, maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıdın patlama indisinin artan kolin klorür oranı ile istatistiki olarak anlamlı bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek en yüksek patlama indisi $3,88 \text{ k.Pa.m}^2/\text{g}$ ile S2 pişirmesinde, en düşük değer ise $3,67 \text{ k.Pa.m}^2/\text{g}$ ile S1 pişirmesinden elde edilmiştir.



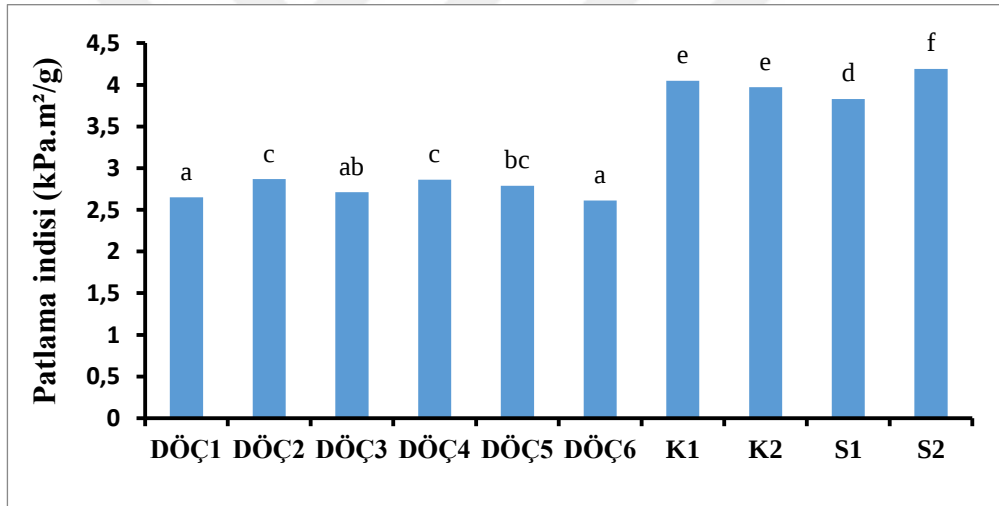
Şekil 4.21: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların patlama indisi.

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi 43 °SR’ e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük patlama indisleri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek patlama indisi $2,87 \text{ k.Pa.m}^2/\text{g}$ ile DÖÇ2 pişirmesinde, en küçük patlama indisi $2,61 \text{ k.Pa.m}^2/\text{g}$ ile DÖÇ6 pişirmesinde elde edilmiştir.

DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın patlama indisinin doğrusal olmayan bir şekilde etkilendiği ve bu etkinin istatistiki olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde kağıdın patlama indisi artan kolin klorür oranı ile doğrusal bir şekilde azalmıştır ve bu azalmanın istatistiki olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

DÖÇ kağıt hamurlarının geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıt hamurlarına oranla kağıtların kopma indisi değerlerindeki değişime bakarak dövme işlemine daha iyi cevap verdiği görülmüştür. Örneğin DÖÇ1 pişirmesinde dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıtların patlama indisi 1,32 k.Pa.m²/g'dan kağıt hamurunun 33 °SR' e kadar dövülmesi ile 2,56 k.Pa.m²/g'a (%93,94 artış), kağıt hamurunun 43 °SR'e kadar dövülmesi ile ise 2,65 k.Pa.m²/g'a (%100,76 artış) yükseldiği belirlenmiştir. K1 pişirmesinde ise dövülmemiş kağıt hamurundan elde edilen kağıdın patlama indisi 2,73 k.Pa.m²/g'dan kağıt hamurunun 33 °SR' e kadar dövülmesi ile 3,68 k.Pa.m²/g'a (%34,80 artış), kağıt hamurunun 43 °SR'e kadar dövülmesi ile ise 4,05 k.Pa.m²/g'a (%48,35 artış) yükseldiği tespit edilmiştir.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek patlama indisi 4,19 k.Pa.m²/g ile S2 pişirmesinde, en küçük değer ise 3,83 k.Pa.m²/g ile S1 pişirmesinde elde edilmiştir.



Şekil 4.22: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların patlama indisi.

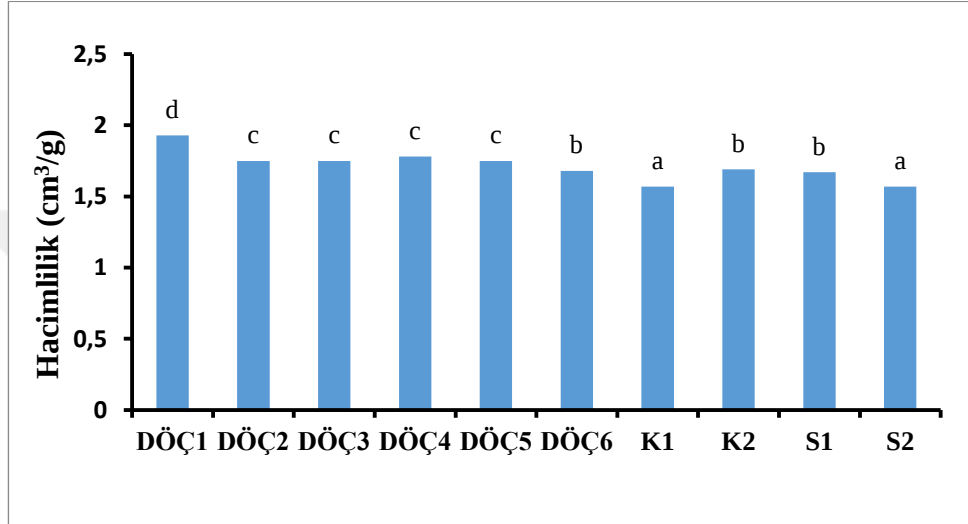
4.4.6 Hacimlilik

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının hacimlilik değerleri üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.23-4.25'de verilmiştir.

Şekil 4.23'de görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek hacimlilik değeri elde edilmiştir. Farkın istatistiki olarak anlamlı ($p < 0,05$) olduğu tespit edilmiştir (DÖÇ6 hariç). DÖÇ pişirmeleri içerisindeki en yüksek hacimlilik değeri 1,93 cm³/g ile DÖÇ1 pişirmesinden,

en düşük değer ise 1,68 cm³/g ile DÖÇ6 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıdın hacimlilik değerini istatistiki olarak anlamlı (p<0,05) bir şekilde azaldığı görülmüştür.

