



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADYASYON ZİRLAMA ÖZELLİKLERİ YÜKSEK
ALÇI LEVHA KAĞIT VE KARTON ÜRETİMİNİN
ARAŞTIRILMASI

Tamer SÖZBİR

DOKTORA TEZİ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2024

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİ YÜKSEK
ALÇI LEVHA KAĞIT VE KARTON ÜRETİMİNİN
ARAŞTIRILMASI

Tamer SÖZBİR

DOKTORA TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2024

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Tamer SÖZBİR



Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1005 “Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler Araştırma Destek Programı” kapsamında ayrıca TÜBİTAK 2244 Sanayi Doktora Programı kapsamında desteklenmiştir.

TÜBİTAK 1005 “Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler Araştırma Destek Programı”

Proje No: 122O060

TÜBİTAK 2244 “Sanayi Doktora Programı”

Proje No: 118C060

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİ YÜKSEK ALÇI LEVHA KAĞIT VE KARTON ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI (DOKTORA TEZİ)

TAMER SÖZBİR

ÖZET

Bu çalışmada, atık kağıtlardan nükleer teknolojide önemli bir rol oynayan radyasyon zırhlama özelliği kazandırılmış alçı levha kağıt ve kartonların üretimi amaçlanmıştır. Atık kağıtlardan kolemanit, boraks ve uçucu kül dolgularıyla radyasyon zırhlama özelliği kazandırılmış 130, 150, 160 ve 180 g/m² gramajların da kağıt ve kartonlar üretilmiştir. Üretilen kağıt ve kartonlara fiziksel, mekanik ve optik özellikleri belirlenmiş ve ardından radyasyon soğurma testleri uygulanmıştır.

En yüksek yoğunluk artışları 180 g/m² kartonda gözlemlenmiştir. En belirgin yoğunluk artışı uçucu kül ile sağlanmıştır. Dolgu maddesi kullanımı kağıt ve kartonların kalınlığını %2 ila %8 oranında azaltmıştır. Mekanik özellikler açısından, dolgular genel olarak kağıt ve kartonların yırtılma, patlama ve scott bond dayanımlarını azaltmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda, en iyi mekanik dayanım kolemanit dolgusu ile sağlanırken, boraks ve uçucu kül dolgulu kağıt ve kartonlar daha düşük performans göstermiştir.

Radyasyon soğurma özellikleri bakımından, Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları kullanılarak transmisyon yöntemiyle yapılan deneyler, boraks, kolemanit ve uçucu kül dolgulu kağıt ve kartonların radyasyon soğurma yetenekleri belirlenmiştir. Çeşitli enerji seviyelerinde sunulan HVL (Yarı Değer Kalınlığı), LAC (Doğrusal Zayıflatma Katsayısı), MAC (Kütle Zayıflatma Katsayısı), MFP (Ortalama Serbest Yol) ve TVL (Ondalık Değer Kalınlığı) değerleri, radyasyonun farklı materyaller tarafından ne kadar etkili bir şekilde zayıflatıldığını göstermektedir.

Çalışmada kullanılan kolemanit, boraks ve uçucu kül dolgularından, özellikle %20 boraks içeren 150 g/m² ve 160 g/m² gramajlarındaki kağıt ve kartonlar, HVL, LAC, MAC, MFP ve TVL parametrelerinde en iyi ve yüksek sonuçlar vermiştir. Kolemanit bazlı materyaller, 1173 keV enerji seviyesinde özellikle HVL ve LAC değerlerinde en iyi performansı sergilemiştir. Uçucu kül bazı parametrelerde iyi performans gösterse de genellikle boraks ve kolemanit bazlı materyallerin gerisinde kalmıştır.

Sonuç olarak, dolgu malzemesi olarak kolemanit, boraks ve uçucu kül kullanılması kağıtların radyasyon soğurma özelliklerini artırmıştır. Bu çalışmanın bulguları, radyasyon zırhlama özellikli kağıt ve karton malzemelerin üretiminde, dolgu maddesi kullanımının önemli ve etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: kağıt, alçı levha kağıdı, radyasyon, zırhlama

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Temmuz / 2024

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ

Sayfa sayısı: 115

**INVESTIGATION OF GYPSUM BOARD PAPER AND CARDBOARD
PRODUCTION WITH HIGH RADIATION ABSORPTION PROPERTIES
(Ph.D. THESIS)**

TAMER SÖZBİR

ABSTRACT

In this study, the production of gypsumboard paper and cardboard with radiation shielding properties, which play a significant role in nuclear technology, was aimed using waste paper. Paper and cardboard with basis weights of 130, 150, 160, and 180 g/m² were produced by incorporating colemanite, borax, and fly ash fillers into waste paper to impart radiation shielding properties. The physical, mechanical, and optical properties of the produced paper and cardboard were determined, followed by radiation shielding tests.

