

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

“Buğday (*Triticum aestivum*) Saplarından Elde Edilen Kağıt Hamurları Kullanılarak Üretilen Kalıplanmış Selülozik Ambalaj Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümünde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Konu seçimi ve çalışmaların yönlendirilmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın danışman hocam Prof. Dr. Mustafa USTA’ya en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yapılan çalışmalarda Ar-Ge Laboratuvarındaki cihazlarının kullanılmasına izin veren ve çalışmayı sonuna kadar destekleyen ve her türlü imkânı sağlayan Dentaş Kağıt Sanayi A.Ş.’ye de teşekkürü bir borç biliyorum.

Ayrıca, uzun zaman alan tez hazırlık döneminde benden desteğini esirgemeyen eşim Zehra Akhan Demirel ve aileme sonsuz teşekkür ve minnetimi özellikle belirtmek istiyorum.

Hakan DEMİREL

TRABZON 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Buğday (*Triticum aestivum*) Saplarından Elde Edilen Kağıt Hamurları Kullanılarak Üretilen Kalıplanmış Selülozik Ambalaj Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sonra kadar danışmanım Prof. Dr. Mustafa USTA’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deney ve analizleri KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Laboratuvarı ve Dentaş Kağıt Sanayi A.Ş. Laboratuvarlarında yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 05/12/2022

Hakan Demirel

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Kağıt Üretiminde Kullanılan Tek Yıllık Bitkiler ve Kullanılan Hamur Üretim Yöntemleri.....	2
1.2. Buğday (Triticum Aestivum) Hakkında Genel Bilgiler.....	5
1.2.1. Buğday Bitkisinin Morfolojik ve Kimyasal Özellikleri.....	5
1.2.2. Türkiye’de ve Dünyada Buğday Üretimi.....	6
1.3. Kalıplanmış Selülozik Ambalajlar, Tanımı, Özellikleri ve Çeşitleri.....	7
1.4. Çalışmanın Amacı.....	11
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	12
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	15
3.1. Materyal.....	15
3.2. Metot.....	15
3.2.1. Buğday Samanı Yapı Aydınlatmasında Kullanılan Yöntemler.....	15
3.2.2. Buğday Samanından Kimyasal Mekanik Yöntemler ile Kağıt Hamuru Üretiminde Uygulanan Yöntemler.....	16
3.2.3. Kağıt Hamuru Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler.....	19
3.2.4. Kağıt Safıhası Üretiminde Uygulanan Yöntemler.....	20
3.2.5. Elde Edilen Kağıt Safıhalarının Fiziksel ve Optik Özelliklerinin Belirlenmesi..	20

3.2.6.	KSA Ürün Tasarımın, Kalıp Tasarımı ve Kalıp İmalatında Uygulanan Yöntemler.....	21
3.2.7.	KSA Prototip Üretimi.....	23
3.2.8.	KSA Prototiplerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	26
3.2.9.	KSA Prototiplerine Uygulanan Gıda Temas Uygunluk Testleri.....	26
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28
4.1.	Buğday Samanı Yapı Aydınlatma Testlerine Ait Bulgular.....	28
4.2.	Buğday Samanından Kimyasal Mekanik Yöntem ile Elde Edilen Hamur Özelliklerine Ait Bulgular.....	30
4.3.	Piştirme Koşullarının Hamur Verimi Üzerindeki Etkisi.....	32
4.4.	Piştirme Koşullarının Kağıt Fiziksel ve Optik Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	34
4.5.	KSA Prototip Ürün Özelliklerine Ait Bulgular.....	38
4.6.	KSA Prototiplerine Uygulanan Gıda Temas Uygunluğu Testlerine Ait Bulgular.....	41
5.	SONUÇLAR.....	42
6.	ÖNERİLER.....	45
7.	KAYNAKLAR.....	46

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

BUĞDAY (TRITICUM AESTIVUM) SAPLARINDAN ELDE EDİLEN KAĞIT HAMURLARI
KULLANILARAK ÜRETİLEN KALIPLANMIŞ SELÜLOZİK AMBALAJ ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Hakan Demirel

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mustafa USTA
2022, 49 Sayfa

Çalışma kapsamında buğday (*Triticum aestivum*) samanı hammaddesinden kimyasal mekanik yöntemle kağıt hamuru ve kağıt numunelerin üretimi yapılmıştır. Elde edilen hamur ve kağıt özellikleri belirlenmiştir. Optimize edilen kimyasal mekanik buğday samanı hamuru farklı oranlarda atık kağıt hamuru ile karıştırılarak kalıplanmış selülozik ambalaj (KSA) prototiplerinin geliştirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Buğday samanından kimyasal mekanik hamur üretiminde 3 farklı pişirme koşulu ile deneme üretimleri yapılmış elde edilen pişmiş buğday samanları rafinörde liflendirilerek hamur ve bu hamurdan üretilen kağıtların özellikleri belirlenmiştir. Hamur özellikleri, hamur verimi ve kağıt özelliklerine göre optimum kimyasal mekanik buğday samanı hamuru koşulu olarak 7% NaOH, 120°C pişirme sıcaklığı ve 60 dakika pişirme süresi belirlenmiştir. Bu pişirme koşullarında toplam hamur verimi 61,2%, ağırlıklı ortalama lif boyu 0,813 mm ve kırıntı içeriği 14,3% olarak elde edilmiştir. 100% kimyasal mekanik buğday samanından üretilmiş KSA basma mukavemet indeksi 35,99 N/g olarak belirlenmişken 100% atık kağıttan üretilmiş KSA basma mukavemet indeksi 48,64 N/g olarak belirlenmiştir.

Ayrıca, buğday samanından kimyasal mekanik yöntem ile elde edilen kağıtlar Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler Yönetmeliğine uygunluk açısından test edilmiş ve bütün sonuçların limitler içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda kimyasal mekanik yöntem ile buğday samanından kağıt hamuru ve KSA üretimi doğal kaynaklardan katma değeri yüksek ürünler geliştirilmesi konusunda umut vaat etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Buğday samanı(*Triticum aestivum* L.),kimyasal mekanik hamur üretimi, kalıplanmış selülozik ambalaj

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF MOLDED FIBER PACKAGING PROPERTIES WHICH ARE PRODUCED WITH WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM*) STRAW PULPS

Hakan DEMİREL

Karadeniz Technical University
The Graduate Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Fiber and Paper Technologies
Supervisor: Prof. Dr. Mustafa USTA
2022, 49 Pages

Within the scope of the study, pulp and paper samples were produced from wheat (*Triticum aestivum*) straw raw material by chemical mechanical method. The pulp and paper properties obtained were determined. It is aimed to develop and determine the properties of molded fiber packaging (MFP) prototypes by mixing the optimized chemical mechanical wheat straw pulp with waste paper pulp at different rates.

In the production of chemical mechanical pulp from wheat straw, trial productions were made with 3 different cooking conditions, and the properties of the pulp and paper produced from this pulp were determined by treating the obtained cooked wheat straw in the refinery. According to pulp properties, pulp yield and paper properties, 7% NaOH, 120°C and 60 minutes were determined as the optimum chemical mechanical wheat straw pulp condition. In these cooking conditions, the total pulp yield was 61.2%, the weighted average fiber length was 0.813 mm, and the fine content was 14.3%. The compression strength index of MFP produced from 100% chemical mechanical wheat straw was determined as 35.99 N/g, while the compression strength index of KSA produced from 100% waste paper was determined as 48.64 N/g.

In addition, the papers obtained from wheat straw by chemical mechanical method were tested for compliance with the Turkish Food Codex Regulation on Substances and Materials in Contact with Food, and it was determined that all results were within the limits.

In line with the results obtained, the production of pulp and MFP from wheat straw by chemical mechanical method promises to develop products with high added value from natural resources.

KeyWords: Wheat straw (*Triticum aestivum* L.), chemical mechanical pulp production, molded fiber packaging

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Dünyada kağıt üretiminde kullanılan yıllık bitkiler (Kırcı, 2018)	2
Şekil 2. Balyalanmış buğday samanı	3
Şekil 3. Tip 3 kalıplanmış selülozik ambalaj üretimi şeması	9
Şekil 4. KSA'nın üç ana kullanım alanı (Didone vd., 2017).....	10
Şekil 5. Elektrik ısıtıcılı döner pişirme kazanı	17
Şekil 6. Laboratuvar tipi diskli rafinör	17
Şekil 7. Lif kalitesi analiz cihazı	19
Şekil 8. Formasyon kalıbının üstten görünüşü	21
Şekil 9. Formasyon kalıbının alttan görünüşü	22
Şekil 10. Transfer kalıbı üstten görünüşü	22
Şekil 11. KSA numune üretim cihazı (Sarıkaya, Çallıoğlu ve Demirel 2019).....	23
Şekil 12. Numune üretiminde kullanılan kalıplar ve viyol numuneleri	25
Şekil 13. İki (2) nolu pişirmeye ait görseller: buğday samanı pişirme öncesi (a), pişirme sonrası (b) ve rafinörde öğütüldükten sonraki görünüşleri (c)	30
Şekil 14. Buğday samanından kimyasal mekanik yöntem ile farklı pişirme koşullarında elde edilmiş hamurlardan üretilmiş safihaların çekme mukavemet indeksleri ...	36
Şekil 15. Buğday samanı hamuru yüzdesinin basma mukavemeti ile ilişkisi.....	40

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Saman hamuru üretiminde kullanılan prosesler ve özellikleri	4
Tablo 2. Buğday samanı lifi, ibreli ağaç ve yapraklı ağaç lif morfolojik özelliklerinin karşılaştırılması	5
Tablo 3. Buğday samanı bölümlere göre kimyasal bileşenleri.....	6
Tablo 4. Dünyada buğday üretimi yapılan alanların ve üretim miktarlarının yıllar içinde değişimi	6
Tablo 5. Türkiye’de buğday üretimi yapılan alanların ve üretim miktarlarının yıllar içinde değişimi	7
Tablo 6. Buğday samanı yapı aydınlatması testleri	16
Tablo 7. Buğday samanı pişirme parametreleri	18
Tablo 8. Buğday samanı hamurlarından üretilen safiha numuneleri uygulanan testler	20
Tablo 9. Prototip numunelerin ebat ve ağırlık özellikleri.....	25
Tablo 10. Gıda temas uygunluğu testlerine için uygulanan metot ve standartlar.....	27
Tablo 11. Buğday samanı yapı aydınlatması test sonuçları	28
Tablo 12. Buğday samanı yapı aydınlatma sonuçlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırılması	29
Tablo 13. Farklı pişirme setlerine ait pişirme verimleri ve elde edilen hamur özellikleri ..	31
Tablo 14. Buğday samanı hamuru ve bazı diğer liflerin morfolojik özellikleri karşılaştırma tablosu	32
Tablo 15. Buğday samanından çeşitli koşullarda kağıt hamuru üretim verimi kıyaslama verileri	33
Tablo 16. Buğday samanından farklı pişirme şartlarında elde edilmiş hamurlardan üretilen kağıt safihalarının bazı fiziksel özellikleri	34
Tablo 17. Buğday samanı hamuru ve atık kağıt hamuru lif morfolojik özellikleri karşılaştırması	38
Tablo 18. KSA prototiplerinin ağırlık, nem ve basma mukavemeti ölçüm bulguları	39
Tablo 19. 100% buğday samanı hamuru ile üretilmiş KSA numunelerinin gıda temas uygunluk testi sonuçları.....	41

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

cm ³	:Santimetreküp
m ²	:Metrekare
ml	:Mililitre
g	:Gram
N	:Newton
ppm	:Milyonda bir birim (Miligram/litre)
l	:Litre
pH	:Asitlik veya bazlık derecesi
µm	:Mikrometre
ha	:Hektar
SR	:Schopper Riegler serbestlik derecesi
Lw	:Ağırlıklı ortalama lif boyu
FAOSTAT	:Dünya Tarım ve Gıda Örgütü İstatistikleri
KSA	:Kalıplanmış selülozik ambalaj
NaOH	:Sodyum hidroksit
IMFA	:Uluslararası Kalıplanmış Selülozik Ambalaj Derneği
ISO	:Uluslar Arası Standartlar Organizasyonu
TAPPI	:Kağıt Hamuru ve Kağıt Sanayii Teknik Derneği
A.Q.	:Anthraquinone
NaBH ₄	:Sodyumborhidrür
NSSC	:Nötr Sülfite Yarı Kimyasal Hamur
CIMV	:Vegetale Malzeme Enstitüsü
CMP	:Kimyasal Mekanik Hamur
APMP	:Alkali Peroksit Mekanik Hamur
H.F.	:Højgaard Fabrick

Na_2S	:Sodyum Sülfid
Na_2CO_3	:Sodyum Karbonat
MgCO_3	:Magnezyum Karbonat
Na_2SO_3	:Sodyum Sülfid
NH_3OH	:Amonyum Hidroksit
KOH	:Potasyum Hidroksit
DTPA	:Dietilenetriaminpentaasetik asit
CH_2O_2	:Formik asit
CH_3COOH	:Asetik asit
PAA	:Perasetik asit
H_2O_2	:Hidrojen peroksit
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$	: Amonyum sülfat

1. GENEL BİLGİLER

Tek yıllık veya çok yıllık lignoselülozik bitkilerden kağıt hamuru üretimi temelde benzer mantıkla gerçekleşir: liflerin birbirinden ayrılması. Kimyasal yöntemlerde bu işlem selüloz liflerinin birbirine bağlayan ligninin farklı kimyasallar yardımıyla çözünmesi ile gerçekleşirken mekanik yöntemlerde ise lignin çözünmeden ısıtılıp esnetilerek mekanik liflendirme ile liflerin birbirinden ayrılması gerçekleştirir. Kimyasal ve mekanik yöntemlerin birleşimi ile de ortaya hibrit kağıt hamuru üretimleri çıkmaktadır.

Kimyasal yöntemlerde çözünen lignin sebebi ile ciddi hamur verim kayıpları oluşurken elde edilen daha saf selüloz lifleri çok daha yüksek mukavemet özellikleri sergiler. Bununla birlikte, mekanik yöntemlerde ise elde edilen lifler lignin kaplı olmaları gerekçesi ile yüksek hamur verimi fakat düşük mukavemet özellikleri sergilerler. Kimyasal mekanik yöntemlerde ise hamur verimi ve bu hamurdan elde edilen mukavemet özellikleri mekanik hamur ve kimyasal hamur arasındadır. Fakat, lignin liflerde daha fazla kalması rijitideyi artırıcı yönde sonuç verdiğinden ligince zengin kağıt hamuru kullanımı KSA üretiminde tercih edilir.