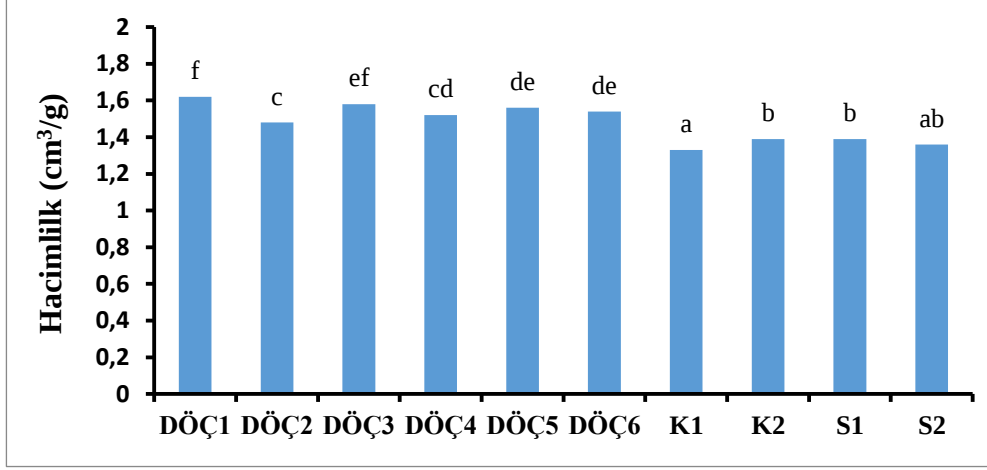
Geleneksel yöntemlerden elde edilen kağıtlarda ise en yüksek hacimlilik değeri 1,69 cm³/g ile K2 pişirmesinden, en düşük değer ise 1,57 cm³/g ile K1 ve S2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.23: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hacimlilik değeri.

Şekil 4.24’de görüldüğü gibi 33 °SR ’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde, geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek hacimlilik değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen hacimlilik değerleri arasındaki farkın istatistiki olarak anlamlı (p<0,05) olduğu belirlenmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek hacimlilik değeri 1,62 cm³/g ile DÖÇ1 pişirmesinden, en düşük değer ise 1,48 cm³/g ile DÖÇ2 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum sıcaklıkta 80 dk. pişirilen örneklerin deneme kağıtlarının hacimlilik değeri doğrusal olmayan bir şekilde etkilendiği ve bu etkinin de istatistiki olarak anlamlı (p<0,05) olduğu tespit edilmiştir. Maksimum pişirme sıcaklığında 100 dk. pişirilen örneklerde ise kolin klorür mol oranının artmasının kağıdın hacimlilik değerleri üzerine istatistiki olarak anlamlı (p<0,05) bir etki sağlamadığı görülmüştür.

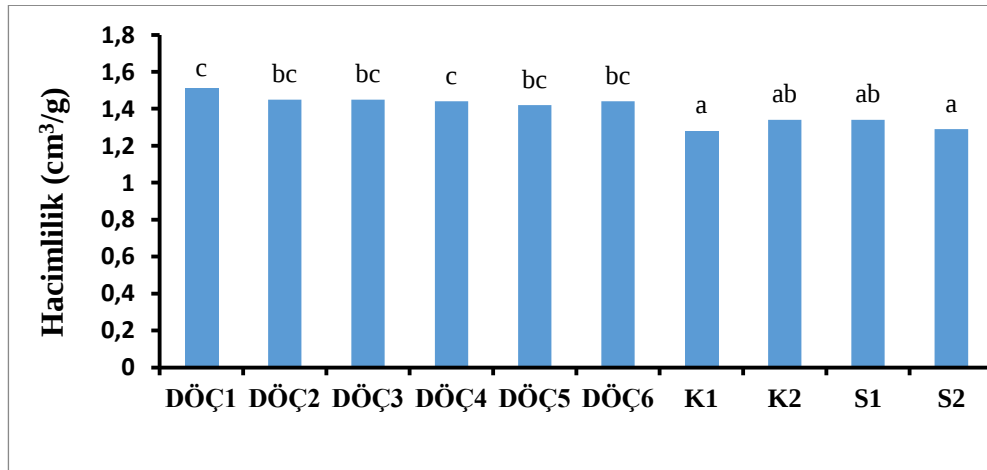
Geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıtlarda en yüksek hacimlilik değeri 1,39 cm³/g ile K2 ve S1 pişirmesinden, en düşük değer ise 1,36 cm³/g ile S2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.24: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hacimlilik değeri.

Şekil 4.25’de görüldüğü gibi 43 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek hacimlilik değeri elde edilmiştir. DÖÇ ve geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıtların hacimlilik değerleri arasındaki fark istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$). DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek hacimlilik değeri 1,51 cm³/g ile DÖÇ1 pişirmesinden, en düşük değer ise 1,42 cm³/g ile DÖÇ5 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılmasının deneme kağıtlarının hacimlilik değeri üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olmadığı görülmüştür ($p<0,05$).

Geleneksel yöntemlerle elde edilen deneme kağıtlarında en yüksek hacimlilik değeri 1,34 cm³/g ile K2 ve S1 pişirmelerinden, en düşük değer ise 1,28 cm³/g ile K1 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.25: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hacimlilik değeri.

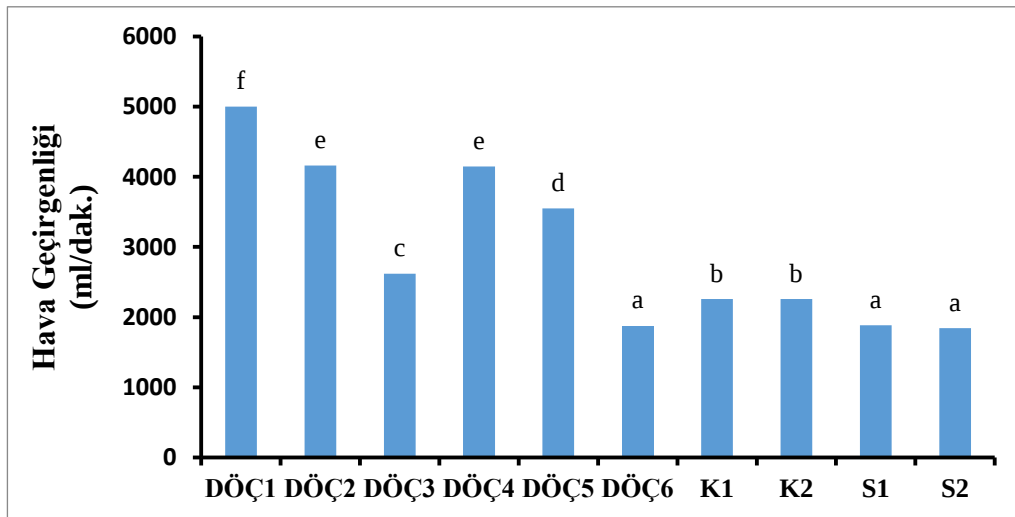
4.4.7 Hava Geçirgenliği

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının hava geçirgenliği değerleri üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.26-4.28’de verilmiştir.