The highest density increases were observed in the 180 g/m² cardboard. The most significant density increase was achieved with fly ash. The use of fillers reduced the thickness of the paper and cardboard by 2% to 8%. In terms of mechanical properties, the fillers generally decreased the tear, burst, and Scott bond strengths of the paper and cardboard. Statistical analysis showed that the best mechanical strength was achieved with colemanite filler, while borax and fly ash fillers exhibited lower performance.

Regarding radiation shielding properties, experiments using Cs-137 and Co-60 gamma radioisotope sources through the transmission method determined the radiation shielding capabilities of paper and cardboard filled with borax, colemanite, and fly ash. Various energy level parameters such as HVL (Half-Value Layer), LAC (Linear Attenuation Coefficient), MAC (Mass Attenuation Coefficient), MFP (Mean Free Path), and TVL (Tenth-Value Layer) were presented to demonstrate the effectiveness of radiation attenuation by different materials.

Among the colemanite, borax, and fly ash fillers used in the study, especially paper and cardboard with 20% borax content and basis weights of 150 g/m² and 160 g/m² showed the best and highest results in HVL, LAC, MAC, MFP, and TVL parameters. Colemanite-based materials exhibited the best performance in HVL and LAC values, particularly at an energy level of 1173 keV. Although fly ash performed well in some parameters, it generally lagged behind borax and colemanite-based materials.

In conclusion, the use of colemanite, borax, and fly ash as fillers increased the radiation absorption properties of the papers. The findings of this study indicate that the use of filler materials is significant and effective in the production of paper and cardboard materials with radiation shielding properties.

Keywords: paper, gypsumboard paper, radiation, shielding

KahramanmaraşSütcüİmamUniversity
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Forest Industry Engineering, July / 2024

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ
Pagenumber: 115

TEŞEKKÜR

Bu doktora tezimi tamamlarken, birçok kişinin katkılarına minnettarlık duymaktayım. Bu süreçte, bilgeliği, rehberliği ve destekleri için tez danışmanım Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ'a içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Bu tezin gerçekleşmesindeki emekleri, yönlendirmeleri ve destekleri için Doç. Dr. Yusuf KAVUN'a, değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Halil Turgut ŞAHİN, Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU ve Doç. Dr. Mustafa ÇİÇEKLER'e, Kahramanmaraş Kağıt Fabrikası şirketine ve Ar-Ge merkezi çalışanlarına, tez çalışmamda her türlü yardımlarını esirgemeyen sizlerin olumlu enerjisi ve samimi katkıları, bu yolculuğu daha anlamlı kıldı. BİDEB 2244 “Sanayi Doktora Programı” kapsamında “118C060” proje numarasıyla ve ARDEB 1005 “Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler Araştırma Destek Programı” kapsamında “Radyasyon Zırhlama Özellikleri Yüksek Alçı Levha Kağıt ve Karton Üretiminin Araştırılması” başlığında “122O060” proje numarasıyla çalışmalarımı destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca, tez sürecimde sağladıkları destek, anlayış ve motivasyon için çekirdek aileme ve geniş aileme, özellikle değerli eşim Doç. Dr. Gonca DÜZKALE SÖZBİR'e, oğlum Yusuf ve Ali'ye içten teşekkürlerimi iletiyorum. Sizlerin sevgisi ve sabrı, bu zorlu yolculukta beni her zaman ileriye taşıdı.

Tez sürecimdeki herkese, dolaylı ya da doğrudan, bu çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunan herkese teşekkür ederim.

Saygı ve sevgilerimle.