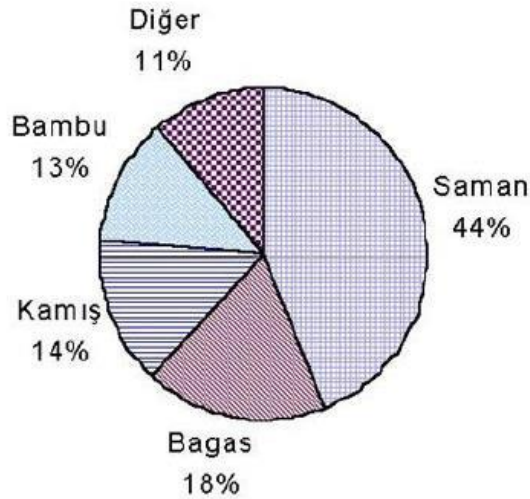
Yöntemden bağımsız olarak kağıt hamuru üretiminde kullanılan hammadde de elde edilecek hamur ve kağıt özellikleri üzerinde birincil dereceden etkilidir. Çok yıllık bitkiler iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlar olmak üzere iki farklı türe ayrılırlar. İğne yapraklı ağaç kaynaklarından elde edilen lifler uzun ve kalındır. Bu özellikleri sebebiyle yüksek mukavemetli kağıtların üretiminde kullanılırlar. Yapraklı ağaç kaynaklarından elde edilen lifler ise kısa ve ince yapılara sahiptirler. Bu sebeple düşük mukavemet özellikleri sergilerler fakat yüzey dizilimleri çok daha düzenli olduğu için yazı ve baskı gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. Neredeyse bütün kağıt türlerinde iğne yapraklı ve yapraklı ağaç hamurları farklı oranlarda karıştırılarak birlikte kullanılırlar. Bu kullanım oranını üretilecek olan kağıttan beklenmekte olan kalite parametreleri belirler.

Tek yıllık bitkilerden elde edilen kağıt lifleri büyük ölçüde yapraklı ağaç odunları ile benzerlik göstermektedir. Orman varlıklarının korunması ve tarımsal ürünlerin katma değeri yüksek ürünlerin üretiminde kullanılması amacıyla yapraklı ağaç liflerine ikame olarak tek yıllık bitkilerden elde edilen lif kaynaklarının kullanımı gündeme gelmektedir. Bu noktada yukarıda da bahsedildiği gibi tek yıllık bitki hammaddelerinin kağıt üretiminde kullanımı

evre için faydalı iken hamur üretim yönteminin seçimi de evre açısından önem arz etmektedir. Tek yıllık bitkilerden kimyasal yöntemlerle hamur üretimi esnasında ortaya çıkan siyah çözeltinin yakılarak bertaraf edilmesi hava kirliliği açısından sorun teşkil etmektedir. Benzer şekilde tek yıllık bitkilerden mekanik hamur üretimi esnasında ise çok fazla enerji tüketilmekte ve ortaya çıkan hamurların drenaj ve mukavemet özellikleri kabul edilebilir olmamaktadır. Bu sebeplerle birlikte tek yıllık bitkilerin kimyasal – mekanik yöntemler kullanılarak kağıt hamuru haline getirilmeleri ve endüstriyel uygulamalarda kullanımları ön plana çıkmaktadır.

1.1. Kağıt retiminde Kullanılan Tek Yıllık Bitkiler ve Kullanılan Hamur retim Yöntemleri

Yıllık bitkiler kullanılarak kağıt eldesinin tarihçesi 1800’l yıllara kadar uzanmaktadır. Dünya toplam kağıt hamuru üretiminde yıllık bitkilerin miktarı oransal olarak 2000 yılında 9%’e kadar yükselmiştir. Bunlar içerisinde saman saptarı büyük bir paya sahiptir (ekil 1) (Kırcı, 2018) .



Şekil 1. Dünyada kağıt üretiminde kullanılan yıllık bitkiler
(Kırcı, 2018)

Dünyada 2.2 milyon hektardan fazla alandan buğday üretimi gerçekleştirilmektedir ve yıllık üretim miktarı 730 milyon tondur. Bir kilogram buğday üretilirken yaklaşık olarak 1 kilogram da saman üretilmektedir (Vargas vd., 2012). Odun türlerine göre kısa yaşam döngüsü, iyi lif özellikleri ve yıllık bir bitki olması sebebiyle buğday sapları dikkat çekmektedir. Odun dışı lif malzemelerinden selülozik hamur üretimi Avrupa Birliği Çevre Direktifine uyum göstermektedir. Başta Çin, Hindistan, Amerika ve Rusya ülkelerinde toplam üretimin 45%'i gerçekleştirilmektedir (Shen ve Fang, 2018). Buğday samanları nakliye ve istiflenme işlemlerini kolaylaştırmak açısından modern makineler kullanılmakta ve balyalanmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Balyalanmış buğday samanı(Shen ve Fang, 2018)

Saman hammaddesi kullanılarak yapılan kağıt üretim prosesleri odun kaynaklı proseslerle bir çok benzerlik göstermekle beraber, saman saplarının gözenekli yapıda olmaları ve hacimli bir hammadde oldukları için odun hamuruna göre çok daha kolay pişmeleri ve silis içeriklerinin fazla olması sebepleri ile farklılıklar mevcuttur. 1845 yılında Mellier soda yöntemi ile samandan kağıt hamuru elde edilmesi üzerine bir patent almıştır. 19. yüzyılın ortalarından sonra sülfite ve sülfat yöntemiyle odundan kağıt hamuru yapımı yaygınlaştıktan sonra yıllık bitkiler daha çok oluklu mukavva, ambalaj kağıtları v.b. gibi ürünlerin yapımında kullanım yeri bulan bir hammadde haline gelmiştir. Özellikle orman kaynakları yeterince gelişmemiş olan ve tarıma dayalı ekonomik gelişme amaçlayan ülkeler için tarımsal atıklardan kağıt yapımı uygulamalarının önemli olduğu vurgulanmaktadır (Kırcı, 2018).

Piştirme yöntemine göre elde edilen verim, hamur ve kağıt özellikleri değişkenlik göstermektedir. Tablo 1’de buğday samanından hamur üretim yöntemleri, kullanılan kimyasallar ve oranları, ayrıca piştirme süreleri, piştirme sıcaklıkları ve piştirme verimleri özetlenmiştir.

Tablo 1. Saman hamuru üretiminde kullanılan prosesler ve özellikleri (Hart, 2020)

Yöntem Adı	Kullanılan Kimyasallar	Kimyasal Kullanım Oranı (%)	Sıcaklık (°C)	Piştirme Süresi (dakika)	Piştirme Verimi (%)
Soda	NaOH	12-16	145-165	90-240	30-45
Soda-AQ	NaOH	12-16	145-165	70-120	35-45
	AQ	0,03			
Kraft	NaOH+Na ₂ S	12-16	145-165	70-180	35-50
NACO	Na ₂ CO ₃	23-25	135	90-120	40-45
	MgCO3	1			
	NaOH	6-8			
	O ₂	8 bar basınçta			
Kireç Yöntemi	CaO	7-10	130-140	180-300	30-35
NSSC	Na ₂ SO ₃	8	170	120	52-55
	Na ₂ SO ₃	2-3			
Phonix	NH ₃ OH ya da KOH	5-10	90-98	Twin Screwler kullanılmaktadır.	55-60
CIMV	H ₂ O	10:1 oranında	90-120	30-120	50-60
	DTPA	0,2			
	CH ₂ O ₂	0,6			
	CH ₃ COOH	1,7			
	NaOH	6-8,5	85	240	
	H ₂ O ₂	5-6			
	PAA	1			
Sıcak Su Yöntemi	H ₂ O	8:1 oranında	145-160	120-180	65-75
Mekanik-Kimyasal	NaOH	2-6	95-98	45-60	70-78
CMP-Refiner	NaOH	3-5	120	60	73-78
APMP	Na ₂ CO ₃	6-10	95	30	70-75
	H ₂ O ₂	4			
H.F. Yöntemi	NaOH	6-7	95-98	240	75-78
Tranlin	(NH ₄) ₂ SO ₃	9-13	165-173	160-210	58-68

1.2. Buğday (*Triticum Aestivum*) Hakkında Genel Bilgiler

Buğday çeşitlerinden *Triticum aestivum*, hegzaploid (kromozom sayısı $2n=42$) grubun çıplak tanelilerin en önemli türüdür ve ekonomik değere sahip olan buğdaylardan %75'i bu türe aittir. (Çiçekler, 2012).

Buğday bitkisi 6 farklı morfolojik kısımdan oluşur; boğum arası, boğum, yapraklar, başak eksen, kavuzlar ve kılçık (Kün, 1988, Çiçekler 2012). Morfolojik kısma bağlı olarak lif uzunluğu değişmekle birlikte ortalama lif uzunluğu 0.815 mm'dir. (Tutuş ve Çiçekler 2018)

1.2.1. Buğday Bitkisinin Morfolojik ve Kimyasal Özellikleri

Buğday samanı liflerine ait morfolojik özellikler ibrelili ve yapraklı ağaç lifi örnekleri ile karşılaştırmalı olarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Buğday samanı lifi, ibrelili ağaç ve yapraklı ağaç lif morfolojik özelliklerinin karşılaştırılması (Shen ve Fang, 2018)

Bitki Türü	Lif Boyu (mm)		Lif Genişliği (µm)	
	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık
Buğday Samanı	1,32	1,03-1,60	12,9	9,3-15,7
Huş Ağacı (<i>Betula alba</i>)	1,21	1,01-1,47	18,7	14,7-22,0
Çam Ağacı (<i>Pinus massoniana</i>)	3,61	2,33-5,06	50,0	36,3-65,7

Lif morfolojik özellikleri açısından buğday samanı yapraklı ağaçlar ile benzerlik göstermektedir. Bu sebeple, buğday samanından elde edilen hamurlar kağıt endüstrisinde de yapraklı ağaç hamuru uygulamalarına muadil olarak kullanılmaktadır. Buğday bitkisinin farklı bölümlerinin kimyasal içeriklerine ait bilgiler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Buğday samanı bölümlere göre kimyasal bileşenleri (Shen ve Fang, 2018)

	Boğum Arası	Boğum	Yaprak
Klaston Lignin (%)	19,66	19,98	14,18
Holoseüloz (%)	70,27	67,97	60,95
Kül (%)	6,27	8,69	12,60

Buğday bitkisinin farklı fiziksel bölgelerindeki lignin, holoseüloz ve kül oranları değişiklik göstermektedir. Özellikle yaprak kısımlarında kül oranı ciddi şekilde artmaktadır.

1.2.2. Türkiye’de ve Dünyada Buğday Üretimi

Dünya üzerinde insanların gıda ihtiyacının karşılanmasında buğday önemli bir yere sahiptir (Atar, 2017). Yıllık olarak dünya genelinde 750 milyon tondan fazla üretilen buğdayın üretildiği başlıca ülkeler Avrupa Birliği Ülkeleri, Çin, Hindistan, ABD, Rusya ve Avustralya’dır. Tablo 4’de de görüldüğü üzere Dünya’da buğday üretimi ve buna bağlı olarak buğday samanı üretimi yıllar içerisinde artmaktadır. Kağıt üretiminde hammaddenin bulunabilirliği ve sürekliliği yüksek yatırım gerektirdiği için önem arz etmektedir. Bu sebeple yıllık bitkiler içerisinde Dünyanın birçok yerinde yıllık bitkiler içerisinde buğday samanı en uygun hammaddelerden birisidir.

Tablo 4. Dünyada buğday üretimi yapılan alanların ve üretim miktarlarının yıllar içinde değişimi (URL-1, 2020)

Yıl	Ekili Alan (1000 ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
2014	219.755	728.757.761	3.316
2015	223.414	742.029.713	3.321
2016	219.018	748.494.478	3.418
2017	218.300	772.295.897	3.538
2018	213.982	733.386.177	3.427
2019	215.902	765.769.635	3.547

Türkiye’de buğday üretimi son yıllarda içerisinde ekili alan miktarına ve o yılki iklim koşullarına da bağlı olmakla birlikte yaklaşık 20 milyon ton olmakla birlikte 5 yıllık üretim miktarları Tablo 5’te verilmiştir. Tarım kaynaklarına göre 1 kg buğday üretilirken 2 kg buğday sapı elde edildiği belirtilmektedir (Tutuş ve Çiçekler, 2018). Bu durumda Türkiye’de yaklaşık olarak yıllık 40 milyon ton buğday samanı üretilmektedir.

Tablo 5. Türkiye’de buğday üretimi yapılan alanların ve üretim miktarlarının yıllar içinde değişimi (URL-1, 2020)

Yıl	Ekili Alan (1000 ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
2014	7.821	19.000.000	2.429
2015	7.846	22.600.000	2.880
2016	7.610	20.600.000	2.707
2017	7.662	21.500.000	2.806
2018	7.289	20.000.000	2.744
2019	6.832	19.000.000	2.781

1.3. Kalıplanmış Selülozik Ambalajlar, Tanımı, Özellikleri ve Çeşitleri

Gün geçtikçe yenilenebilir ve doğada çözünebilen malzemelerin kullanımına olan talep diğer sektörlerde olduğu gibi ambalaj malzemeleri sektöründe de artmaktadır. Kalıplanmış selülozik ambalajlar (KSA), yani viyoller, genellikle selüloz bazlı malzemeler kullanılarak üretildikleri ve kullanım sonrasında tekrar kağıt proseslerinde geri dönüştürülebildikleri için yenilenebilir ve doğa dostu malzemeler sınıfında değerlendirilmektedir(Wever ve Twede, 2007).

KSA üretim makinası ile ilgili ilk patent 1890 yılında M.L. Keyes tarafından alınmıştır (F. K. Keyes, 1890). Kullanılmaya başlamasından hemen sonra ambalaj mekanizması olarak popüler hale gelmiş ve gelişmiştir. İlk patentten sonraki bir yıl içerisinde M.L. Keyes kalıplanmış selülozik ambalaj üretim makinesinin iyileştirildiği ikinci patenti almıştır (Didone, vd., 2017) (M. L. Keyes, 1903). Üretim yöntemi temel olarak, kağıt üretimi ile

benzerdir. Kağıt hamuru içerisine daldırılan delikli kalıba vakum uygulanarak liflerin kalıp yüzeyini kaplaması sağlanır. Böylece şekillendirilmiş olan ürün üretim yöntemine bağlı olarak fırınlarda veya kurutma kalıpları arasında kurutularak üretim tamamlanır (Wever ve Twede, 2007).