Şekil 4.26’da görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında, DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde, geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre kağıtların hava geçirgenliği değerlerinin genel olarak daha yüksek (DÖÇ6 hariç) olduğu tespit edilmiştir. Bu farkın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu görülmüştür.

DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek hava geçirgenliği 5000 ml/dak. ile DÖÇ1 pişirmesinde, en düşük değer ise 1880 ml/dak. ile DÖÇ6 pişirmesinde görülmektedir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıdın hava geçirgenliği değerlerinin doğrusal bir şekilde azaldığı ve bu azalmanın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek hava geçirgenliği değeri 2259,6 ml/dak. ile K1 pişirmesinden, en küçük değer ise 1845 ml/dak. ile S2 pişirmesinden elde edilmiştir.

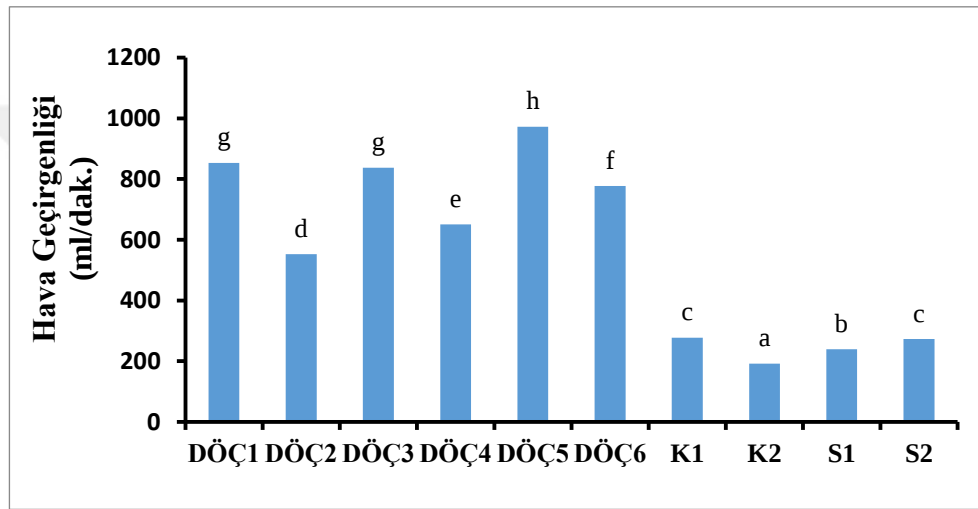


Şekil 4.26: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hava geçirgenliği değeri.

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi 33 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek hava

geçirgenliği değerleri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içinde en yüksek hava geçirgenliği değeri 972 ml/dak. ile DÖÇ5 pişirmesinde, en düşük değer ise 553 ml/dak. ile DÖÇ2 pişirmesinde görülmüştür. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıdın hava geçirgenliği değerlerinin doğrusal olmayan bir şekilde etkilendiği, ancak bu etkinin istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir.

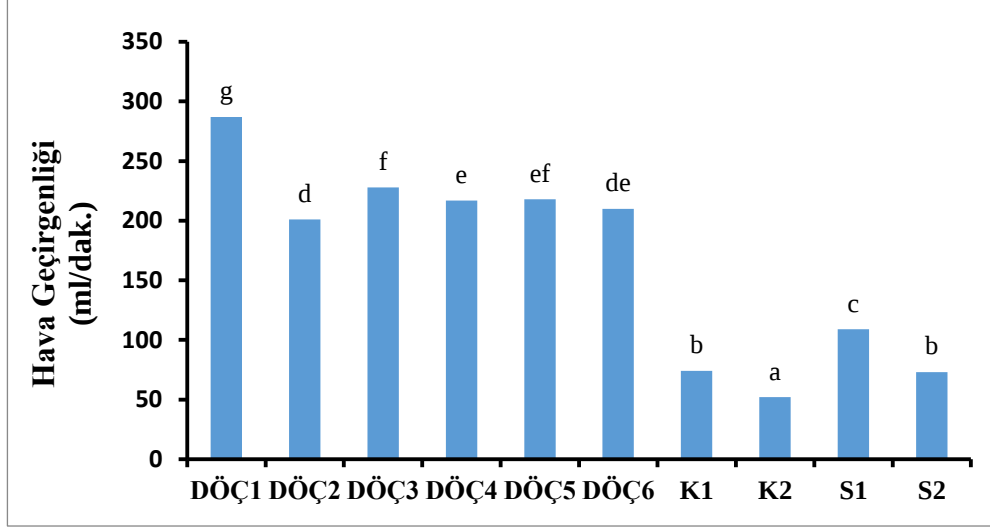
Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek hava geçirgenliği değeri 277 ml/dak. ile K1 pişirmesinden, en düşük değer ise 192 ml/dak. ile K2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.27: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hava geçirgenliği değeri.

Şekil 4.28’de görüldüğü gibi 43 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında, DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde, geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek hava geçirgenliği değeri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmelerinde en yüksek hava geçirgenliği değeri 287 ml/dak. ile DÖÇ1 pişirmesinde, en düşük değer ise 201 ml/dak. ile DÖÇ2 pişirmesinde görülmüştür. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile kağıdın hava geçirgenliği değerlerinin doğrusal olmayan bir şekilde değiştiği görülmüştür.

Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek hava geçirgenliği değeri 109 ml/dak. ile S1 pişirmesinden, en küçük değer ise 52 ml/dak. ile K2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.28: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hava geçirgenliği değeri.