Tamer SÖZBİR

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Atık Kağıtlar ve Geri Dönüşümü	4
1.2. Alçı Levha.....	7
1.3. Alçı Levha Kullanımı Alanları	8
1.4. Radyasyon ve Zırhlama	9
1.4.1. Radyasyon Çeşitleri	9
1.4.2. Radyasyon Dozu.....	11
1.4.3. Zırhlama (Soğurma)	13
1.5. Radyasyon Zırhlamada Kullanılan Bazı Maddeler.....	16
1.6. Bu Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri.....	17
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	18
3. MATERYAL VE METOT.....	26
3.1. Materyal	26
3.2. Alçı Levha Kağıt ve Karton Üretimi	28
3.2.1. Üst-Örtü kağıdı hamurlaştırma işlemi	30
3.2.1.1. Depolama işlemi.....	31
3.2.1.2. Flotasyon (Yüzdürme)	32
3.2.1.3. Yoğurma (Dispersiyon) işlemleri.....	34
3.2.1.4. Ağartma.....	34
3.3. Radyasyon Soğurma Testleri	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
4.1. Dolgusuz ALK'ların Optik ve Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular	41
4.1.1. Dolgusuz ALK'ların mekanik özelliklerine ait bulgular	41
4.1.2. Dolgusuz ALK'ların optik özelliklerine ait bulgular	44
4.2. Ağartma İşlemine Ait Bulgular.....	50
4.3. Dolgulu ALK'larının Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular	54
4.4. ALK'ların Radyasyon Soğurma Özelliklerine Ait Bulgular	63
5. SONUÇLAR.....	82
5.1. Alçı Levha Kağıt ve Kartonlarında Mekanik Özellikler.....	82
a. Alçı levha kağıt ve kartonların yoğunluklarına ait sonuçlar	82
b. Alçı levha kağıt ve kartonların kalınlıklarına ait sonuçlar	82
c. Alçı levha kağıt ve kartonlarının mukavemet özelliklerine ait sonuçlar	83
5.2. Radyasyon Soğurma Özelliklerine Ait Sonuçlar	88

6. ÖNERİLER	94
6.1. Dolgu Maddesi Seçimi ve Uygulama Alanlarına Yönelik Öneriler:	94
6.2. Alçı Levha Üretimi Yönüyle:	94
6.3. ALK Mekanik Özellikleri Yönüyle	95
6.4. Alçı Levha Kağıtların Radyasyon Soğurma Özellikleri Yönüyle	95
6.5. Önerilen Materyaller	96
6.6. Maliyet Analizi	98
7. KAYNAKLAR	99