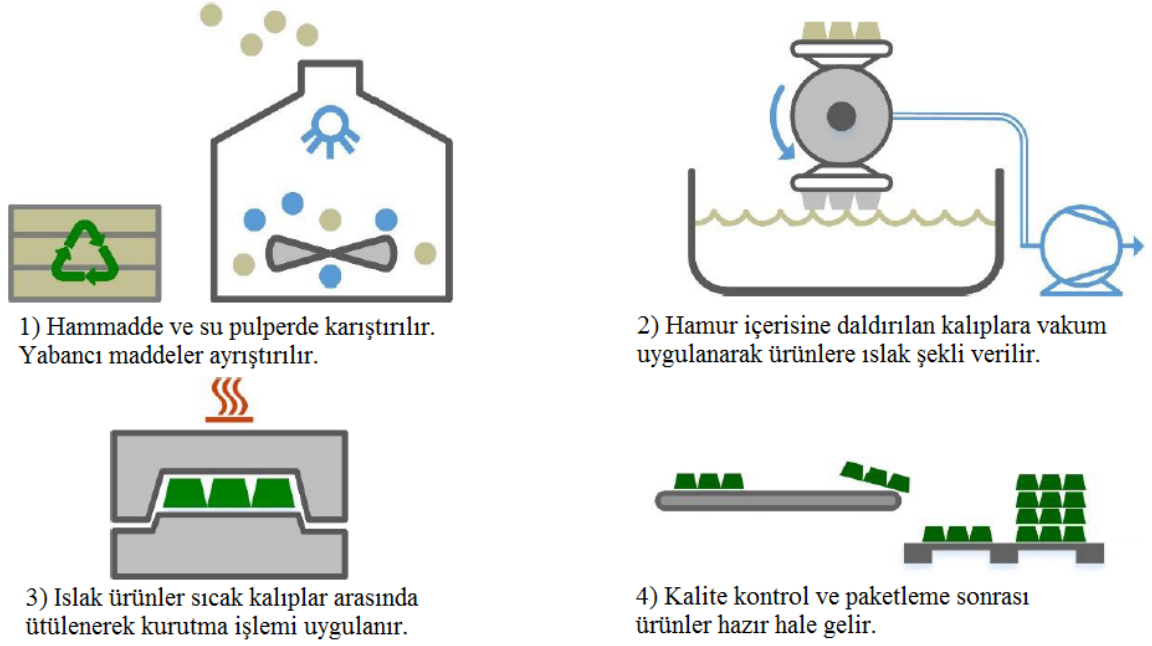
1980’lerden sonra doğa dostu ve yenilenebilir malzemelerin kullanımına yönelik ilgi arttığı için KSA kullanımı çeşitli sektörlerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Yastıklama özelliklerinin yüksek olması kullanımın yaygınlaşmasında büyük katkı sağlamıştır (Didone vd., 2017). Genellikle, KSA’ya ait mekanik özellikler ambalajlama konusunda rakibi olan petrol türevi polistren ile mukayese edilmektedir. Bu mukayeselerde genellikle yastıklama etkisi, enerji emilimi ve yük taşıma kapasitesi kullanılmaktadır. KSA’ya ait mukavemet özelliklerinde kesin bir tanımlama yapmak mümkün değildir. Her ürünün mekanik davranışı boyutlarına, geometrisine ve çeper kalınlığına göre değişiklik göstermektedir (Ji vd., 2008). Uluslararası Kalıplanmış Selülozik Ambalaj Derneği (IMFA)’ne göre KSA dört ana grupta sınıflandırılmaktadır (URL-2, 2021):

a) Tip 1 “Kalın çeperli” (Üretimde tek kalıp kullanılır ve çeper kalınlığı 5 mm ile 10 mm arasında değişir. Bir yüzey göreceli olarak pürüzsüzken diğer yüzey pürüzlüdür. Genellikle mobilyalar ve araç parçaları gibi ağır parçaların desteklenmesinde kullanılır.

b) Tip 2 “Kalıp aktarımlı” (Bir adet formasyon kalıbı ve bir adet aktarma kalıbı kullanılarak üretilir, çeper kalınlığı 3 mm ile 5 mm arasında değişir. Yaygın olarak tava ve kapaklı yumurta viyollerinin üretiminde kullanılır. Yeni tasarımlar yardımıyla elektronik ürünlerin paketlenmesinde, tek kullanımlık hastane gereçlerinde, meyve ve bardak taşıyıcıların da üretiminde kullanılmaktadır.

c) Tip 3 “Kalıpta kurutmalı” (Bazen ince çeperli olarak da adlandırılmaktadır. Çoklu ısıtmalı kalıplar kullanılarak 2 mm ile 4 mm çeper kalınlıkları arasında üretilmektedir. Yüzeyler pürüzsüz ve detaylıdır. Ürünler kalıp içerisinde kurutulduklarından fırına ihtiyaç duyulmamaktadır. Ürünler sıcak kalıpların arasına preslendiği için çeperler daha yoğundur. Kalıpta kurutmalı tip 3 ürünler görünüş olarak plastik malzemelere benzemektedirler.) (Şekil 3)

d) Tip 4 “İşlenmiş” (Bu tür ürünler basit kalıplanma ve kurutmadan farklı olarak ikincil işlem gerektiren ürünleri kapsamaktadır. Örneğin, baskılı, boyalı ve özel kalıplı ürünler. Özel kağıt hamuru kullanılan ürünler ve kabartmalı ürünler bu gruba girmektedir(Didone vd., 2017).



Şekil 3. Tip 3 kalıplanmış selülozik ambalaj üretimi şeması

KSA kullanımı doğa dostu ibaresi ile birlikte geniş bir uygulama alanına yayılmakta ve farklı endüstrilere birçok yenilikçi ambalaj çözümü sunmaktadır. Genel olarak, mevcut pazardaki kullanım alanları Şekil 4’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4. KSA'nın üç ana kullanım alanı (Didone vd., 2017)

Yüzyılı aşkın süredir KSA malzemeler diğer ürünleri korumak ve istiflemek amacıyla kullanılmaktadır. En genel kullanımı yumurta violleridir. Değişen günlük ihtiyaçlar sebebiyle ev aletlerinin ve tek kullanımlık ürünlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Dolayısıyla bu ürünler için de yeni ambalaj çözümleri gerekmektedir. Tip 3 KSA üretim makinalarının gelişimiyle ürüne özgü, plastik ambalajlara son derece yakın özelliklerde sınırsız ambalaj çözümleri sunmak mümkün hale gelmiştir (Wever ve Twede, 2007).

KSA üretiminde hammadde olarak atık kağıt kullanımı bu tür ürünlerin çevreye katkısını arttırmaktadır. Atık kağıtlardan üretilen kağıt bazlı saksılar bitki kökleri tarafından kolayca delinerek toprakta gübre görevi görmekte ve bitki gelişimini desteklemektedir (Aguerre ve Gavazzo, 2016). Böylece, KSA ürünler farklı alanlarda petrol türevi ürünlerin yerini almaktadırlar.

1.4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, buğday samanı kaynaklarından kimyasal mekanik yöntemle elde edilmiş kağıt hamuru kullanımının KSA üretiminde ürün özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kimyasal mekanik hamur üretim yönteminin seçilmesinin sebebi ambalaj grubuna hitap eden KSA’larda yüksek hacimlilik istenmesidir. Ayrıca, kimyasal mekanik yöntemin sağlayacağı yüksek pişirme veriminin de bu tür hammaddenin ticarileşmesinde kilit rol oynayacağının düşünülmesidir. İlave olarak da bu yöntemde kimyasal tüketiminin diğer kimyasal yöntemlere oranla çok daha az olması çevre kirliliği açısından oluşan riski azaltacaktır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Tutuş ve Çiçekler (2018) potasyum bor hidrür kullanımının buğday samanından elde edilen kağıtların fiziksel ve optik özellikleri üzerindeki etkisi hakkında çalışma yapmışlardır. Soda yöntemi kullanılan bu araştırmada KBH_4 kullanımının optimizasyonu yapılmıştır. KBH_4 ilavesi ile birlikte hem kağıtların fiziksel özelliklerinde hem de optik özelliklerinde iyileşmeler elde edilmiştir.

Vargas ve ark. (2012), dört farklı tahıl sapından kağıt hamuru eldesi ve selülozik ambalaj üretimi konusunda araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmaya konu olan tahıl sapsarı yulaf, mısır, kanoa ve arpa sapsarıdır. Pişirme yöntemi olarak Spacel prosesi kullanılmış olup farklı hammaddelerden aynı proses koşullarında da kağıt ve hamur özellikleri mukayese edilmiştir.

Sarıkaya ve Demirel (2020), ağartılmış sülfat hamurlarından kalıplanmış selülozik oyuncak üretimi ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, lif morfolojik özellikleri, dövme derecesi optimizasyonu ve elde edilen oyuncakların kimyasal kalıntı analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma; kalıplanmış selülozik malzemelerin ambalaj dışı kullanımlarının da uygun olduğunun ispatı açısından önemlidir.

Ateş ve ark. (2014), bazı yıllık tarımsal atıkların hamur eldesi ve ağartma prosesleri hakkında kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmada; kenevir, kamış, çavdar, mısır, pamuk, pirinç, tütün, buğday, ayçiçeği ve arpa sapsarılarından elde edilen hamurların dövülme özellikleri incelenmiştir.

Gümüşkaya ve ark. (2003), soda-oksijen yöntemi ile buğday sapından kağıt hamuru eldesi, hipoklorit ve peroksit iki kademeli ağartma üzerine çalışma yürütmüştür. İki kademeli ağartma sonucunda kristalen özelliklerin artışına bağlı olarak optik özelliklerin geliştiği tespit edilmiştir.

Leponiemi (2011), buğday samanı kaynaklarından hem kağıt sektörü için yeterli kalitede kağıt lifi hem de enerji sektörü için enerji üretim olanakları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, paketleme ve fluting kağıtları üretimi için sıcak su yöntemi

kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir. Süzölmeyi yavaşlatan çözönmüş maddeler ve kırıntı içeriklerinin hamurdan ayrılarak biyogaz üretiminde kullanımı önerilmektedir.

Gençer ve Eroğlu (2017), buğday saplarından KOH-hava yöntemi ile kağıt hamuru ve kağıt üretimi konusunda optimizasyon çalışması yapmışlardır. Çalışmanın temel amacı, genellikle pişirme işlemlerinde kullanılan NaOH yerine KOH kullanımı ile çevre kirliliğinin önüne geçmektir. Optimum hamur üretim şartları olarak 120°C sıcaklık, 60 dakika pişirme süresi ve 18% KOH oranı olarak tespit edilmiştir.

Deniz ve ark. (2003), 65% buğday samanı ve 35% kamış kullanarak üretim yapan Afyon Seka Fabrikasının sorunlarını incelemişlerdir. Bu sorunların çözümü olarak farklı lifsel karakterde olan buğday samanı ve kamışın ayrı ayrı pişirilmesi gerektiğı belirtilmiştir. Ayrıca, 100% buğday samanı kullanarak hamur üretim koşullarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Kırcı ve ark. (1999), buğday sapından organosolv yöntemi ile elde edilen hamurların peroksit ilaveli oksijen delignifikasyonunun optimizasyonu konusunda çalışma yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara göre bu yöntemle elde edilen hamurların alkalen ortamda üretilen hamurlara göre parlaklık dışında benzer mukavemet özellikleri gösterdikleri belirlenmiştir.

Tutuş ve Eroğlu (2003), soda, soda-oksijen ve soda-AQ proseslerinin buğday saman hamurları üzerinde silika içeriğı, kimyasal, fiziksel ve optik özellikler açısından araştırma gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, çalışmada CaO, MgO ve Al₂O₃ ilavesinin hamurda silika tutunumuna etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, soda-oksijen prosesine 3% Al₂O₃ ilavesinin en yüksek silika tutunumu sağladığı bulunmuştur.

Rodriguez ve ark. (2007), pirinç sapları kullanılarak soda, soda-AQ, KOH ve kraft proseslerini kullanarak pişirmeler gerçekleştirmişlerdir. Farklı proseslerle elde edilen hamur özellikleri mukayese edilmiştir.

Czechowski ve ark. (2020), atık kağıt liflerinden elde edilmiş yumurta viyollerinin basma mukavemetleri ile ilgili bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada piyasada bulunan farklı viyol numuneleri ile birlikte araştırmacıların tasarlayıp imal ettikleri viyoller çeşitli özellikler açısından mukayese edilmiştir.

Fang ve Shen (2018), buğday samanının kağıt ve karton endüstrisine uygunluğu, morfolojik özellikleri, kullanılan hamur üretim yöntemleri ve çevre kirliliği açısından değerlendirmişlerdir.

Hart (2020), buğday samanının yapraklı ağaç liflerine ikame edip edemeyeceğinin analiz edildiği bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmanın sonucu olarak buğday samanından elde edilen liflerin temizlik kağıdı ve kalıplanmış selülozik ambalaj gibi düşük mukavemet gerektiren alanlarda kolayca ikame edebileceği sonucuna varılmıştır.



3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Materyal

Denizli bölgesi Hambat Ovasından 2019 yılı hasatında temin edilen buğday (*Triticum aestivum* L.) samanları çalışma kapsamında kullanılmış ve incelenmiştir. Buğday samanları biçer döver ile hasat edilmiş ve daha sonrasında balyalanmıştır.

Buğday samanından kimyasal mekanik yöntem ile kağıt hamuru eldesi esnasında kullanılan NaOH kimyasalı 98% saflıkta Natürel Kimya (Türkiye) firmasından tedarik edilmiştir.

Çalışmalarda kullanılan atık kağıtlar Dentaş Kağıt Sanayi A.Ş. hammadde stok alanından oluklu mukavva ve gazete kağıdı olarak tedarik edilmiştir.