4.5 Kağıtların Optik Özellikleri

DÖÇ, soda ve srafit yöntemleri ile elde edilen farklı serbestlik derecelerindeki kağıt hamurlarının, deneme kağıtlarının optik özellikleri Tablo 4.8-4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.8: Dövülmemiş hamurdan elde edilen kağıtların optik özellikleri.

Piştirme No	Opaklık (%)	Parlaklık (%)
DÖÇ1	99,88±0,29	10,66±0,16
DÖÇ2	99,84±0,20	9,67±0,08
DÖÇ3	99,9±0,06	9,84±0,24
DÖÇ4	99,91±0,13	10,45±0,16
DÖÇ5	99,95±0,07	9,13±0,08
DÖÇ6	99,97±0,05	9±0,08
K1	99,84±0,26	20,82±0,14
K2	99,49±0,10	27,72±0,22
S1	99,56±0,18	24,1±0,21
S2	98,85±0,20	32,74±0,23

Tablo 4.9: 33 ° SR Hamurdan elde edilen kağıtların optik özellikleri.

Piştirme No	Opaklık (%)	Parlaklık (%)
DÖÇ1	99,91±0,09	10,81±0,26
DÖÇ2	99,83±0,24	10,14±0,33
DÖÇ3	99,92±0,12	9,91±0,26
DÖÇ4	99,88±0,15	10,50±0,16
DÖÇ5	99,93±0,07	10,51±0,11
DÖÇ6	99,96±0,08	9,19±0,09
K1	99,74±0,11	19,7±0,11
K2	98,87±0,06	25,89±0,22
S1	99,31±0,08	22,89±0,18
S2	98,48±0,29	31,17±0,35

Tablo 4.10: 43 ° SR hamurdan elde edilen kağıtların optik özellikleri.

Piştirme No	Opaklık (%)	Parlaklık (%)
DÖÇ1	99,92±0,06	10,34±0,30
DÖÇ2	99,86±0,19	9,49±0,35
DÖÇ3	99,82±0,15	9,56±0,30
DÖÇ4	99,9±0,11	10,38±0,12
DÖÇ5	99,97±0,04	9,3±0,05
DÖÇ6	99,95±0,08	9,09±0,05
K1	99,49±0,11	18,80±0,10
K2	98,52±0,18	24,83±0,28
S1	99,09±0,13	22,21±0,27
S2	97,73±0,06	29,3±0,27

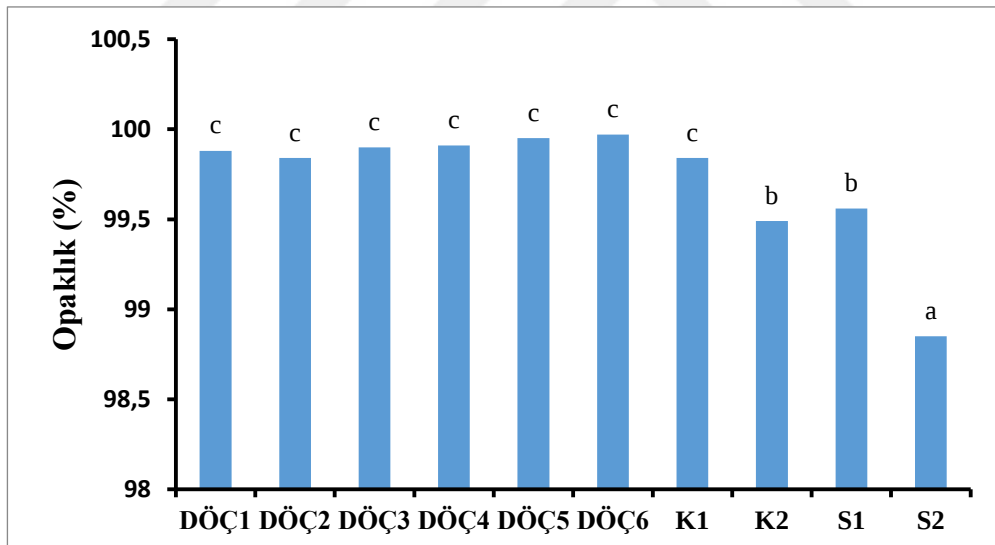
4.5.1 Opaklık

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının opaklık değerleri üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.29-4.31’de verilmiştir.

Şekil 4.29’de görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre K1 pişirmesi hariç daha yüksek opaklık değeri elde edilmiştir. K1 pişirmesi hariç farkın istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$).

DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek opaklık değeri %99,97 ile DÖÇ6 pişirmesinden, en düşük değer ise %99,84 ile DÖÇ2 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması kağıdın opaklık değerleri istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bir şekilde etkilenmemiştir.

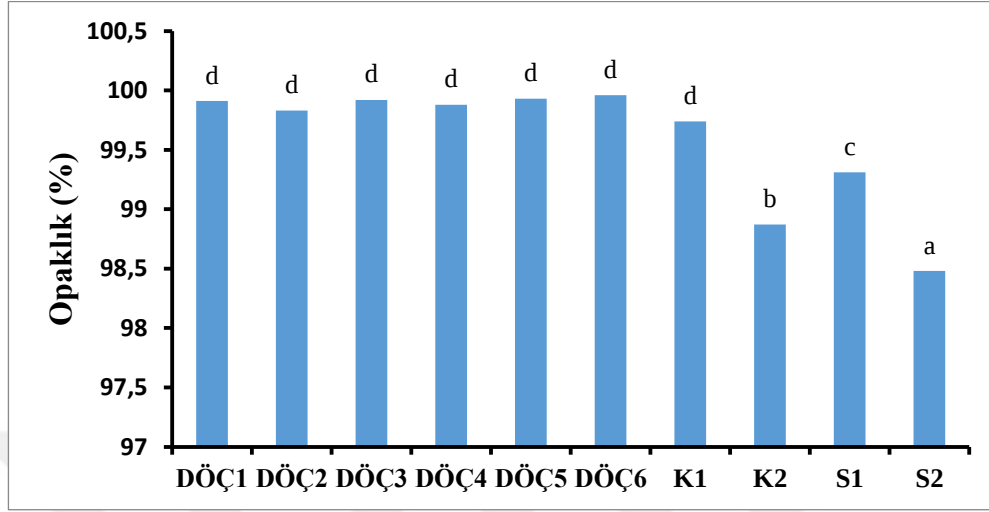
Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek opaklık değeri %99,84 ile S2 pişirmesinden, en düşük değer ise %98,85 ile K2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.29: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların opaklık değeri.