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Türkiye'nin Sektörlere Göre İhracatı.....	2
Şekil 1.2 Basit bir kağıt üretimi iş akışı.....	6
Şekil 1.3 Renklendirilmiş bazı ALK'ların görünümü	7
Şekil 1.4 Alçı levha ile çevrilmiş bir oda	8
Şekil 1.5 Alçı levha üretimi iş akış şeması.....	9
Şekil 1.6 Radyoaktivite oluşumu.....	11
Şekil 1.7 Elektromanyetik spektrum	12
Şekil 1.8 Günlük yaşamda karşılaşılabilecek radyasyon dozlarından örnekler.....	13
Şekil 1.9 Radyasyon çalışanlarının radyoaktif kaynak ile çalışırken uyması gereken korunma faktörleri	14
Şekil 1.10 Farklı enerjili fotonların zırh kalınlık ilişkisi	15
Şekil 1.11 α , β , γ ve nötron ışınlarının penetrasyon dereceleri	15
Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan atık ofis magazin kağıtları ve atık oluklu mukavva kağıt ve kartonları.....	28
Şekil 3.2 Hamurlaştırma ve kağıt üretim işlemlerinde kullanılan Laboratuvar ekipmanları	29
Şekil 3.3 El yapımı kağıt makinesinde üretilen üst ve alt ALK örnekleri.....	31
Şekil 3.4 Depolama işleminde kullanılan su banyosu	32
Şekil 3.5 Degussa Flotasyonlu Mürekkep Giderme Prosesi (Çiçekler, 2019)	33
Şekil 3.6 Ölçümlerde kullanılan radyasyon deney düzeneği.....	39
Şekil 4.1 Üretilen test kağıt ve kartonu	54
Şekil 4.2 Deney kağıtlarından kontrol ve %10 boraks, kolemanit, uçucu kül dolgulu 150 g/m ² kağıtlara ait SEM görüntüleri.....	55
Şekil 4.3 Dalgulu deney kağıt ve kartonlarında kopma mukavemeti grafikleri.....	60
Şekil 4.4 Dalgulu deney kağıt ve kartonlarında patlama mukavemeti grafikleri.....	60
Şekil 4.5 Dalgulu deney kağıt ve kartonlarında SCT mukavemeti grafikleri	61
Şekil 4.6 Dalgulu deney kağıt ve kartonlarında kat ayrımı grafikleri	61
Şekil 4.7 Dalgulu ALK'larda 662 keV enerjide soğurma ölçümlerine ait bulgular	75
Şekil 4.8 Dalgulu ALK'larda 1173 keV enerjide soğurma ölçümlerine ait bulgular	76
Şekil 4.9 Dalgulu ALK'larda 1333 keV enerjide soğurma ölçümlerine ait bulgular	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Türkiye'de Kağıt ve Karton Üretim Miktarları (ton).....	4
Çizelge 1.2 Farklı kategoride atık kağıtlara uygulanan iş akışı ve üretilen kağıt hamurlarının kullanım yeri örnekleme.....	5
Çizelge 1.3 Kağıt Sektörünün Kağıt-Karton Harman Bileşimi (ton)	5
Çizelge 1.4 Türkiye'de Atık Kağıt Geri Kazanma Oranları	6
Çizelge 1.5 Radyasyon çeşitleri.....	10
Çizelge 3.1 Helico pulperin teknik özellikleri.....	29
Çizelge 3.2 Kağıt üretimi için kullanılacak hamur süspansiyonun kimyasal özellikleri.....	30
Çizelge 3.3 Hamurlaştırma işleminde kullanılan kimyasallar ve oranları.....	30
Çizelge 3.4 Depolama koşulları.....	31
Çizelge 3.5 Hamurlara uygulanan mürekkep giderme koşulları	33
Çizelge 3.6 Dispersiyon işlemi koşulları.....	34
Çizelge 3.7 Kağıt hamurlarına uygulanan ağartma koşulları	37
Çizelge 3.8 Dolgulu kağıt ve karton üretiminde uygulanan deney planı	38
Çizelge 3.9 ALK'larına uygulanan testler ve standartları	40
Çizelge 4.1 Geri dönüşümde kullanılan ofis ve magazin kağıtları ile hamurlaştırma işlemi sonrası elde edilen kağıt ve kartonların kül oranlarına ait bulgular	41
Çizelge 4.2 Dolgusuz ALK'larının kopma uzunluğuna ait bulgular	42
Çizelge 4.3 Dolgusuz ALK'larının patlama indisi sonuçlarına ait bulgular	43
Çizelge 4.4 Dolgusuz ALK'ların Scott Bond (kat ayrımı) testine ait bulgular.....	43
Çizelge 4.5 Dolgusuz ALK'ların su emme davranışları ((COBB ₆₀ (g/m ²)) özelliklerine ait bulgular.....	44
Çizelge 4.6 Dolgusuz ALK'ların dispersiyon sonrası porozite özelliklerine ait bulgular ...	44
Çizelge 4.7 Dolgusuz ALK'ların beyazlık ölçümlerine ait bulgular	45
Çizelge 4.8 Dolgusuz ALK'ların parlaklık değerlerine ait bulgular.....	46
Çizelge 4.9 Dolgusuz ALK'ların sarılık değerlerine ait bulgular	47
Çizelge 4.10 Dolgusuz ALK'ların CIE beyazlık değerlerine ait bulgular	47
Çizelge 4.11 Dolgusuz ALK'ların leke analizi sonuçlarına ait bulgular	48
Çizelge 4.12 Dolgusuz ALK'ların ERIC analiz ölçümlerine ait bulgular	49
Çizelge 4.13 Üç kademeli ağartma sonrası üretilen kağıtların optik özellikleri ve ERIC değerlerine ait bulgular.....	52