Prototiplerin imalatında kullanılan kalıp malzemesi olarak da EN-AN 5083 T6 kodlu (Altek, İstanbul, Türkiye) alüminyum bloklar kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Buğday Samanı Yapı Aydınlatmasında Kullanılan Yöntemler

Çalışmada kullanılan buğday samanlarına kimyasal analiz testleri uygulamadan önce, saman parçacıkları Tappi T 257 cm-85 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Bu standart doğrultusunda değirmende öğütülen saman parçacıkları 40 mesh ve 60 mesh'lik eleklerle elenerek arasında kalan kısım kimyasal analizlerde kullanılmıştır.

Buğday samanına uygulanan yapı aydınlatması testleri ve testlere ait standartlar Tablo 6'de verilmiştir.

Tablo 6. Buğday samanı yapı aydınlatması testleri

Uygulanan Test	Standart
Holoselüloz tayini (%)	Wise'nin klorit metodu (Wise, 1962)
Lignin tayini (%)	Tappi T 222 om-88
Selüloz tayini (%)	Kurschner- Hoffer metodu
Nem tayini (%)	Tappi T 246 om-88
Kül tayini (%)	TAPPI T 211 om-85
1% NaOH içerisinde çözünabilirlik (%)	TAPPI T 207 om-88

3.2.2. Buğday Samanından Kimyasal Mekanik Yöntem ile Kağıt Hamuru Üretiminde Uygulanan Yöntemler

Çalışma kapsamında buğday samanından kağıt hamuru üretim yöntemi olarak kimyasal mekanik yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin sebebi yüksel pişirme verimi ve yüksek hacimlilik elde edebilmektir.

Piştirme işlemlerinde 100 litre iç hacme sahip olan elektrik rezistans ısıtıcılı, 13 bar basınçla dayanıklı döner silindirik piştirme kazanı (Germetal, Türkiye) kullanılmıştır. Piştirme kazanının sıcaklık kontrolü ± 1 °C olarak kazanın otomasyon sistemi tarafından set edilen sıcaklıkta sabit tutulmaktadır. Kazan üst kapağında sıcaklık ve basınç göstergesi bulunmaktadır. Piştirme kazanına ait fotoğraf Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Elektrik ısıtıcılı döner pişirme kazanı

Piştirme kazanında kimyasal yardımıyla yumuşatılan buğday sapları, laboratuvar tipi diskli rafinörden (Universal Engineering Corporation, Hindsitan) geçirilerek liflerin açılması sağlanmıştır. Kullanılan laboratuvar tipi diskli rafinöre ait görsel Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 6. Laboratuvar tipi diskli rafinör

Piştirme işlemleri öncesinde buğday samanı balyaları açılarak içerisinde bulunan yabancı ot vb. maddeler ayrılmıştır. Daha sonra buğday samanları 5-6 cm boylarında olacak şekilde makas ile kesilmiştir. Mümkün olduğunca küçük parçalar ayıklanmaya çalışılmıştır. Her bir pişirmede 4 kg tam kuru buğday samanı kullanılmıştır.

Piştirme süresi, piştirme sıcaklığı ve kimyasal oranı değiştirilerek üç farklı piştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Pişirmelerde uygulanan parametreler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Buğday samanı piştirme parametreleri

Piştirme No	Katı/Sıvı	Süre (dakika)	Sıcaklık (°C)	NaOH (%)
1	1/10	60	120	3
2	1/10	60	120	7
3	1/10	30	150	7

Piştirme kazanında belirtilen parametrelerde gerçekleştirilen piştirme işlemi sonrasında elde edilen karışım diskli rafinörden 1 defa geçirilerek buğday samanlarının tamamen liflenmesi sağlanmıştır. Bütün pişirmelerde disk açıklığı olarak rafinörün bıçaklar arası mesafe 1.0 mm olarak ayarlanmıştır.

Piştirme ve dövme işlemi sonrasında elde edilen hamurlar 200 mesh elek üzerinde siyah çözelti tamamen uzaklaştırılıncaya kadar yıkanmıştır. Hamurlardaki suyun uzaklaştırılması 200 mesh elek üzerinde vakum uygulaması ile yapılmıştır. Elde edilen hamurlar polietilen torbalarda nem dengesinin oluşması için 24 saat bekletilmiştir. Ardından, TAPPI T 210 cm-86 standart metoduna uygun şekilde hamur rutubet değeri belirlemiştir. Rutubet değeri ve toplam hamur ağırlığı kullanılarak elde edilen toplam tam kuru hamur ağırlığı belirlenmiştir. Toplam tam kuru hamur ağırlığı ve ilk tam kuru buğday samanı ağırlığı oranlanarak piştirme verimi hesaplanmıştır.

3.2.3. Kağıt Hamuru Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler

Elde edilen hamurların süzülebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde Regmed Schopper Riegler (Brezilya) test cihazı ISO 5267/1 standardına uygun şekilde kullanılmıştır. Bu test yardımıyla hamurların SR°'si belirlenmektedir. SR°'si yüksek olan hamurların süzülme hızının yavaş olduğu ve SR°'si düşük olan hamurların ise süzülme hızının yüksek olduğu bilinmektedir.

Hamurların süzülme hızı içeriğinde bulunan kırıntı lif içeriğine ve maruz kaldığı dövme içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, süzülme hızını derecelendirdiği için kağıt üretim prosesi için de önemli bir parametredir.

Çalışma kapsamında elde edilen hamurların lif kalitesinin belirlenmesinde Optest Fiber Quality Analyzer (Kanada)(Şekil. 7) test cihazı ISO 16065-1:2014 standardına uygun şekilde kullanılmıştır. Bu test cihazı ve yönteminde seyreltik şekilde hazırlanan bir lif süspansiyonunun küçük borular yardımıyla mikro kamera önünden geçirilerek fotoğraflanması sağlanır. Yaklaşık 5.000 adet parçacığın fotoğrafı çekildikten sonra cihaz içerisindeki yazılım kullanılarak ortalama aritmetik lif boyu, ortalama ağırlıklı lif boyu, ortalama lif genişliği ve kırıntı lif içeriği gibi özellikler dakikalar içerisinde belirlenebilmektedir.



Şekil 7.Lif kalitesi analiz cihazı

3.2.4. Kağıt Safihası Üretiminde Uygulanan Yöntemler

Buğday samanından kimyasal mekanik yöntem ile elde edilen hamurlar ve atık kağıtların pulperde açılması ile elde edilen hamurlardan Regmed Rapid Köthen Laboratuvar Safiha Üretim Cihazı Model: RK-21 (Brezilya) ile ISO 5269 standardına uygun şekilde safiha üretimleri yapılmıştır. Safiha üretimlerinde kullanılan hamurlar 10 litre hacimli karıştırıcılı bir tankta 0.4% kesafette hazırlanmıştır.

Bu yöntemle elde edilen tüm safiha numuneleri sonraki testler öncesinde 24 saat süreyle 20°C ve 65% nemli ortamda şartlandırılmıştır.

3.2.5. Elde Edilen Kağıt Safihalarının Fiziksel ve Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

Farklı pişirme koşulları ile kimyasal mekanik yöntem kullanılarak elde edilen hamurlardan üretilmiş safiha numunelerine Tablo 8’de belirtilen testler ilgili standartlara uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 8. Buğday samanı hamurlarından üretilen safiha numuneleri uygulanan testler

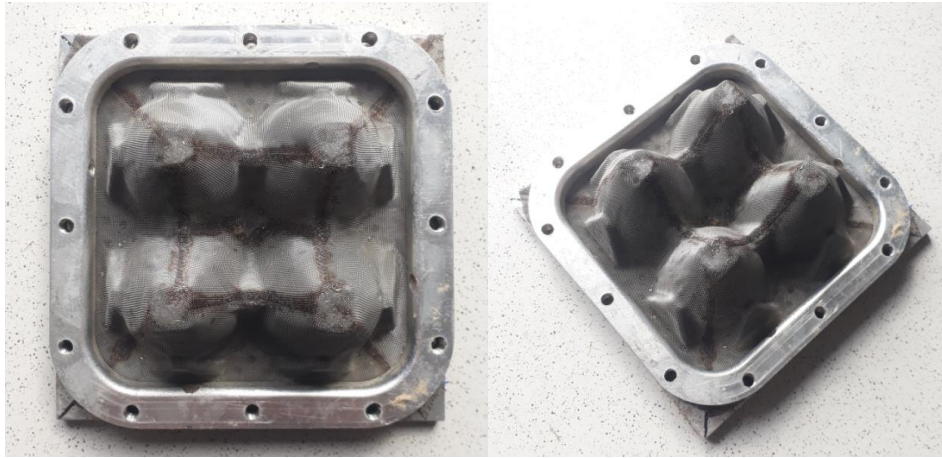
Uygulanan Test	Kullanılan Cihaz	Test Standardı
Gramaj	-	Tappi T 410 om-88
Kalınlık Yoğunluk ve Hacimlilik	-	Tappi T 411 om-89
Çekme mukavemet indisi (N.m/g)	TMI Yatay Çekme Test Cihazı Model: K 465 (USA)	ISO 1924-3
Renk koordinatı ölçümü	Elrepho Datacolor (USA)	Beyazlık (ASTM E313) Parlaklık (ISO 2469) Sarılık (DIN6167)

3.2.6. KSA Ürün Tasarımı, Kalıp Tasarımı ve Kalıp İmalatında Uygulanan Yöntemler

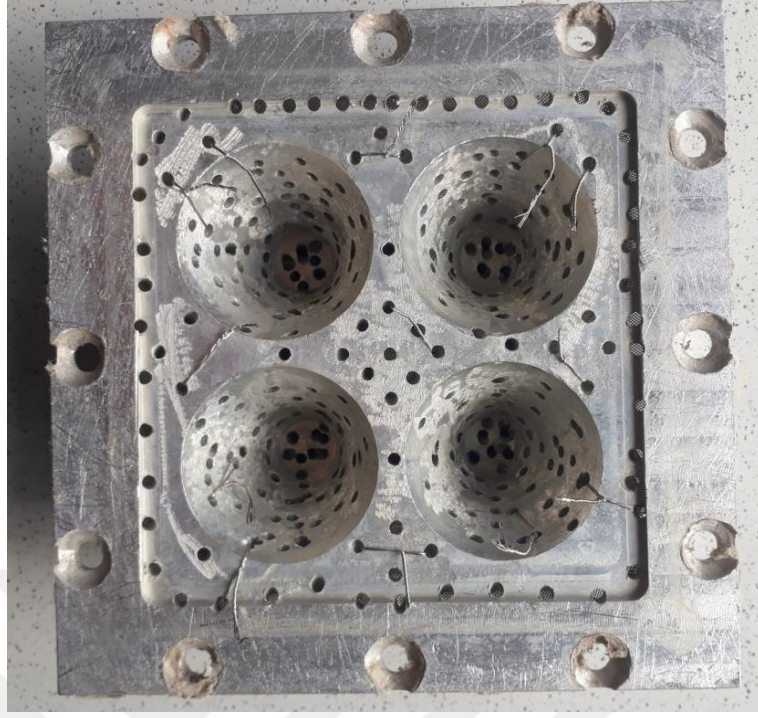
KSA prototip üretimi öncelikle ürün tasarımı ile başlamaktadır. Özellikle ambalaj tasarımlarında ambalajlanacak olan ürünlerin fiziksel ölçüleri baz alınmaktadır. Bu çalışmada yumurta ambalajı prototiplerinin geliştirilmesi planlanmıştır. Bu sebeple 4 adet yumurta ambalajlanmasında kullanılacak ürün tasarımı Siemens NX CAD dizayn programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ürün tasarımı tamamlandıktan sonra KSA prototiplerinin üretimi için iki farklı kalıba ihtiyaç duyulmaktadır. Birinci kalıp formasyon kalıbı olarak adlandırılan üzeri 60 mesh elek ile kaplı olan kalıptır. Prototip üretimi esnasında bu kalıp hamur içerisine daldırılarak arka yüzeyinden vakum uygulanır. Bu sebeple süzgeç şeklinde tasarlanmaktadır. Lifler kalıp yüzeyinde tutunurken hamurun suyu kalıp içerisinden geçmektedir. Diğer kalıp ise transfer kalıbı olarak adlandırılmaktadır. Formasyon kalıbında şekillendirilen lif kümeleri transfer kalıbına aktarılarak bu kalıpta kurutma işlemi sağlanmaktadır. Formasyon ve transfer kalıbının tasarımında da Siemens NX CAD dizayn programı kullanılmıştır.

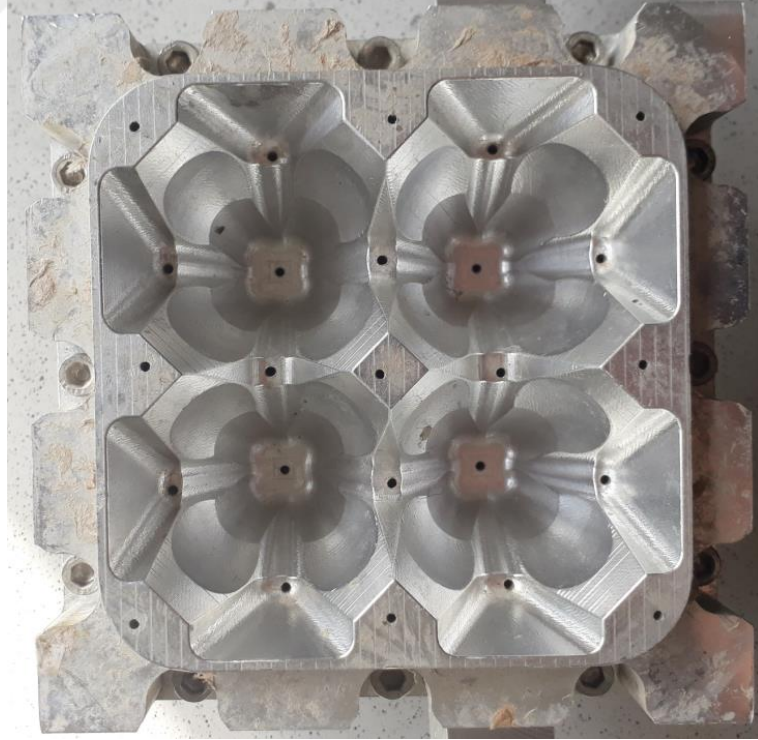
Tasarım işlemleri tamamlandıktan sonra alüminyum bloklar ve CNC Chiron FZ-15 (Almanya) bilgisayar destekli numerik kontrol tezgâhı kullanılarak kalıp imalat işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 8-10).