Şekil 4.30’da görüldüğü gibi 33 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek (K1 hariç) opaklık değeri elde edilmiştir. K1 pişirmesi hariç DÖÇ ve geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklerin opaklık değerleri arasındaki fark istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$). DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek opaklık değeri %99,96 ile DÖÇ6 pişirmesinden, en düşük değer ise %99,83 ile DÖÇ2 pişirmesinden elde edilmiştir.

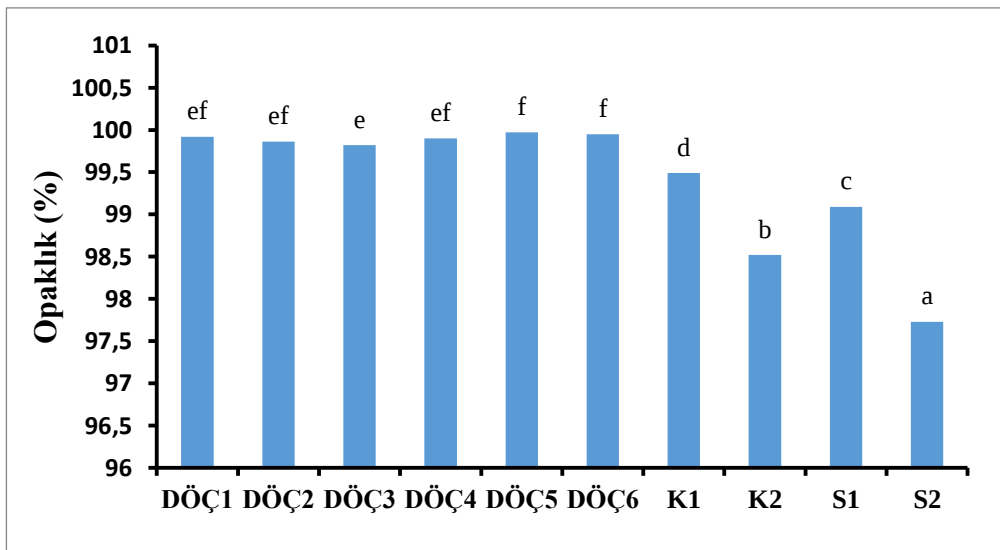
Geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıtlarda en yüksek opaklık değeri %99,74 ile K1 pişirmesinden, en düşük değer ise %98,48 ile S2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.30: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların opaklık değeri.

Şekil 4.31’de görüldüğü gibi 43 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde, geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha yüksek opaklık değeri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek opaklık değeri %99,97 ile DÖÇ5 pişirmesinden, en düşük değer ise %99,82 ile DÖÇ3 pişirmesinden elde edilmiştir.

Geleneksel yöntemlerden elde edilen kağıtlarda ise en yüksek opaklık değeri %99,49 ile K1 pişirmesinden, en düşük değer ise %97,73 ile S2 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.31: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların opaklık değeri.

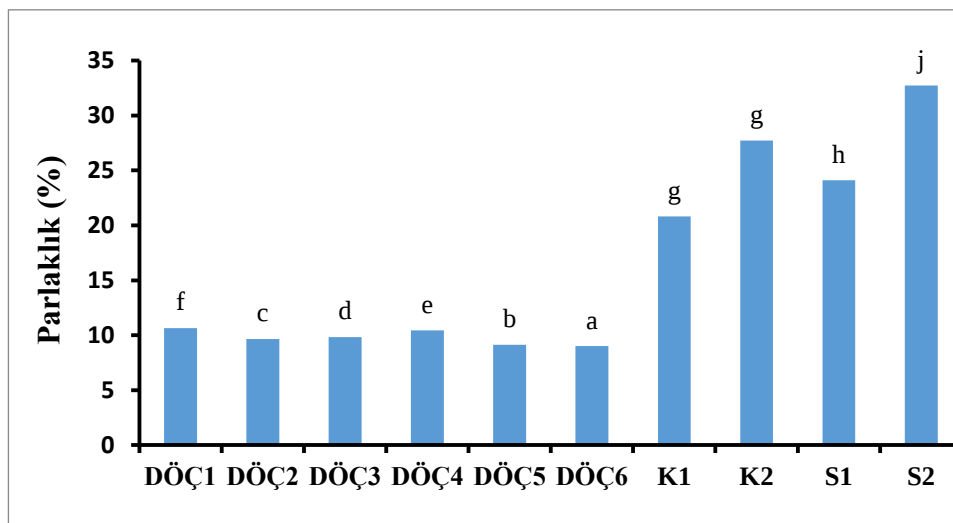
4.5.2 Parlaklık

DÖÇ ve geleneksel pişirme yöntemleri ile elde edilen dövülmüş (33 °SR ve 43 °SR) ve dövülmemiş kağıt hamurlarının deneme kağıtlarının parlaklık değerleri üzerine pişirme yöntem ve koşullarının etkileri Şekil 4.32-4.34’de verilmiştir.

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi dövülmemiş kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük parlaklık değeri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek parlaklık değeri %10,66 ile DÖÇ1 pişirmesinden, en düşük değer ise %9 ile DÖÇ6 pişirmesinden elde edilmiştir.

DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında 80 dak. pişirilen DÖÇ1, DÖÇ2 ve DÖÇ3 pişirmelerinde kağıdın parlaklığının doğrusal olmayan bir şekilde değişim gösterdiği ve bu değişimin istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Maksimum pişirme sıcaklığında 100 dak. pişirilen DÖÇ4, DÖÇ5 ve DÖÇ6 pişirmelerinde ise kağıdın parlaklığı artan kolin klorür miktarı ile istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.