Çizelge 4.14 Ağartma işlemi sonrası ALK'larda ERIC ve leke analiz sonuçlarına ait bulgular.....	53
Çizelge 4.15 Ağartma işlemi sonrası elde edilen ALK'ların mekanik özelliklerine ait bulgular.....	53
Çizelge 4.16 Dolgulu kağıt ve kartonların kalınlık değişimlerine ait bulgular	56
Çizelge 4.17 Boraks dolgulu kağıt ve kartonların mekanik özellikleri	57
Çizelge 4.18 Kolemanit dolgulu kağıt ve kartonların mekanik özellikleri	58
Çizelge 4.19 Uçucu Kül dolgulu kağıt ve kartonların mekanik özellikleri	59
Çizelge 4.20 Dolgulu ALK'larının yoğunluklarına ait bulgular	63
Çizelge 4.21 Kolemanit dolgulu kağıtların Kobalt 1173 keV enerjide soğurma deneyi ölçümlerine ait bulgular.....	65
Çizelge 4.22 Boraks dolgulu kağıtların Kobalt 1173 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri.....	66
Çizelge 4.23 Uçucu Kül dolgulu kağıtların Kobalt 1173 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri.....	67
Çizelge 4.24 Kolemanit dolgulu kağıtların Kobalt 1333 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri.....	68
Çizelge 4.25 Boraks dolgulu kağıtların Kobalt 1333 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri.....	69
Çizelge 4.26 Uçucu Kül dolgulu kağıtların Kobalt 1333 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri.....	70
Çizelge 4.27 Kolemanit dolgulu kağıtların Sezyum 662 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri.....	71
Çizelge 4.28 Boraks dolgulu kağıtların Sezyum 662 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri.....	72
Çizelge 4.29 Uçucu Kül dolgulu kağıtların Sezyum 662 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri.....	73
Çizelge 4.30 Radyoloji ve endüstriyel radyografi uygulamalarında X-ışınları için HVL ve TVL değerleri	74
Çizelge 4.31 Bazı radyoaktif kaynakların kurşun ve beton için TVL değerleri.....	74
Çizelge 4.32 Bazı Elementlerin Bazı Foton Enerjilerinde Yarı Değer Kalınlıkları (HVL)	74
Çizelge 4.33 Co-60 Kaynağı için Bazı Yapı Malzemelerinin Kütlesel ve Doğrusal Zayıflatma Katsayıları	75

Çizelge 5.1 Dolgulu kağıtlarda DUNCAN analizine ait sonuçlar	84
Çizelge 5.2 Dolgulu kartonlarda DUNCAN analizine ait sonuçlar	85
Çizelge 5.3 Mekanik özelliklerinde korelasyon analizine ait sonuçlar	87
Çizelge 5.4 Tüm dolgularda ve gramajlarda 662 keV enerjide radyasyon soğurma ölçümlerinden elde edilen verilerin DUNCAN analizine ait sonuçlar	89
Çizelge 5.5 Tüm dolgularda ve gramajlarda 1333 keV enerjide radyasyon soğurma ölçümlerinden elde edilen verilerin DUNCAN analizine ait sonuçlar	90
Çizelge 5.6 Tüm dolgularda ve gramajlarda 1173 keV enerjide radyasyon soğurma ölçümlerinden elde edilen verilerin DUNCAN analizine ait sonuçlar	91
Çizelge 6.1 Çalışmadaki yöntemlerin kullanılması ile üretilecek 1 ton alçı levha kağıt ve kartonunun yaklaşık üretim maliyetleri	98



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	Santigrat derece
⁰ SR	Schopper-Riegler (Hamur süspansiyonu serbestlik derecesi)
ν	Frekans
g	Gram
g/m ²	Gramaj
kg	Kilogram
μm	Mikrometre
dev	Devir
dk	Dakika
kPa	kilopascal
ppm	parts per million
EDTA	Etilendiamintetraasetik Asit
eV	Elektron Volt
keV	Kiloelektron volt
MeV	Megaelektron volt
LAC	Lineer (Doğrusal) zayıflatma (soğurma) katsayısı
HVL	Half Value Layer / Yarı Geçirgenlik Değeri
TVL	Tenth Value Layer / Onda-Bir Geçirgenlik Değeri
MFP	Mean Free Path / Ortalama Serbest Yol / Kat Edilen Yol
MAC	Kütle Soğurma Katsayısı
X	İyonizan radyasyon içeren ışın demeti (foton demeti)
α	Nükleer parçacık türü (Alfa ışını)
β	Nükleer parçacık türü (Beta ışını)
γ	Nükleer parçacık türü (Gama ışını)
Bq	Becquerel
mCi	Mili Cruie
N	Newton
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
ISO	International Standards of Organisations

1. GİRİŞ

Kağıt, tarihin derinliklerinden günümüze kadar önemli bir bilgi aktarım aracı olarak varlığını sürdürmektedir. İnsanların bilgiye erişme, paylaşma ve saklama ihtiyaçlarına cevap vermek için ortaya çıkan kağıt, başlangıçta basit ancak etkili bir malzeme olarak karşımıza çıkmıştır. Antik dönemlerden itibaren farklı kültürlerde geliştirilen kağıt üretim teknikleri, Çin'den başlayarak dünyaya yayılmış ve farklı malzemelerin kullanımıyla çeşitlenmiştir.