Şekil 8. Formasyon kalıbının üstten görünüşü



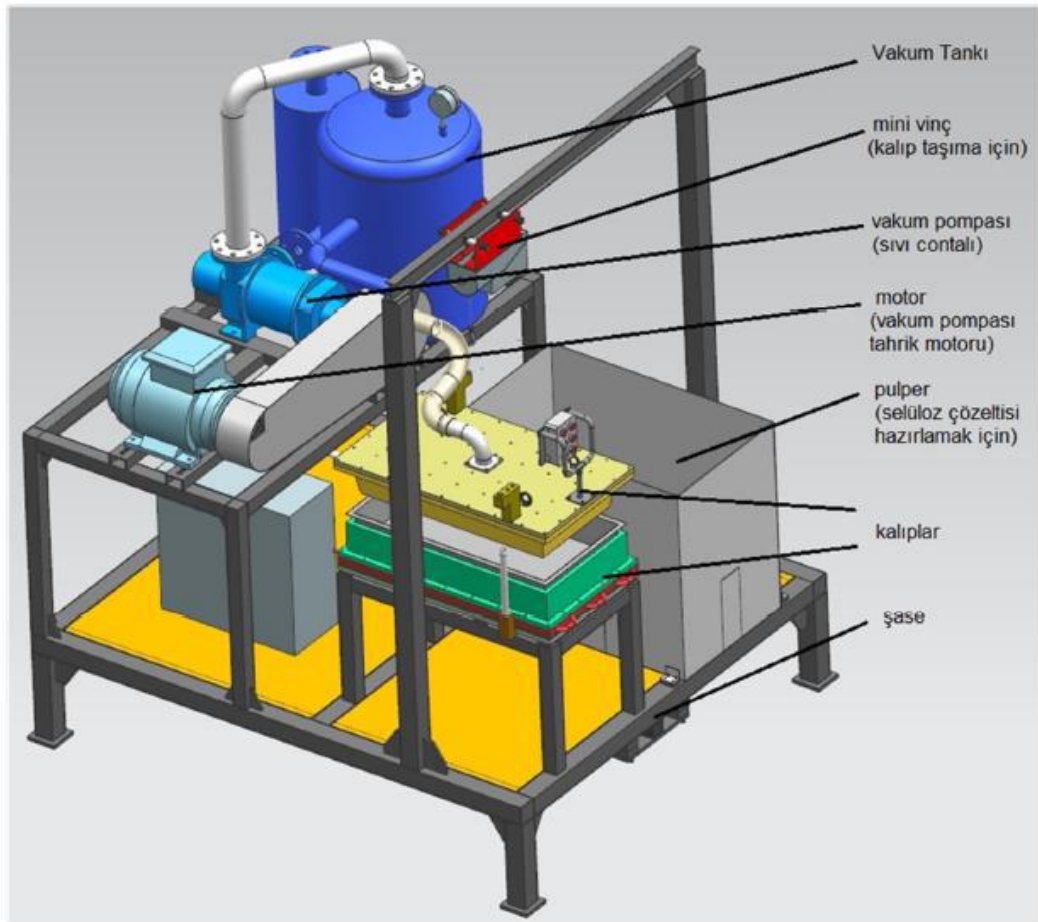
Şekil 9. Formasyon kalıbının alttan görünüşü



Şekil 10. Transfer kalıbı üstten görünüşü

3.2.7. KSA Prototip Üretimi

KSA numunelerinin üretiminde Şekil 11’de tasarım görseli verilen cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz; vakum pompası, vakum tankı, kalıp bağlama tablaları, hamur hazırlama tankı, kalıpları hareket ettirmede kullanılan mini vinç ve şaseden oluşmaktadır. Cihaz farklı kalıpların tabla üzerine bağlanabileceği şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, geliştirilen viyol numunelerinin kurutma işlemi KSA Tip-3’e uygun şekilde kalıp kurutmalı şekilde dizayn edilmiştir. Transfer kalıplarının bağlandığı tabla elektrik rezistans ısıtmalıdır.



Şekil 11. KSA numune üretim cihazı (Sarıkaya vd., 2019)

KSA prototiplerinin üretiminde 2 numaralı pişirmede elde edilen buğday samanı hamurları farklı oranlarda (0, 25, 50, 75, 100%) atık kağıt lifleri ile karıştırılarak kullanılmıştır. KSA prototiplerinin üretim adımlarına ait detaylar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Cihazın pulperinde su ile kullanılması planlanan hamur 15 dakika karıştırılarak hamurların tamamen açılması sağlanır. Bu hamur hazırlama aşamasında kesafet 4.0% olacak şekilde su ve hamur ilavesi yapılır. Atık kağıt karışımları kullanılırken yabancı maddelerin (plastik, tahta, cam vb.) ayrılmasına dikkat edilir.
- Hamurun tamamen açıldıktan sonra kesafet değeri 1.0% olacak şekilde su ilavesi yapılır.
- Üretilmek istenen KSA numunesine ait formasyon ve transfer/kurutma kalıplarının cihaza montajı yapılır.
- Hazırlanan hamurun içerisine formasyon kalıbı daldırılarak vakum vanasının açılır. Telli kalıp içerisinden su geçebilirken lif ve diğer katı parçacıklar elek üzerinde kalarak şekil alır. Islak şekil alma işlemi tamamlandıktan sonra telli kalıp oluşturduğu ıslak ürün ile birlikte hamurun içerisinden çıkar.
- Telli kalıp ile transfer kalıbı birleşerek ürünün telli kalıptan transfer kalıbına geçmesi sağlanır.
- Transfer kalıbına devredilen ıslak ürün sıcak kurutma kalıbı ve transfer kalıbı arasında ütülenerek kurutma işlemi tamamlanıncaya kadar preslenir. Kurutma kalıbının sıcaklığı 200 °C'dir. Ürünlerin sağlıklı kurutulabilmesi için rezistans ısıtıcılarda sıcak kontrol sistemi mevcuttur.
- Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra numune kurutma kalıbından basınçlı hava yardımıyla üflenerek çıkartılır. Böylece numune üretimi tamamlanmış olur.

Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan 100% kimyasal-mekanik saman hamuru ile üretilmiş yumurta viyolüne ait görsel Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Numune üretiminde kullanılan kalıplar ve viyol numuneleri

Ayrıca, numunelere ait ebat ve ağırlık özellikleri Tablo 9’de verilmiştir.

Tablo 9. Prototip numunelerin ebat ve ağırlık özellikleri

En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)
120.0±1.0	120.0±1.0	60.0±1.0	8,50±0.26

Prototip numunelerin üretiminde herhangi bir standart bulunmaması sebebiyle, sağlıklı mukayese sağlanabilmesi için aşağıdaki noktalara özen gösterilmiştir;

- Prototip tam kuru ağırlıklarının 8,50±0.26 gr olması sağlanmıştır.
- Her bir setten 10 adet numune üretimi sağlanarak yapılan testlerde bu numunelerden elde edilen sonuçların ortalaması sunulmuştur.
- Numuneler üretimi tamamlandıktan sonra 20 °C ve 60% bağıl nem ortamda bütün numuneler 24 saat şartlandırılmıştır.

3.2.8. KSA Prototiplerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Farklı hamur kaynaklarından elde edilen prototipler nem ve mukavemet özellikleri açısından test edilmeden önce yukarıda da bahsedildiği şekilde 20 °C ve 60% bağıl nem ortamında 24 saat şartlandırılmıştır. Daha sonra ise numunelerin nem değerleri ISO 287:2009 standardında belirtildiği şekilde etüv kurutma yöntemi ile belirlenmiştir.

Kağıt sektöründe standartlaşmış tüm testler yassı kağıtlar veya oluklu mukavva kağıt grubunu kapsamaktadır. Bu sebeple KSA gibi 3 boyutlu ve farklı şekillerde olabilen kağıt bazlı ürünlerin mukavemetinin belirlenmesinde tanımlanmış standart bir test bulunmamaktadır. Bu sebeple üretimi sağlanan prototiplerin mukavemet özelliklerinin belirlenmesinde kutu basma mukavemet ölçüm yöntemi kullanılacaktır. Bu işlem için kullanılan cihaz TLS Minival Basma Mukavemeti Ölçüm Cihazı (İspanya)'dır. Basma mukavemeti ölçümü testinde cihazın basma hareket hızı 12,5 mm/dakika olarak ayarlanmıştır. Ayrıca bütün numuneler 15 mm sabit miktarda basılarak ölçüm değeri alınmıştır. Her bir hamur türünden üretilen prototipleri için 10 adet örneğin ölçümü yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması mukayese amacıyla kullanılmıştır.

3.2.9. KSA Prototiplerine Uygulanan Gıda Temas Uygunluğu Testleri

100% kimyasal mekanik yöntem ile elde edilmiş buğday samanı hamuru kullanılarak üretilmiş olan KSA prototipleri Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Kağıt Esaslı Madde ve Malzemeler Yönetmeliği'ne uygunluk açısından İntertek Firmasında test ettirilmiştir (URL-3, 2021). Bu kapsamda uygulanan testler ve ilgili standartlar Tablo 10'de verilmiştir.

Tablo 10. Gıda temas uygunluğu testlerine için uygulanan metot ve standartlar

Madde	Metot / Standart
Arsenik	NML 186
Klorür	Mohr Yöntemi
Poliklorbifenil	TS EN ISO 15318
Formaldehit	EN 1541, EN 645-EN 647
Kurşun	TS EN 12498:2006, TS EN 645:1996
Kadmiyum	TS EN 12498:2006, TS EN 645:1996
Civa	TS EN 12498:2006, TS EN 645:1996
Pentaklorofenol	EN ISO 15320, EN 645-EN 647

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Buğday Samanı Yapı Aydınlatma Testleri Ait Bulgular

Standart metotlara bağlı kalınarak buğday samanı numunelerinin yapı aydınlatma analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test sonuçları Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Buğday samanı yapı aydınlatması test sonuçları

Analiz	Ortalama	Standart Sapma
Holoselüloz (%)	77,05	0,44
Selüloz (%)	51,16	0,33
Lignin (%)	25,10	0,30
1% NaOH Çözünürlük (%)	40,38	0,33
Nem (%)	7,25	0,10
Kül (%)	5,24	0,19
Hacimlilik (gr/cm ³)	0,214	0,02

Kağıt hamuru eldesinde kullanılacak olan doğal lif kaynağının kimyasal içeriği yani yapı aydınlatması ile ilgili bulgular uygulanacak olan kağıt prosesinin koşullarının belirlenmesinde ve diğer hammadde kaynakları ile karıştırma açısından önemlidir.

Tablo 12.Buğday samanı yapı aydınlatma sonuçlarının diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

Doğal Lif Kaynağı	Holoseüloz (%)	Selüloz (%)	Lignin (%)	Kül (%)	1% NaOH Çözünürlüğü (%)	Kaynak
Buğday Sapı	77,05	51,16	25,10	5,24	40,38	Tespit
Buğday Sapı	77,10	52,27	18,33	7,12	40,90	Tutuş ve Eroğlu 2003
Buğday Sapı Anızı	77,60	52,53	17,29	7,09	42,06	Çiçekler 2012
Pamuk Sapı	72,20	-	19,30	2,40	42,90	Akgül 2007
Çavdar Sapı	74,10	51,50	15,40	3,20	39,20	Usta ve Eroğlu 1987
Mısır Sapı	64,80	45,60	17,40	7,50	47,10	Eroğlu vd., 1992
Tütün Sapı	67,60	-	19,50	7,30	42,90	Tank vd., 1984
İbrelî Ağaç	63-74	55-61	25-32	0,2-0,5	8-10	Kırcı, 2006
Yapraklı Ağaç	72-82	38-55	18-26	0,2-0,7	12-25	Kırcı, 2006

Elde edilen sonuçların diğer çalışmalar ve farklı bitkisel hammaddeler ile karşılaştırılması Tablo 11’de verilmiştir. Bu tabloya göre buğday sapı Holoseüloz ve selüloz içeriği diğer çalışmalar ile tutarlıdır. Lignin oranı ise önceki çalışmalara oranla yüksek bulunmuştur. Bu durum muhtemelen yetiştirme şartları veya iklim farkından meydana gelmektedir. Kül oranı ise önceki çalışmalardaki buğday sapsarı göre daha düşük olarak saptanmıştır.

Diğer yıllık bitkiler ile buğday samanı yapı aydınlatma test sonuçları mukayese edildiğinde buğday samanı Holoseüloz oranı en yüksektir. Mısır sapsarı haricinde 1% NaOH’ta çözünme oranları benzer mertebededir. Mısır sapsarının 1% NaOH çözünme oranı diğerlerinden yüksektir. Çavdar ve buğday samanı kaynaklarının selüloz oranları benzer mertebedyken mısır sapsarının selüloz oranı daha düşüktür.