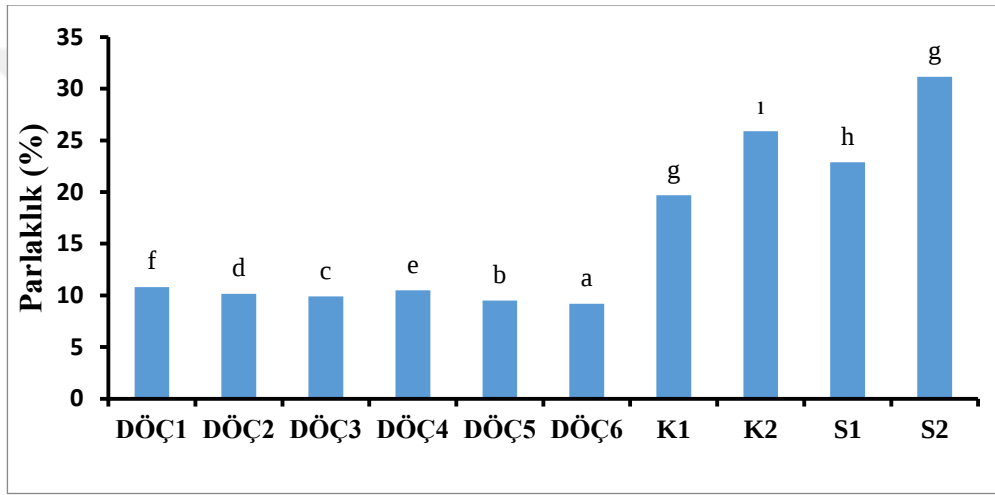
Geleneksel yöntemlerde ise en yüksek parlaklık değeri %32,74 ile S2 pişirmesinden, en düşük değer ise %20,82 ile K1 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.32: Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların parlaklık değeri.

Şekil 4.33’de görüldüğü gibi 33 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük parlaklık değeri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek parlaklık değeri %10,81 ile DÖÇ1 pişirmesinden, en düşük değer ise %9,19 ile DÖÇ6 pişirmesinden elde edilmiştir. DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması kağıdın parlaklığı doğrusal olmayan bir şekilde etkilenmiştir ve istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) değildir.

Geleneksel yöntemlerle elde edilen kağıtlarda ise en yüksek parlaklık değeri %31,17 ile S2 pişirmesinden, en düşük değer ise %19,7 ile K1 pişirmesinden elde edilmiştir.

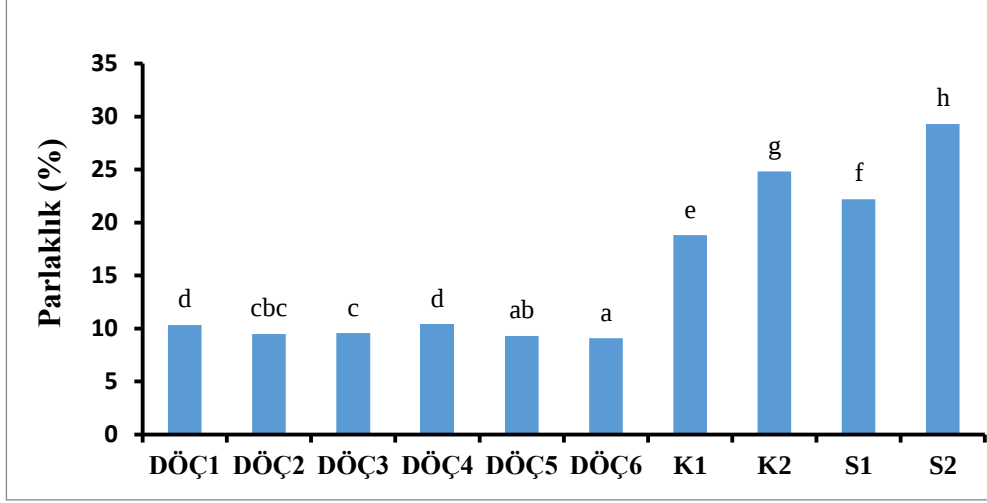


Şekil 4.33: 33 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların parlaklık değeri.

Şekil 4.34’de görüldüğü gibi 43 °SR’e kadar dövülen kağıt hamurlarında DÖÇ pişirmelerinden elde edilen örneklerde geleneksel yöntemlerle elde edilen örneklere göre daha düşük parlaklık değeri elde edilmiştir. DÖÇ pişirmeleri içerisinde en yüksek parlaklık değeri %10,38 ile DÖÇ4 pişirmesinden, %9,09 ile DÖÇ6 pişirmesinden elde edilmiştir.

DÖÇ pişirme koşullarında kullanılan kolin klorür mol oranının artırılması ile maksimum pişirme sıcaklığında hem 80 dak. hem de 100 dk. pişirilen örneklerde kağıdın parlaklığının doğrusal bir şekilde azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın istatistiki olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir.

Geleneksel yöntemlerden elde edilen kağıtlarda ise en yüksek parlaklık değeri %29,3 ile S2 pişirmesinden, en düşük değer ise %18,8 ile K1 pişirmesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.34: 43 °SR kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların parlaklık değeri.

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER

Derin ötektik çözücüler (DÖÇ), doğal, organik maddelerden oluşan, biyo-bozunur, yanıcı olmayan, uçucu olmayan, zehirli olmayan, çevreye dost, hazırlanması kolay, kokusuz, renksiz ve kullanıldıktan sonra kolayca geri dönüştürülebilen çözücülerdir. Bu çalışmada, çevreye dost bir kimyasal olan DÖÇ kullanılarak sorgum (*Sorghum bicolor* x *S. bicolor* var. *sudanense*) saplarından kağıt hamuru üretim olanakları araştırılmıştır. Kağıt hamuru ve kağıt özelliklerini karşılaştırmak için, geleneksel kağıt hamuru üretim yöntemlerinden soda ve Kraft yöntemleri ile de kağıt hamuru üretilmiştir.

DÖÇ pişirmelerinden elde edilen kağıt hamurlarının elenmiş verimleri, elek artıkları, toplam verimleri ve viskoziteleri incelendiğinde soda ve Kraft pişirmelerinden elde edilenlerle karşılaştırılabilir değerler elde edildiği görülmüştür. DÖÇ kağıt hamurlarının çeşitli solventlerle yıkanması ile elenmiş verim ve toplam verimlerinin azaldığı görülmüştür. Ancak azalmaya karşın bu değerlerin yüksek kappa numaralı K1 ve S1 pişirmeleri ile benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir. DÖÇ kağıt hamurlarının soda ve Kraft kağıt hamurlarından daha yüksek kappa numaralarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Kağıt hamuru verimleri açısından DÖÇ5 (5K:10EG, 60+100 dk.) pişirmesinin, kappa numarası ve viskozite açısından DÖÇ4 (4K:10EG, 60+100 dk.) pişirmesinin en iyi sonuç veren DÖÇ pişirmesi olduğu görülmüştür.

DÖÇ kağıt hamurlarının dövülmesi esnasında 33 °SR ve 43 °SR serbestlik derecelerine soda ve Kraft kağıt hamurlarına göre daha kısa sürede ulaşıldıkları, yani dövmeye daha hızlı cevap verdikleri görülmüştür.