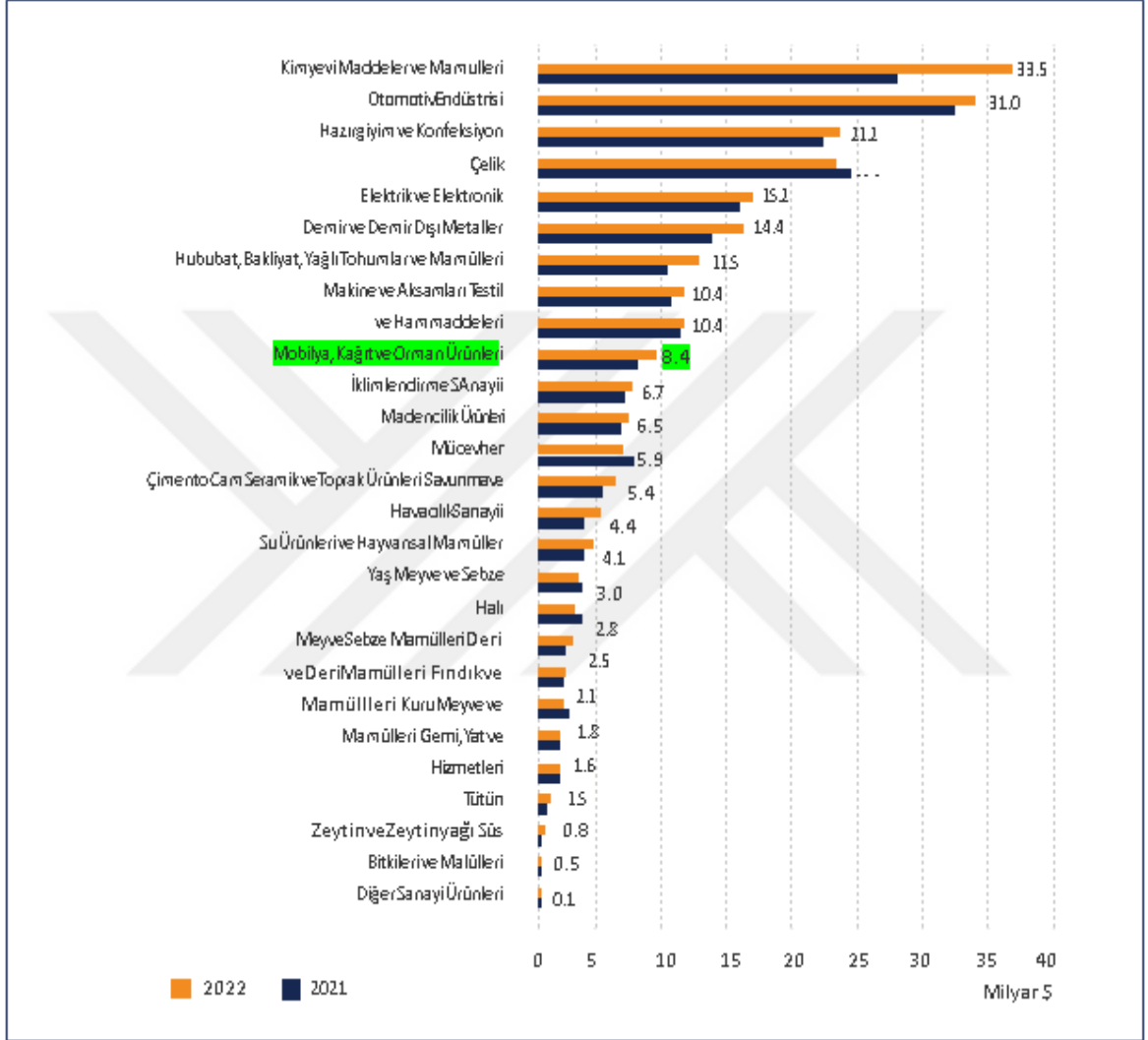
Kağıt endüstrisi, zaman içinde teknolojik gelişmelerle birlikte büyük bir dönüşüm geçirmiştir. Özellikle 19. yüzyılda endüstriyel üretim süreçleri ve kağıt hamuru alternatifleriyle birlikte kitle tüketiminin bir ürünü haline gelmiştir (Cantavalle, 2019). Bu süreçte, kağıt üretiminde kullanılan hammaddelerin çeşitlenmesi ve geri dönüşüm olanaklarının değerlendirilmesiyle birlikte endüstri, ekonomik ve kültürel açıdan büyük önem kazanmıştır (SRAS, 2021).