Buğday samanına ilişkin olarak tespit edilen değerler ibrelî ve yapraklı ağaç yapıları ile mukayese edildiğinde ise en bariz fark kül oranı olarak göze çarpmaktadır. Buğday samanının kül içeriği 5.24% olarak tespit edilmişken ibrelî ve yapraklı ağaçların kül oranları maksimum 0.5-0.7% aralığındadır. Bu durum kimyasal hamur üretim proseslerinde buğday samanı kullanıldığında siyah çözeltinin geri dönüşümünde sorunlara yol açmaktadır. Diğer bir farkı ise 1% NaOH çözünürlüğü ile ilgilidir. Buğday samanı 1% NaOH çözünürlüğü 40.38% olarak tespit edilmişken bu değer ibrelî ağaçlar için 8-10% ve yapraklı ağaçlar için

ise 12-25%'tir. Buğday samanı yapı aydınlatma sonuçlarına bakıldığında elde edilen sonuçların yapraklı ağaç ile daha çok benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

4.2. Buğday Samanından Kimyasal Mekanik Yöntem ile Elde Edilen Hamur Özelliklerine Ait Bulgular

Metot bölümünde anlatıldığı üzere buğday samanı hammaddesi kimyasal mekanik hamur üretim yöntemi ile üç farklı üretim şartlarında hamur üretimi gerçekleştirilmiştir. Pişirmeler sonucunda elde edilen hamur verimi, hamur serbestlik derecesi ve lif morfolojik özellikleri Tablo 13'de verilmiştir. Ayrıca, iki numaralı koşula ait pişirme öncesi, pişirme sonrası ve rafinör sonrası hammadde ve hamur görüntüleri Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. İki (2) nolu pişirmeye ait görseller: buğday samanı pişirme öncesi (a), pişirme sonrası (b) ve rafinörde öğütüldükten sonraki görünümü (c)

Tablo 13. Farklı pişirme setlerine ait pişirme verimleri ve elde edilen hamur özellikleri

No	NaOH (%)	Sıcaklık (°C)	Piştirme Süresi (dakika)	Toplam Verim (%)	Serbestlik (°SR)	Lif Boyu, Lw (mm)	Lif Genişliği (µm)	Kırıntı İçeriği (%)
1	3	120	60	82,34	35	0,460±0,05	18,10±0,15	36,92±0,15
2	7	120	60	61,18	36	0,813±0,06	17,70±0,17	14,26±0,10
3	7	150	30	53,41	36	0,718±0,05	16,55±0,13	16,00±0,13

Bir ve iki numaralı hamur üretimleri arasındaki tek proses farkı NaOH oranıdır. Bu iki hamur üretiminde elde edilen hamurların lif boyları mukayese edildiğinde bir numaralı pişirmede elde edilen liflerin 43% daha kısa olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bir numaralı hamur üretiminde kırıntı içeriği 36,92% olarak tespit edilmişken iki numaralı hamur üretiminde ise kırıntı içeriği 14,26% olarak belirlenmiştir. Bu iki morfolojik farka göre birinci hamur üretiminde liflerin mekanik olarak kesilmeye uğradığı ve bu sebeple lif boyunun azalırken kırıntı içeriğinin arttığı söylenebilir. Bir numaralı hamur üretiminde NaOH oranı yeterli olmadığından selüloz liflerini birbirine bağlayan lignin yeterince çözünemeyerek rafinörde liflerin kesilerek birbirinden ayrılmasına sebep olmuştur. Kağıt sektöründe son ürün mukavemeti gibi özellikler açısından lif boyunun önemli olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, liflere daha az zarar verildiği için iki numaralı hamur üretiminin bir numaralı hamur üretim yöntemine oranla daha faydalı bir yöntem olduğu söylenebilir.

Üç numaralı hamur üretimi ile iki numaralı hamur üretimi arasındaki fark ise NaOH oranı sabit tutulurken piştirme sıcaklığı 150 °C ve piştirme süresi 30 dakika olarak değiştirilmiştir. Yani iki numaralı hamur üretimine oranla piştirme sıcaklığı arttırılırken piştirme süresi azaltılmıştır. Lif morfolojisi açısından bakıldığında üç numaralı hamur üretiminde iki numaralı hamur üretimine oranla lif boyu 11.7% kısılırken kırıntı içeriği 12.2% artmıştır. Bu durumun muhtemel sebebi artan piştirme sıcaklığına bağlı olarak lif soyulma reaksiyonlarının hızlanması ve liflerin uçlarında kopmalar oluşmasıdır. Böylece, lif boyu azalırken kırıntı içerikleri artmıştır.

Farklı çalışmalara ait buğday samanı hamuru lif boyları ve lif genişliklerinin ibrelili ve yapraklı ağaç lifleri ile karşılaştırma bilgileri Tablo 14’de verilmiştir. Bu tabloya göre, Soda-

O₂-NaBH₄ yönteminde elde edilen buğday samanı hamuru lifleri kimyasal mekanik buğday samanı hamuru liflerine oranla 7.7% daha uzundur. Çünkü bahsi geçen bu yöntemde kullanılan NaOH oranı 16% mertebesinde olduğu için lifler mekanik olarak zarar görmemektedirler.

Tablo 14. Buğday samanı hamuru ve bazı diğer liflerin morfolojik özellikleri karşılaştırma tablosu

Bitki Türü	Lif Boyu (mm)		Lif Genişliği (um)		Kaynak
	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	
Buğday Samanı Hamuru (Kimyasal Mekanik Yöntem)	0,813	0,808-0,818	18,1	17,95-18,25	Tespit (Pişirme No:2)
Buğday Samanı Hamuru (Soda-O ₂ - NaBH ₄)	0,876	0,666-1,086	14,11	11-74-16,48	Çiçekler 2012
Buğday Samanı	1,32	1,03-1,60	12,9	9,3-15,7	Fang ve Shen 2018
Huş Ağacı (Brich Betula alba)	1,21	1,01-1,47	18,7	14,7-22,0	
Çam Ağacı (Pinus massoniana)	3,61	2,33-5,06	50,0	36,3-65,7	

Ayrıca, buğday samanından elde edilen hamurlara ait lif boyu ve genişliklerinin yapraklı ağaç lifleri ile benzerlik gösterirken ibreli ağaç lifleri ile aralarında yüksek mertebede farklar olduğu belirlenmiştir.

4.3. Pişirme Koşullarının Hamur Verimi Üzerine Etkisi

Tablo 14’de kimyasal mekanik yöntem ile üç farklı koşullarda elde edilen toplam hamur verim değerleri verilmiştir. Birinci ve ikinci hamur üretimleri mukayese edildiğinde aralarındaki tek fark NaOH dozajının 3%’ten 7%’ye yükseltilmesidir. Pişirme sıcaklığı ve pişirme süresi aynıdır. Fakat pişirme verimi NaOH dozajı artışına bağlı olarak 82%’den 61%’e hızlı bir düşüş göstermiştir. Bunun muhtemel sebebi NaOH kullanımının artmasına bağlı olarak çözünen lignin ve hemiselüloz miktarının artışıdır.

Aynı şekilde ikinci hamur üretimi ve üçüncü hamur üretimi mukayese edildiğinde aralarındaki fark pişirme sıcaklığının 120 °C’den 150 °C’ye çıkarılırken pişirme süresinin 60

dakikadan 30 dakikaya düşürülmesidir. Bu karşılaştırmada ise artan pişirme sıcaklığına bağlı olarak pişirme verimi 61%'den 53%'e düşmüştür. Artan sıcaklığa bağlı olarak yaşanan selüloz parçalanmalarının bu verim kaybına sebep olduğu düşünülmektedir. Üç numaralı hamur üretiminin yapılmasının bir diğer sebebi ise pişirme süresinin etkinliğinin incelenmesidir. Çünkü pişirme süresi bu ve benzeri sistemlerin kapasiteleri açısından büyük önem arz etmektedir.

Tablo 15. Buğday samanından çeşitli koşullarda kağıt hamuru üretim verimi kıyaslama verileri

Toplam Hamur Verimi (%)	Pişirme Kimyasalları		Pişirme Sıcaklığı (°C)	Pişirme Süresi (dakika)	Kaynak
82,3	3% NaOH		120	60	Tespit
61,2	7% NaOH		120	60	
53,4	7% NaOH		150	30	
70,0	7% NaOH		100	150	(Vargas vd., 2012)
37,9	16% NaOH	0,1% A.Q.	160	40	(Ateş vd.,2015)
57,3	16% NaOH	0,5% NaBH ₄	140	50	(Çiçekler 2012)
56,6	16% KOH		120	60	(Gençer ve Eroğlu 2017)

Not: Bu tabloda verilen bütün çalışmalarda buğday samanı hammadde olarak kullanılmıştır.

Buğday samanının 7% NaOH ile atmosferik koşullarda pişirilerek kağıt hamuru ve KSA üretildiği çalışmada pişirme verimi 70.0% olarak bulunmuştur (Vargas, et al. 2012). Aynı NaOH oranı kullanılmasına rağmen tez kapsamında yapılan çalışmaya göre 8.8% daha yüksek verim elde edilmiştir. Bunun muhtemel sebebi bu çalışmada pişirme işleminin daha yüksek sıcaklıkta ve basınç altında yapılmış olmasıdır.

Literatürde bulunan 16% NaOH dozajı ile yapılan pişirme verimliliklerinin 37.9% ve 57.3% olduğu Tablo 15'de gösterilmiştir. Kimyasal dozajının fazla olması ve pişirme sıcaklığının yüksek olması lignin ve hemiselüloz çözünürlüğü arttırdığından hamur verimini azalttığı düşünülmektedir. Fakat, bahsi geçen çalışmalarda kimyasal yöntem ile hamur üretimi yapıldığından elde edilen lif kalitesi ve final kağıtların mukavemet özellikleri daha yüksek olacaktır. Bununla birlikte, bu pişirmelerden arta kalan siyah çözeltinin geri

dönüşümü konusunda yüksek silika sebebiyle evaporatörlerde sorun yaşandığı bilinmektedir.

4.4. Pişirme Koşullarının Kağıt Fiziksel ve Optik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Çalışma kapsamında buğday samanından üç farklı koşulda kimyasal-mekanik kağıt hamuru üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hamurlardan safiha numuneleri üretilmiş ve öz-kütle, hacimlilik, çekme mukavemeti ve optik özellikler açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 16’de verilmiştir.

Tablo 16. Buğday samanından farklı pişirme şartlarında elde edilmiş hamurlardan üretilen kağıt safihalarının bazı fiziksel özellikleri

Piştirme No	NaOH (%)	Sıcaklık (°C)	Piştirme Süresi (dakika)	Öz-Kütle (g/cm ³)	Hacimlilik (cm ³ /g)	Kopma Uzunluğu (km)	Çekme İndisi (Nm/g)	Beyazlık	Parlaklık	Sarıklık
1	3	120	60	0,350	2,853	2,218 ±0,24	21,76 ±2,36	-158,83 ±3,17	13,18 ±1,00	68,34 ±1,96
2	7	120	60	0,586	1,707	4,366 ±0,27	42,81 ±2,95	-88,99 ±0,84	32,49 ±0,12	53,65 ±0,29
3	7	150	30	0,595	1,680	4,958 ±0,35	48,64 ±3,43	-110,27 ±2,16	17,67 ±0,67	55,84 ±0,67

4.4.1. Öz-Kütle ve Hacimlilik

Üç farklı pişirme koşullarında elde edilen hamurlardan üretilmiş kağıt numunelerinin öz-kütle ve yoğunluk ölçüm bulguları Tablo 15’de verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda bir numaralı hamur üretiminden elde edilen safihalarından ölçüm kümesindeki öz-kütlesi en düşük ve hacimliliği en yüksek safihalar elde edilmiştir. Ayrıca, üç numaralı hamur üretiminden elde edilen safihalarından da öz-kütlesi en yüksek ve hacimliliği en düşük safiha numuneleri elde edilmiştir. İki numaralı hamur üretiminden elde edilen kağıtların hacimliliğine oranla bir numaralı hamur üretiminden elde edilen safihaların hacimliliği 67% artış göstermiştir. Yine iki numaralı hamur üretiminden elde edilen safihaların hacimliliğine oranla üç numaralı hamur üretiminden elde edilen safihaların hacimliliği 1,6% azalış göstermiştir.

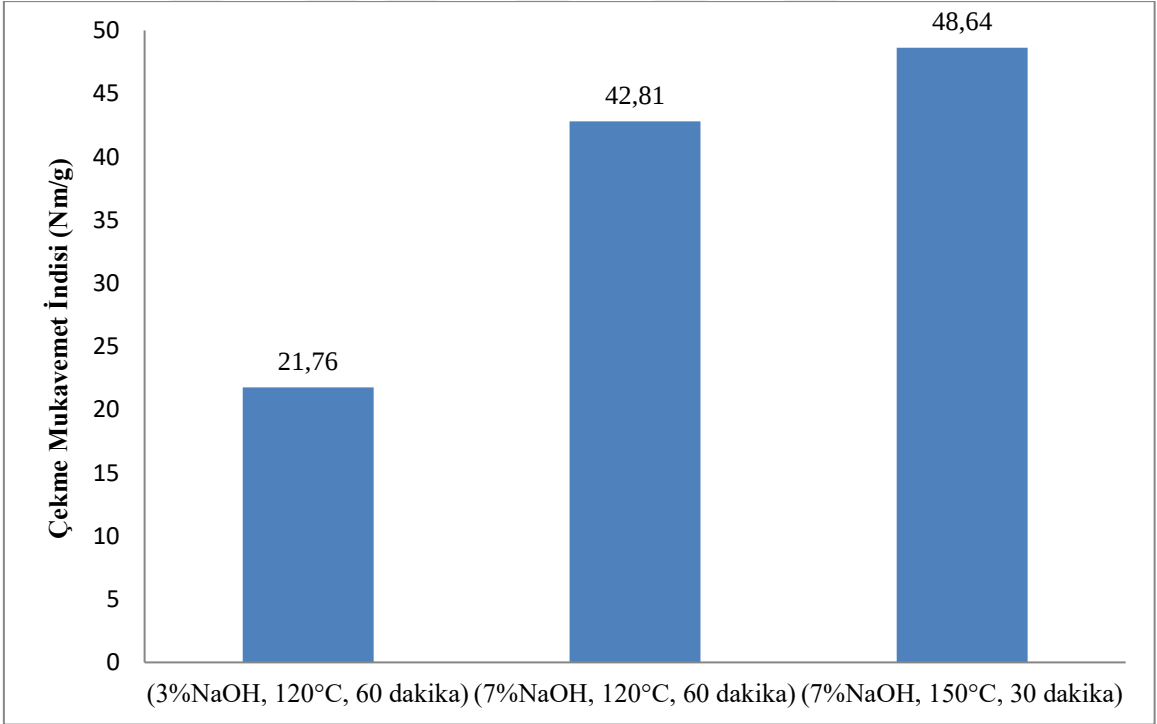
Kağıt hamurlarından elde edilen safihaların öz-kütle ve hacimlilik değerleri lif boyu, lif genişliği gibi lif morfolojik özelliklerinin yanında liflerin formasyon esnasındaki dizilişleri ve esneklikleri ile de ilişkilidir. Bir numaralı hamur üretim koşullarından elde edilen kimyasal mekanik buğday samanı hamuru lifleri diğerlerine oranla daha fazla lignin ile kaplıdır. Bu durum bahsi geçen hamur üretimine ait verim değerinin yüksekliği ile de bilinmektedir. Lignin kaplı liflerin esneklik özelliği diğer liflere oranla daha az olduğu için elde edilen kağıtların hacimlilik değeri diğerlerinden yüksek olarak belirlenmiştir. İkinci ve üçüncü hamur üretim koşullarından elde edilen safihaların hacimlilik değerleri birbirine yakın olarak saptanmıştır.