Dövülmemiş DÖÇ kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi hariç diğer sağlamlık değerlerinin soda ve Kraft kağıt hamurlarından elde edilenlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtlarda tüm kağıt sağlamlığı değerleri açısından DÖÇ6 (6K:10EG, 60+100 dk.) pişirmesinin en iyi sonuç veren DÖÇ pişirmesi olduğu görülmüştür.

33 °SR'e kadar dövülen DÖÇ kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi hariç diğer sağlamlık değerlerinin soda ve Kraft kağıt hamurlarından elde edilenlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtlarda kopma indisi ve patlama indisi açısından DÖÇ2 (5K:10EG, 60+80 dk.) pişirmesinin, uzama ve yırtılma indisi açısından DÖÇ3 (6K:10EG, 60+80 dk.) pişirmesinin, TEA açısından DÖÇ5 (5K:10EG, 60+100 dk.) pişirmesinin en iyi sonuç veren DÖÇ pişirmesi olduğu görülmüştür.

43 °SR'e kadar dövülen DÖÇ kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların yırtılma indisi ve uzama değerleri hariç diğer sağlamlık değerlerinin soda ve Kraft kağıt hamurlarından elde edilenlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Dövülmemiş kağıt hamurlarından elde edilen kağıtlarda kopma indisi, TEA ve patlama indisi açısından DÖÇ2 (5K:10EG, 60+80 dk.) pişirmesinin, uzama açısından DÖÇ3 (6K:10EG, 60+80 dk.) pişirmesinin, yırtılma indisi açısından DÖÇ4 (4K:10EG, 60+100 dk.) pişirmesinin en iyi sonuç veren DÖÇ pişirmesi olduğu görülmüştür. Dövülmemiş ve dövülmüş DÖÇ kağıt hamurlarından elde edilen kağıtların hacimlilik ve hava geçirgenliği değerlerinin soda ve Kraft kağıt hamurlarından elde edilenlerden daha yüksek, opaklık değerlerinin benzer, parlaklık değerlerinin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, DÖÇ kullanılarak sorgum saplarından kağıt hamuru üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. DÖÇ ile elde edilen kağıt hamurlarının ve kağıtlarının bazı özelliklerinin soda ve Kraft yöntemi ile elde edilenlerle karşılaştırılabilir seviyede olduğu tespit edilmiştir. DÖÇ'lerin çevreye dost ve zehirli olmayan, doğal, organik, geri dönüştürülebilir ve biyobozunur özelliklerinin yanı sıra lignoselülozik maddelerin ana bileşenleri ile olan ilişkileri nedeniyle gelecekte gerek kağıt hamuru üretim endüstrisinde, gerekse katma değeri yüksek (value added) ürünlerin elde edilmesinde önemli bir kullanım potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan farklı DÖÇ ve farklı lignoselülozik maddeler kullanılarak kağıt hamuru üretim olanakları ile ilgili araştırmalar yapılarak pişirme esnasında DÖÇ ve lignoselülozik madde arasında meydana gelen reaksiyonlar detaylı olarak belirlenmelidir. Diğer taraftan, pişirme esnasında DÖÇ'lere karışan değerli maddelerin (lignin, ksilan gibi) çözeltiden ayrıştırılarak karakterize edilmesi ve katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abbott, A.P., Glen, C., Davies, D.L., Rasheeda, R.K. ve Tambryrajaha, V. (2003). Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures. *Chemical Communications*, 1: 70-71.
- Abbott, A. (2010). *Deep Eutectic Solvents, in Leuven Summer School on Ionic Liquids*.
- Abbott, A.P., Ahmed, E.I., Harris, R.C. ve Ryder, K.S. (2014). Evaluating water miscible deep eutectic solvents (DESs) and ionic liquids as potential lubricants. *Green Chemistry*, 16(9): 4156-4161.
- Aboug, H. (2014). Utilization of Deep Eutectic Solvent as a Pretreatment Option for Lignocellulosic Biomass. PhD Thesis, Tennessee Technological University. The Faculty of the College of Graduate Studies, Environmental Sciences, 66 s.
- Albert, S., Padhiar, A. ve Gandhi, D. (2011). Fiber properties of *Sorghum halepense* and its suitability for paper production. *Journal of Natural Fibers*, 8 (4): 263-271.
- Barnes, R.F., Miller, D.A. ve Nelson, C.J. (1995). Forages. An Introduction to Grassland Agriculture. Fifth Ed. *Iowa State University Press. Ames. Iowa. USA*.
- Baytekin, H. (1992). Güneydoğu Anadolu’da II. ürün silaj sorgum sudanotu ve sorgum sudanotu melezi yetiştirme olanakları. *Güneydoğu Anadolu II. Ürün Tarım ve Sorunları Sempozyumu*, Şanlıurfa.
- Belayachi, L. ve Delmas, M. (1995). Sweet sorghum: A quality raw material for the manufacturing of chemical paper pulp. *Biomass and Bioenergy*, 8 (6): 411-417.
- Chiaramonti, D. ve Agterberg, A. (2002). Large bio-ethanol project from sweet sorghum in China and Italy (ECHIT): Description on site, process schemes and main products. *12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, Amsterdam, Netherlands, s. 1114- 1117.
- De Dios, S.L.G. (2013). Phase Equilibria for Extraction Processes with Designer Solvents. PhD Thesis, University of Santiago De Compostela, School of Engineering, Department of Chemical Engineering, 139 s.
- Francisco, M., van den Bruinhorst, A. ve Kroon, M.C. (2012). New natural and renewable low transition temperature mixtures (LTTMs): Screening as solvents for lignocellulosic biomass processing. *Green Chemistry*, 14: 2153-2157.
- Gençer, A. ve Şahin, M. (2015). Identifying the conditions required for the NaOH method for producing pulp and paper from sorghum grown in Turkey. *BioResources*, 10 (2): 2850-2858.
- Gençer, A. ve Hatıl, C. (2019). Determination of alkali and sulfite ratios in paper pulp produced from sorghum stalks via the kraft method. *BioResources*, 14 (1): 922-930.
- Grassi, G. (2001). Sweet Sorghum: One of the Best World Food-Feed-Energy Crop. http://web.etaflorence.it/uploads/media/LAMNET_sweet_sorghum.pdf.
- Jablonský, M., Škulcová, A., Kamenská, L., Vrška, M. ve Šíma, J. (2015). Deep eutectic solvents: fractionation of wheat straw. *Bioresources*, 10 (4): 8039-8047.
- Jiménez, L., López, F. ve Martínez, C. (1993). Paper from sorghum stalks. *Holzforschung*, 47 (6): 529-533.