Kağıt endüstrisi, geri dönüşüm sürecinde öncü bir rol oynamıştır. Geri dönüşüm logosunun kökeni 1970'lerde bir tasarım öğrencisinden gelmektedir, ancak geri dönüşüm tarihi çok daha eski bir geçmişe sahiptir. Örneğin, Japonlar 10. yüzyılda geri dönüşümlü kağıdı kullanmaya başlamışlardır. Daha yakın zamanlarda ise, 19. yüzyılda İngiliz kağıt üreticisi Matthias Koops, atık kağıt ve odun hamurundan yüksek kaliteli geri dönüştürülmüş kağıt elde etmek için ilk pratik süreçleri icat etmiştir. Bu gelişimler, endüstride geri dönüşümün önemini vurgulamış ve kağıt üretim süreçlerini dönüştürmüştür (Putz, 2006).

Kağıt endüstrisi, kaynak verimliliği ve yenilik konusunda öncü bir geçmişe sahiptir. Gelişen teknoloji ve artan taleple birlikte, kağıt hamuru ve kağıt ürünleri sektörü çeşitli ürünlerin yanı sıra yenilikçi ürünler geliştirmekte lider konumdadır. Ancak, Covid-19 salgını gibi faktörler endüstriyi etkilemiş ve adaptasyon gerektirmiştir. Bu süreçte, geri dönüşümün daha da önem kazandığı ve sürdürülebilirlik için döngüsel ekonomiye doğru bir adım atıldığı görülmektedir. Ambalaj alanında özellikle lif bazlı ambalajların geri dönüşüm oranı Avrupa'da yüksektir. Ancak, daha fazla verimlilik ve döngüsellik sağlanması için daha fazla çaba gerekmektedir (TİM, 2023).

Avrupa Birliği (AB) ekonomisinde, kağıt endüstrisi geniş bir iş gücü istihdam etmekte ve yıllık ciro bakımından ve sürdürülebilir ekonomik büyüme için önemli bir

potansiyele sahiptir ve geri dönüşümün yaygınlaştırılmasıyla daha da etkili bir hale gelebilir. AB ekonomisinde, kağıt hamuru üretiminin yanı sıra grafik, hijyenik, ambalaj ve özel kağıt kaliteleri ve ürünlerinden elde edilen yıllık ciro yaklaşık 180 milyar Euro'dur. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi, Türkiye’nin mobilya, kağıt ve orman ürünleri ihracatı, toplam ihracatın %8,4 ünü oluşturmaktadır (TİM, 2023).



Şekil 1.1 Türkiye'nin Sektörlere Göre İhracatı

Ambalaj Sanayicileri Derneği (ASD) Eylül 2022 de yayınladığı ‘Türkiye Ambalaj Sektörü İhracat-İthalat Raporu’na göre sektör 2022 yılında 2021 yılının aynı 6 aylık dönemine göre % 25.2 yükselmiştir. 2021 yılı ilk altı ayında 3 milyar dolar olan ihracat 2022 yılının aynı döneminde 3.8 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu ihracatın en çok yapıldığı ülkeler sırasıyla Birleşik Krallık, Almanya, İtalya, ABD ve İsrail olmuştur. ASD başkanı Zeki SARİBEKİR, 2023 yılında hedefi 10 milyar dolar ihracat olarak bildirmiştir (ASD, 2022).