4.4.2. Çekme Mukavemet İndisi

Buğday samanı hammaddesinden farklı pişirme koşullarında elde edilen kağıt hamurlarından üretilmiş safiha numunelerinin çekme mukavemet indeksleri Tablo 15’de ve Şekil 14’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bir numaralı hamur üretim şartlarından elde edilen safihaların çekme mukavemet indeksi iki numaralı hamur üretim şartlarından elde edilen safihaların çekme mukavemeti indeksine oranla 49,2% daha düşüktür. Bu durumun temel sebebinin bir numaralı hamur üretim koşullarında elde edilen

safihalarda liflerin birbirleri ile az sayıda bağ yapması olduğu düşünülmektedir. İlave olarak, iki numaralı hamur üretim şartlarından elde edilen safihaların çekme mukavemet indeksi üç numaralı hamur üretim şartlarından elde edilen safihaların çekme mukavemeti indeksine oranla 12,0% daha düşüktür.

Vargas ve ark. (2012) buğday samanı kullanarak kimyasal mekanik yöntemler ile 7% NaOH, 100°C sıcaklık ve 150 dakika pişirme süresi ile safiha numuneleri ve KSA prototipleri üretmişlerdir. Buğday samanı hamurundan elde edilen safiha numunelerinin çekme mukavemeti indeksi 43,5 Nm/g olarak saptanmıştır. Çalışma kapsamında 7% NaOH, 120 °C sıcaklık ve 60 dakika pişirme süresi ile üretilen buğday samanı hamurlarından elde edilmiş safiha numunelerinin çekme mukavemeti indeksi bu değer ile tutarlıdır.



Şekil 14. Buğday samanından kimyasal mekanik yöntem ile farklı pişirme koşullarında elde edilmiş hamurlardan üretilmiş safihaların çekme mukavemet indeksleri

4.4.3. Optik Özellikler

Buğday samanı hammaddesinden kimyasal mekanik yöntemle üç farklı pişirme şartında elde edilen hamurlardan üretilmiş safiha numunelerinin optik özellikleri beyazlık, parlaklık ve sarılık değerleri olarak Tablo 15’de verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, en yüksek parlaklık ve beyazlık sonucu iki numaralı hamur üretim koşulları ile elde edilmiştir. En yüksek sarılık ve en düşük parlaklık sonucu ise bir numaralı hamur üretim koşulları ile elde edilmiştir.

Bir numaralı hamur üretim koşulunda lif çeperlerindeki lignin moleküllerinin 3% NaOH kullanımı ile yeterince uzaklaştırılamamasına bağlı olarak parlaklık değerinin düşük ve sarılık değerinin yüksek geldiği düşünülmektedir.

İki numaralı hamur üretim yönteminde 7% NaOH kullanımına bağlı olarak bir numaralı hamur üretimine oranla daha fazla lignin selüloz çeperlerinden uzaklaştırılmış ve daha yüksek parlaklık değeri elde edilebilmiştir.

Üç numaralı hamur üretim yönteminde ise pişirme sıcaklığının yüksek olması sebebiyle NaOH moleküllerinin selüloz ile de tepkimeye girmesine bağlı olarak lignin moleküllerini yeterince çözemediği ve buna bağlı olarak parlaklık değerinin düşük çıktığı anlaşılmaktadır.

Buğday samanından kimyasal mekanik yöntem ile gerçekleştirilen üç farklı koşulda elde edilen hamur ve kağıt özellikleri incelendiğinde hem yüksek verim elde edilmesi hem de yüksek çekme mukavemeti elde edilmesine bağlı olarak bu çalışmanın optimum hamur hazırlama koşulu olarak 7% NaOH, 120 °C ve 60 dakika pişirme süresi belirlenmiştir. Buna bağlı olarak, KSA prototip geliştirme çalışmalarında bu hamur hazırlama koşulları ile ilerlenmiştir.

4.5. KSA Prototip Ürün Özelliklerine Ait Bulgular

Buğday samanından kimyasal mekanik yöntem ile 7% NaOH, 120 °C ve 60 dakika pişirme süresi ile elde edilen kağıt hamurları KSA üretimi için farklı oranlarda atık kağıt hamuru ile karıştırılarak prototip üretimi yapılmıştır. Kullanılan hamurlara ve elde edilen prototiplere ait bulgular aşağıda verilmiştir.

4.5.1. Buğday Samanından Kimyasal Mekanik Yöntem ile Elde Edilen Hamur ve Atık Kağıt Hamuru Lif Morfolojik Özelliklerine Ait Bulgular

Elde edilen buğday samanı hamuru ve atık kağıt hamuru lif morfolojisi karşılaştırması Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. Buğday samanı hamuru ve atık kağıt hamuru lif morfolojik özellikleri karşılaştırması

Hamur Türü	Serbestlik (°SR)	Lif Boyu, Lw (mm)	Lif Genişliği (µm)	Kırıntı İçeriği (%)
Atık Kağıt Hamuru	35	1,161±0,11	20,15±0,15	7,76±0,12
Buğday Samanı Hamuru *	36	0,813±0,06	17,70±0,17	14,26±0,10

*Buğday samanı hamuru kimyasal mekanik yöntem ile 7% NaOH, 120 °C ve 60 dakika koşullarında elde edilmiştir.

Atık kağıt kaynaklarından elde edilmiş liflerin ortalama ağırlıklı lif boyu buğday samanı hamuruna oranla 42,8% daha uzundur. Ayrıca, atık kağıt liflerinin ortalama lif genişliği buğday samanı hamuruna oranla 13,8% daha geniştir. Çalışma kapsamında kullanılan atık kağıtlar muhtemelen ibreli ve yapraklı ağaçlardan elde edilen liflerin karışımı ile imal edildikleri düşünülmektedir. Buna bağlı olarak lif boyu ve lif genişliklerinin buğday samanından kimyasal mekanik yöntemle elde edilen liflere oranla daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir.

4.5.2. KSA Prototiplerine Ait Basma Mukavemeti Bulguları

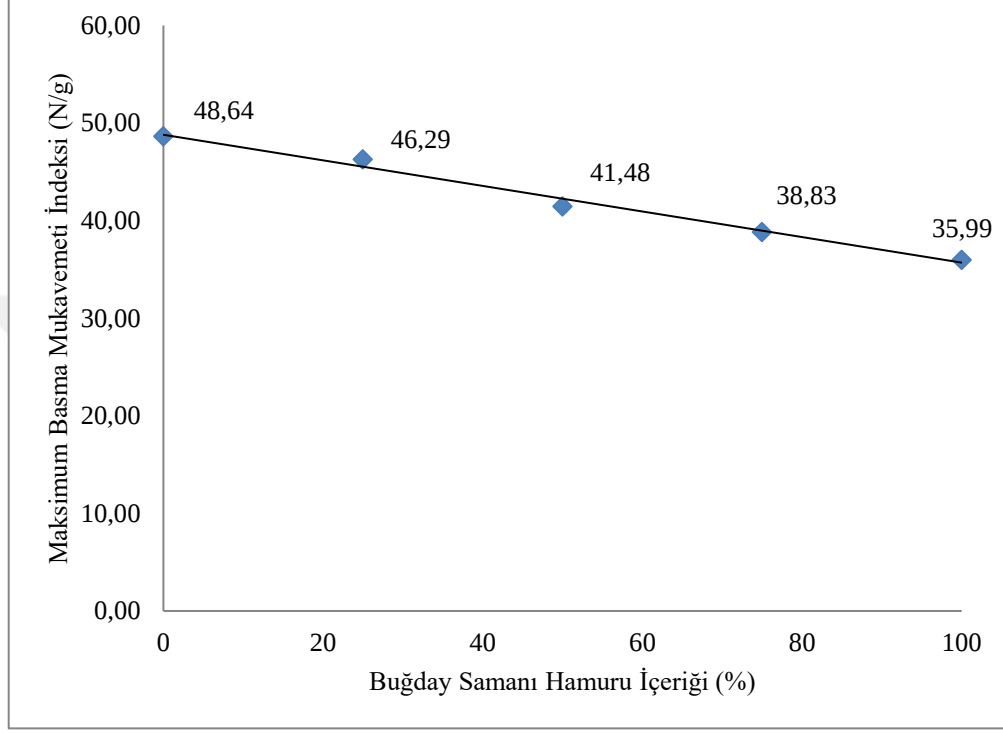
Buğday samanı hamuru ve atık kağıt hamuru farklı oranlarda karıştırılarak KSA prototipleri üretilmiştir. Elde edilen prototipler 24 saat boyunca 20°C sıcaklık ve 60% bağıl nem koşullarında şartlandırılmıştır. Her bir çeşit prototip türünden aynı ağırlıktaki 10 adet numune seçilerek basma mukavemeti ölçümleri ve akabinde nem ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kağıt bazlı ürünlerin mukavemet özelliklerinin ağırlık ve nem değeri ile direkt bağlantısı olduğu için bu konuya azami önem verilmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 18 ve Şekil 15’de verilmiştir.

Tablo 18. KSA prototiplerinin ağırlık, nem ve basma mukavemeti ölçüm bulguları

Buğday Samanı Hamuru (%)	Atık Kağıt Hamuru (%)	Ağırlık (g)	Nem (%)	Maksimum Basma Mukavemeti İndeksi (N/g)
100	0	8,50±0,21	6,60±0,06	35,99±3,15
75	25	8,50±0,24	6,52±0,08	38,83±3,42
50	50	8,50±0,18	6,65±0,07	41,48±3,25
25	75	8,50±0,26	6,48±0,07	46,29±3,63
0	100	8,50±0,20	6,54±0,08	48,64±3,45

Elde edilen prototiplerin basma mukavemet değerleri incelendiğinde kullanılan buğday samanı hamuru yüzdesindeki artışla birlikte KSA basma mukavemeti değerinin lineer olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Tamamen buğday samanından üretilen KSA prototiplerine ait basma mukavemeti indeksi tamamen atık kağıttan üretilmiş KSA prototiplerinin basma mukavemetine oranla 26% daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun temel sebebinin atık kağıt lif boyunun ve lif genişliğinin buğday samanı hamuruna oranla daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Lif morfolojilerinin yanında, çalışma kapsamında atık kağıt kaynağı olarak kullanılan gazete kağıtları ibrelili ağaç lifleri de içerdiğinden basma mukavemeti olarak buğday samanından elde edilen KSA numunelerine oranla yüksek basma mukavemet indeksi elde edilmiştir. Gazete kağıdı

üretiminde kullanılan ibreli ağaç lifleri mekanik yöntemlerle elde edildikleri için rijiditeleri yüksektir. Bu sebeple basma mukavemeti indeksi daha yüksek sonuçlar elde edildiği düşünülmektedir.



Şekil 15. Buğday samanı hamuru yüzdesinin basma mukavemeti ile ilişkisi

Yumurta KSA'larının mukavemet değerlerinin incelendiği Czechowski ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı tasarımların basma mukavemeti üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Bu çalışmada hammadde olarak atık kağıt ve hindistan cevizi lifleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre KSA'ların basma mukavemet indisleri 29,8-40,7 N/g arasındadır. Bu değerler ile mukayese edildiğinde 100% kimyasal mekanik buğday samanından elde edilen hamur ile üretilmiş KSA'ların mukavemet açısından yeterli olduğu düşünülmektedir.

4.6. KSA Prototiplerine Uygulanan Gıda Temas Uygunluğu Testlerine Ait Bulgular

Kağıt esaslı malzemelerin gıda temasına uygun olup olmadığının tespiti için elde edilen 100% kimyasal mekanik yöntemle üretilmiş buğday samanı hamuru bazlı KSA numunelerine uygulanan testler ve limit değerler Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 19. 100% buğday samanı hamuru ile üretilmiş KSA numunelerinin gıda temas uygunluk testi sonuçları

Madde	Ölçüm Sonucu	Maksimum Limit	Ölçüm Birimi	Ölçüm Limiti	Değerlendirme Sonucu
Arsenik	0,43	2	mg/kg	0,02 mg/kg	Uygun
Klorür	Tespit Edilemedi	0,2	%	0,02%	Uygun
Poliklorbifenil	Tespit Edilemedi	2	mg/kg	0,3 mg/kg	Uygun
Formaldehit	Tespit Edilemedi	15	mg/kg	1,3 mg/kg	Uygun
Kurşun	Tespit Edilemedi	0,003	mg/kg	0,01 mg/kg	Uygun
Kadmiyum	Tespit Edilemedi	0,002	mg/kg	0,01 mg/kg	Uygun
Civa	Tespit Edilemedi	0,002	mg/kg	0,01 mg/kg	Uygun
Pentaklorofenol	Tespit Edilemedi	0,15	mg/kg	0,005 mg/kg	Uygun

Geliştirilen buğday saman hamuru bazlı KSA’ların Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler Yönetmeliği kapsamında uygun olduğu yapılan test sonuçlarına göre belirlenmiştir. Yani, kimyasal mekanik buğday samanı hamuru ile belirtilen şartlarda üretilmiş kağıt hamurları gıda ambalajlanmasında kullanım için uygundur.

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında ilk olarak buğday saman yapı aydınlatma testleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar literatürdeki bulgular ile karşılaştırılmıştır. Kağıt üretiminde pişirme verimi, gerekli prosesin seçimi ve nihai kağıt özellikleri açısından kullanılacak olan hammaddenin yapısal özellikleri son derece önemlidir. Bu bölümde elde edilen sonuçlar holoselüloz, selüloz, lignin ve kül oranı için sırasıyla; 77,1%, 51,2%, 25,1% ve 5,2% olarak saptanmıştır. Holoselüloz, selüloz ve lignin yüzdesine ilişkin bulgular literatürde yer alan bulgular ile tutarlıdır. Çiçekler (2012) tarafından gerçekleştirilen buğday anızlarından kağıt hamuru eldesi çalışmasında buğday samanı kül oranı 7,1% olarak saptanmıştır. Ayrıca, Tutuş ve Eroğlu (2003) buğday samanı kül oranını 7,1% olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada ise buğday samanı kül oranı 5,2% olarak belirlenmiştir. Bu farkın buğday saplarının toplanma yönteminden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. İlave olarak, buğday saman kül oranı ibrelili ve yapraklı ağaçlara oranla yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum kimyasal yöntemlerle kağıt hamuru üretiminde siyah çözeltinin geri dönüştürülmesinde kullanılan evaporatörlerde tıkanma sorunları yarattığı bilinmektedir.