- Karadaş, S. (2008). Farklı Ekim Sıklıklarında İkinci Ürün Olarak Ekilen Sorgum x Sudan Otu Melezinin Verim ve Bazı Verim Unsurlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 49 s.
- Khazaeian, A., Ashori, A. ve Dizaj, M.Y. (2015). Suitability of sorghum stalk fibers for production of particleboard. *Carbohydrate Polymers*, 120: 15-21.
- Köppen, S., Reinhardt, G., ve Gärtner, S. (2009). Assessment of Energy and Greenhouse Gas Inventories of Sweet Sorghum for First and Second Generation Bioethanol. Environment and Natural Resources Management Series, 30, FAO, Rome.
- Kumar, A.K., Parikh, B.S. ve Pravakar, M. (2015). Natural deep eutectic solvent mediated pretreatment of rice straw: bioanalytical characterization of lignin extract and enzymatic hydrolysis of pretreated biomass residue. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (10): 9265-9275.
- Procentese, A., Johnson, E., Orr, V., Campanile, A.G., Wood, J.A., Marzocchella, A. ve Rehmann, L. 2015. Deep eutectic solvent pretreatment and subsequent saccharification of corncob. *Bioresources Technology*, 192: 31-36.
- Rowell, R.M. (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Taylor and Francis, Boca Raton, FL.
- Sağlamtimur, T., Tansı, V. ve Baytekin, H., 1998. *Yem Bitkileri Yetiştirme*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No:74. Adana.
- Saeed, H. A., Liu, Y., Lucia, L.A. ve Chen, H. (2017). Evaluation of Sudanese sorghum and bagasse as a pulp and paper feedstock. *BioResources*, 12(3): 5212-5222.
- Skerman, P.J. ve Riveros, F. 1990. *Tropical Grasses*. FAO Plant Production and Protection Series No:23. 695-697. Rome.
- Škulcová, A. 2015. Pretreatment of wheat straw using deep eutectic solvents and ultrasound. EFPRO – CEPI 4th Early Stage Researchers Workshop 17-19 November 2015, Finland.
- Tıknazoğlu, B. (2006). *Sorgum & Sudanotu Tarımı*. T.C. Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü Broşürü, No: T/24.
- URL-1, 2019. https://issuu.com/orbitaldergi/docs/orbital_3/57
- URL-2, 2019. <https://images.app.goo.gl/ucnq488FYcQmc38K7>
- URL-3, 2019. <https://www.truthinaging.com/ingredients/choline-chloride>
- URL-4, 2019. <http://caspiansuperoctane.com/our-products/monoethylene-glycol>
- URL-5, 2019. <http://www.bilgiyasam.com/ure-nedir-urenin-ozellikleri-ve-kullanim-olanlari-nelerdir-6971/>
- URL-6,2019. http://www.proprofs.com/quiz-school/user_upload/ckeditor/Glycerol.jp
- Wu, S.H., Caparanga, A.R., Leron, R.B. ve Li, M.H. (2012). Vapor pressure of aqueous choline chloride-based deep eutectic solvents (ethaline, glyceline, maline and reline) at 30–70 °C. *Thermochimica Acta*, 544: 1-5.
- Wahlström, R., Kuutti, L., Hiltunen, J., Rovio, S. ve Vuoti, S. (2014). Wood fractionation by deep eutectic solvent systems. EFPRO – CEPI 3rd Early Stage Researchers Workshop 25 November 2014, Finland.
- Wise, L.E. ve Jahn, E.C. (1952). *Wood Chemistry*, Ed. 2. Vol. 1 & 2. Reinhold Publ. Co.,

New York.

- Xu, G.C., Ding, J.C., Han, R.Z., Dong, J.J. ve Ni, Y. (2016). Enhancing cellulose accessibility of corn stover by deep eutectic solvent pretreatment for butanol fermentation. *Bioresources Technology*, 203: 364-369.
- Yiin, C.L., Quitain, A.T., Yusup, S., Sasaki, M., Uemura, Y. ve Kida, T. (2016). Characterization of natural low transition temperature mixtures (LTTMs) Green solvents for biomass delignification. *Bioresource Technology*, 119: 258-264.



BİBLİYOGRAFYA

- Açıkgöz, E. (1991). *Yem Bitkileri*. Uludağ Üniv. Yayınları, No: 633–2, s:456, Bursa.
- Balabanlı, C. ve Türk, M. (2005). Sorgum, sudanotu melez ve çeşitlerinin ısparta koşullarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (3): 32-36.
- Dayton, A. (1948). *Grass: Green, Grain, Grow*. The Yearbook of Printing Office. Washington. U.S.A.
- Eroğlu, H. (1990). *Kağıt ve Karton Üretim Teknolojisi*. K.T.Ü. Orman Fakültesi, 593 s.
- Eroğlu, H. ve Usta, M. (2004). *Kağıt ve Karton Üretim Teknolojisi Ders Kitabı I ve II*. Cilt, Esen Ofset Matbaacılık, İstanbul.
- Eren, Ö. (2011). Çukurova Bölgesinde Tatlı Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH) Üretiminde Yaşam Döngüsü Enerji ve Çevresel Etki Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Adana, 220 s.
- Guiying, L., Weibin, G., Hicks, A. ve Chapman, K.R. (2003). A Training Manual for Sweet Sorghum. Development of Sweet Sorghum for Grain, Sugar, Feed, Fiber, and Value-Added By-Products, in The Arid, Saline- Alkaline Regions of China. FATCP/CPR/0066.<http://ecoport.org/ep?SearchType=earticleView&earticleId=172&page=2> Erişim tarihi:2012.
- Rajvanshi, A.K. ve Nimbkar, N. (2008). Sweet Sorghum R&D at The Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI). Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), India.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Aysun MUSTAK
Doğum Yeri ve Tarihi : 15.05.1995

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller :
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar :
Aldığı Ödüller :

İş Deneyimi

Stajlar :
Projeler ve Kurs Belgeleri :
Çalıştığı Kurumlar :

İletişim

E-Posta Adresi :

Tarih : 01/08/2019 (Tez Savunma Tarihi)