Çalışma kapsamında buğday samanı hammaddesinden kimyasal mekanik yöntem kullanılarak üç farklı pişirme koşullarında kağıt hamuru üretimi yapılmıştır. Bir numaralı pişirme koşulu (3% NaOH, 120°C, 60 dakika) ile elde edilen kağıt verimi 82,3% olarak belirlenmişken elde edilen ağırlıklı ortalama lif boyu 0,460 mm ve kırıntı içeriği 36,9% olarak belirlenmiştir. İki numaralı pişirme koşulu (7% NaOH, 120°C, 60 dakika) ile elde edilen kağıt verimi 61,28% olarak belirlenmişken elde edilen ağırlıklı ortalama lif boyu 0,813 mm ve kırıntı içeriği 14,3% olarak belirlenmiştir. Üç numaralı pişirme koşulu (7% NaOH, 150°C, 30 dakika) ile elde edilen kağıt verimi 53,4% olarak belirlenmişken elde edilen ağırlıklı ortalama lif boyu 0,718 mm ve kırıntı içeriği 16,0% olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında ayrıca farklı pişirme koşullarında elde edilen hamurlardan üretilmiş kağıtların hacimlilik, çekme mukavemeti ve optik özellikleri belirlenmiştir. Hacimlilik açısından bakıldığında birinci, ikinci ve üçüncü pişirme koşulları ile elde edilen hamurlardan üretilmiş kağıtların hacimlilik sonuçları sırası ile 2,85 g/cm³, 1,71 g/cm³ ve 1,68 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü pişirme koşulları ile elde edilen

hamurlardan üretilmiş kağıt numunelerinin çekme mukavemet indeksleri ise sırasıyla 21,76 Nm/g, 42,81 Nm/g ve 48,64 Nm/g olarak belirlenmiştir. Optik özellikler açısından bakıldığında ise en yüksek parlaklık değeri (32,5 ISO) ile ikinci pişirme konulu ile elde edilmiş hamurdan üretilen kağıtlardan elde edilmiştir. En düşük parlaklık değeri (13,2 ISO) ile birinci pişirme koşulundan elde edilen kağıt numunelerinden elde edilmiştir.

Buğday samanından kimyasal mekanik yöntemle farklı pişirmeler sonucu elde edilen hamur ve kağıt özellikleri incelendiğinde KSA üretimi için optimum koşulların ikinci pişirme koşulu olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebeple KSA üretiminde bu koşullar ile elde edilen hamurlar farklı oranlarda atık kağıtlar ile karıştırılarak kullanılmıştır. Ağırlıklı ortalama lif boyu açısından atık kağıt ve kimyasal mekanik yöntemle elde edilmiş buğday samanı sonuçları sırasıyla 1,16 mm ve 0,81 mm'dir. 100% atık kağıttan üretilmiş KSA prototiplerinin basma mukavemeti indeksi 48,64 N/g olarak belirlenmişken 100% kimyasal mekanik buğday samanı hamurundan üretilmiş KSA prototiplerinin basma mukavemeti indeksi 35,99 N/g olarak belirlenmiştir. Atık kağıttan üretilen KSA numunelerinin basma mukavemet indekslerinin buğday samanı liflerinden imal edilen KSA numunelerine oranla daha yüksek olmasının temel sebeplerinin lif boyu farkı ve atık kağıt kaynağı olarak kullanılan gazete kağıdı içeriğinde genellikle bulunan mekanik ibreli ağaç liflerinin bulunması olarak düşünülmektedir.

Elde edilen kimyasal mekanik buğday samanı hamurundan üretilmiş KSA'ların yumurta ve meyve sebze ambalajlanmasında kullanılabilmesi için Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler Yönetmeliğine uygun olmaları gereklidir. Bu sebeple ilgili testler 100% kimyasal mekanik buğday samanı bazlı KSA numunelerine uygulanmış ve tüm sonuçlar limitlerin içerisinde bulunmuştur. Sonuç olarak, kimyasal mekanik yöntem ile belirtilen koşullarda elde edilen buğday samanı hamurları yumurta, meyve ve sebze ambalajlanmasında endüstride kullanılabilirler.

Ülkemizde kağıt endüstrisinde kullanılan ham selüloz kaynakları yüksek oranda ithalatla karşılanmaktadır. Bunun temel sebeplerini olarak sürdürülebilir orman kaynaklarının ve yeterli üretim alt yapısının olmaması oluşturmaktadır. Kağıt endüstrisinin büyük bölümünü ise ambalaj sektörü oluşturmaktadır. Ambalaj sektöründe de genellikle ağartılmamış lif kaynakları kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında ülkemizde en fazla

retimi olan buğday saplarından yüksek verim ve yeterli direnç özelliklerinde kağıt hamuru üretimi kimyasal mekanik yöntem ile incelenmiştir. Elde edilen hamurlardan KSA numuneleri üretilmiş, bazı morfolojik ve fiziksel özellikleri ortaya konulmuştur. Buğday samanından kimyasal mekanik yöntem ile KSA gibi katma değeri yüksek ve gıda temasına uygun ambalaj malzemelerinin üretilebileceği sonucuna varılmıştır.



6. ÖNERİLER

Çalışma kapsamında daha az kimyasal kullanımı ve yüksek hamur verimi sebepleri ile kimyasal mekanik yöntem ile buğday samanından kağıt hamuru üretim koşulları ve elde edilen optimum koşul ile KSA prototip üretimi ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi irdelenmiştir.

Bunlara ilave olarak, bu çalışmanın devamı olarak aşağıda maddeler halinde verilen konularda da çalışma yürütülmesi değerlendirilebilir;

- Kimyasal kullanımı olmadan sıcak su yöntemi ile buğday samanı hammaddesinden hamur ve KSA prototiplerinin üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi konusunda çalışma yürütülebilir. Böylece, çevre açısından hiçbir tehlikeli atık oluşturulmayacağı gibi, elde edilen organik madde yüklü sıvılar da biogaz üretimi gibi çevreci prosesler ile değerlendirilebilecektir. Aynı zamanda da ambalaj sektöründe kullanılabilecek lif kaynakları ülke ekonomisine kazandırılabilir.
- KSA üretiminde nişasta ve borik asit gibi mukavemet kimyasallarının kullanımı ile basma mukavemet gelişiminin incelenmesi konusunda çalışma yürütülebilir. KSA kullanım alanlarının yaygınlaştırılması ve petrol türevi ambalajlar ile farklı alanlarda rekabet edebilmesinin sağlanabilmesi için birim ağırlıkta sağladığı yastıklama ve basma mukavemet değerlerinin artırılması çalışılabilir.
- KSA ve kalıp tasarımında bilgisayar destekli simülasyon programları kullanılarak yüksek mukavemetli prototipler geliştirilmesi. KSA sektöründe ürün tasarımı o ürünün mukavemet özellikleri açısından yüksek öneme sahiptir. Aynı kullanım amacıyla, aynı ağırlıkta farklı tasarımlarda imal edilen KSA numunelerinin bilgisayar destekli mukavemet analizleri ve fiili mukavemet analizleri konusunda çalışma yürütülebilir. Böylece, deneme yanılmadan ziyade birçok tasarımsal iyileştirme bilgisayar ortamında yapılabilir.
- KSA üretiminde yüzeylere sıvı ve yağ bariyeri özelliği sağlayabilmek için farklı kimyasalların spreyleneceği konusunda çalışma değerlendirilebilir. Bu çalışma ile de KSA kullanım alanlarının yaygınlaşması ve bazı petrol türevi ürünlerin yerini alması amaçlanabilir.

7. KAYNAKLAR

- Aguerre, Y., S. ve Gavazzo, G., B., 2016. Lignocellulosic Recycled Materials to Design Molded Products: Optimization of Physical and Mechanical Properties, *Journal of Materials Science and Engineering, A* 6(7-8), 222-231 DOI: 10.17265/2161-6213/2016.7-8.005.
- ASTM E313, 2015. Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Atar, B., 2017. Gıdamız Buğdayın Geçmişten Geleceğe Yolculuğu. Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Akademi Dergisi, 2(1):1-12.
- Ateş, S., Deniz, İ., Kırıcı, H., Atik, C. ve Okan, O., 2015. Comparison of Pulping and Bleaching Behaviors of Some Agricultural Residues, *TÜBİTAK, Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39, 144-153, DOI:10.396/tar-1403-41.
- Czechowski, L., Kmita-Fudalej, G. ve Szewczyk, W., 2020. The Strength of Egg Trays Under Compression: A Numerical and Experimental Study, *Materials MDPI*, DOI: 10.3390/ma13102279.
- Çiçekler, M., 2012. Anızların (Buğday Sapları) Kağıt Hamuru ve Kağıt Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.S.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Deniz, İ., Kırıcı, H. ve Ateş, S., 2004. Optimization of Wheat Straw Triticum Drum Kraft Pulping, *Elsevier, Industrial Crops and Products*, 19(2004) 237-2343, DOI:10.1016/j.indcrop.2003.10.011.
- Didone, M., Saxena, M., Brillhuis-Mijer, E., Tosello, G., Bissacco, G., Mcaloone, T., C., Pigosso, D., C. ve Howard, T., J., 2017. Moulded Pulp Manufacturing: Overview and Prospects for the Process Technology, *Packaging Technology and Science*, 30(6), 231-249, DOI: 10.1002/pts.2289.
- DIN 6167, 1980. Description of Yellowness of Near-White or Near-Colourless Materials, *Deutsches Institut Fur Normung (German Institute for Standardization)*, Berlin.
- Fang, G., ve Shen, K., 2018. Wheat Straw Pulping for Paper and Paperboard Production, *Global Wheat Production*, DOI: 10.5772/intechopen.77274.
- Gençer, A. ve Eroğlu, H., 2017. Manufacturing of Pulp from Wheat Straw (*Triticum aestivum* L.) by KOH-Air Method, *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 19(2):63-68, DOI:10.24011/barofd.322619.
- Gümüşkaya, E., Serin, Z., Ondaral, S. ve Ustaömer, D., 2003. Buğday (*Triticum aestivum* L.) Sapı Soda-Oksijen Kağıt Hamurunun Kimyasal ve Kristal Yapısı ile Optik Özellikleri Arasındaki İlişkiler, *Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 1-2(14-20).

- Hafizoğlu, H., ve Deniz, İ., 2012. Odun Kimyası Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Hart, P., 2020. Wheat Straw as an Alternative Pulp Fiber, Nonwood Pulping Tappi, Vol.19 No.1 DOI: 10.32964/TJ19.1.41.
- ISO 16065-1, 2014. Pulps — Determination of Fibre Length by Automated Optical Analysis — Part 1: Polarized Light Method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 1924-3, 2005. Paper and Board — Determination of Tensile Properties — Part 3: Constant Rate of Elongation Method (100 mm/min), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 287, 2009. Paper and Board — Determination of Moisture Content of a Lot — Oven-Drying Method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 5267-1, 1999. Pulps — Determination of Drainability — Part 1: Schopper-Riegler Method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 5269-2, 2004. Pulps — Preparation of Laboratory Sheets for Physical Testing — Part 2: Rapid-Köthen Method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Ji, H., Wang, H. ve Chen, J., 2008. Mechanical Behaviors of Molded Pulp Material, International Conference on Experimental Mechanics 2008 and Seventh Asian Conference on Experimental Mechanics. Nanjing, China, 8-11.
- Kasmani, E. J., ve Samariha, A., 2011. Some Chemical and Morphological Properties of Wheat Staw, Middle-East Journal of Scientific Research, 8 (4):823-825, ISSN 1990-9233.
- Keyes, F. K., 1890. Method of Molding Pulp Articles, U.S. Patent Office, Patent US Patent No. 424,003.
- Keyes, M. L., 1903. Apparatus for Making Pulp Articles, U.S. Patent Office Patent US Patent No. 740,023.
- Kırcı, H., 2018. Kağıt Hamuru Endüstrisi, KTU Basımevi, Orman Fakültesi, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Kırcı, H., Usta, M. ve Akgül, M., 2000. Saman Organosolv Hamurlarının Oksijen Delignifikasyonu, TÜBİTAK, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 757-765.
- Leponiemi, A., Johanssoni, A., Edelman, K. ve Sipila, K., 2010. Producing Pulp and Energy from Wheat Straw, Appita Journal, 63, 1, 65-73.

- Sarıkaya, E., Çallıoğlu, H. ve Demirel, H., 2019. Production of Epoxy Composites Reinforced by Different Natural Fibers and Their Mechanical Properties, Composites Part B, Engineering, 167, 461-466, DOI:10.1016/j.compositesb.2019.03.020.
- Tappi T 212 om-12, 2012. One Percent Sodium Hydroxide Solubility of Wood and Pulp. TAPPI.
- Tappi T211 om-02, 2007. Ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard, Combustion at 525°C. TAPPI.
- Tappi T222 om-02, 2006. Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp. TAPPI.
- Tappi T410 om-88, 2013. Grammage of Paper and Paperboard (weight per unit area). TAPPI.
- Tutuş, A., ve H. Eroğlu. A Pracatical Solution to the Silica Problem in Straw Pulping.» Appita Journal, 2003: Vol 56 No:2.
- Tutuş, A., ve Çiçekler, M., 2018. Buğday Saplarından Elde Edilen Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri Üzerine Potasyum Borhidrürün Etkisi, I.Uluslararası Akdeniz Sempozyumu, Mersin.
- URL-1, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. 23 Haziran 2020.
- URL-2, <https://www.imfa.org/molded-fiber>. 16 Mart 2021
- URL-3,. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24499&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>. 16 Mart 2021. Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler Yönetmeliği.
- Vargas, F., Gonzalez, Z., Sanchez, R., Jimenez, L. ve Rodriguez, A., 2012. Cellulosic Pulps of Cereal Straws as Raw Material for the Manufacture of Ecological Packaging. BioResources, 7, 3, 4161-4170.
- Wever, R. ve Twede, D., 2007. The History of Molded Fiber Packaging: A 20th Century Pulp Story. Proceedings of the 23rd IAPRI Symposium on Packaging. Windsor, England, 1-8.

OZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Denizli/Bozkurt'ta tamamladı. 2007 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümünü kazandı ve buradaki lisans öğrenimini 2012 yılında tamamladı. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlayan Hakan DEMİREL iyi seviyede İngilizce bilmektedir.