Avrupa'da kağıt ve basılı ürünler, sera gazı salınımı açısından diğer sektörlerle kıyasla çok daha düşük bir orana sahipken, Bilgi İşlem Teknolojileri (BİT) sektörü ise küresel sera gazı salınımının önemli bir kısmını (tüm hava trafiği kadar) oluşturuyor. BİT ayak izi 2040 yılına kadar küresel emisyonların %14'üne yükselebilir. Ancak, tüketicilerin çoğunluğu hala elektronik iletişimin kağıt iletişime göre daha çevre dostu olduğunu düşünüyor, bu da yanlış algıların sürdüğünü gösteriyor. Avrupa'daki kağıt tüketimi direnç gösterirken, üretim düşüş yaşamıştır, bu da yüksek enerji fiyatları ve ekonomik yavaşlama ile ilişkilendirilmektedir. Ancak, endüstri, kaynak verimliliği ve teknolojik gelişmelerle çevresel etkileri azaltarak yeni ürünler ve uygulamalar geliştirmek için fırsatlarla karşı karşıyadır. Bu, düşük karbonlu bir biyo-ekonomiye doğru ilerlemeyi amaçlayan 2050 Yol Haritası hedeflerine ulaşmak için önemli bir adımı temsil ediyor (EPRC, 2020).

Kağıt ve basılı ürünler endüstrisi, biyo-ekonominin sunduğu fırsatları değerlendirerek yeni iş konseptleri, tekstil, kozmetik, gıda ve ilaç endüstrileri için ürünler ve yeni malzemeler üretme potansiyeline sahiptir. Endüstri, kültürel ve endüstriyel olarak sınıflandırılan bir dizi ürünü kapsar. Kültürel kağıtlar, yazı tabı ve gazete kağıtları gibi üzerine baskı yapılabilir kağıtları içerirken, endüstriyel kağıtlar arasında sargılık kağıtları, temizlik kağıtları, kraft torba kağıdı, oluklu mukavva, kartonlar ve alçı levha kağıt ve kartonları (ALK) bulunur. Sektör, büyüme potansiyeli, sürekli gelişen iç pazar ve artan talebe rağmen, üretim açısından yeterli seviyeye ulaşamamaktadır. Bu durumun başlıca nedenleri, hammaddeye erişim konusunda yaşanan sıkıntılar, ham ve yardımcı maddelerin yalnızca ithalat yoluyla tedarik edilebilmesi ve üretim maliyetlerindeki artışlardır. Kağıt sektörü, tarım ürünlerinin taşınmasında kullanılan ambalaj ürünleri başta olmak üzere, tüm sektörlerle hitap eden ambalaj ürünleri ve sektördeki teknolojik gelişmeler ile ihtiyacın çeşitlenmesi nedeniyle yatırım sermayesindeki artışlar ve üretim maliyetleri açısından stratejik öneme sahiptir. Bu bağlamda, kağıt sektörü ülkemiz açısından stratejik olarak ele alınması gereken sektörlerden biridir. Kağıt üretimi için kullanılan ana hammaddeler odun hamuru, geri dönüştürülmüş kağıt, bitkisel lifler ve selüloz olarak özetlenebilir. Günümüzde atık kağıt geri dönüşümü yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemidir. Aşağıda Çizelge 1.1'de ülkemizde üretilen kağıt ve kartonların çeşitlere göre üretim miktarları verilmiştir (SKSV, 2023).

Çizelge 1.1 Türkiye'de Kağıt ve Karton Üretim Miktarları (ton)

	2018	2019	2020	2021	2022
Gazete Kağıdı	0	0	0	0	0
Yazı-Tabı Kağıtları	254.400	245.000	254.200	272.500	280.250
Sargılık Kağıtlar	97.250	94.500	80.400	90.000	98.700
Oluklu Mukavva Kağıtları	2.502.373	2.644.646	2.879.594	3.049.240	2.916.812
Kartonlar	654.754	714.100	721.907	754.578	865.867
Temizlik Kağıtları	903.199	908.379	944.372	958.778	1.156.178
Sigara ve İnce, Özel Kağıtlar	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
TOPLAM	4.416.976	4.611.625	4.885.473	5.130.096	5.322.807

1.1. Atık Kağıtlar ve Geri Dönüşümü

Kullanım amacını tamamlayıp atılan ve hurda olan her türlü kağıt, karton ve mukavvalara “atık kağıt” ya da “hurda kağıt” denilmektedir. Bu kapsamda kullanım amacına hazırlanma sürecinde işlenmekte olan kağıtların (kutu yapımında kesim fireleri, matbaa ve kutu basım işlemlerinde kesim ve hatalı üretim fireleri gibi) kırıntıları da atık kağıt olarak kabul edilmektedir (Bajpai, 2010).

Atık kağıt toplama ve hurdacılığı, geri dönüşüm endüstrisinde önemli bir sektör oluşturmuştur. Atık kağıtlar, toplama merkezlerinde ayrıştırılarak farklı kategorilere ayrılır ve fiyatlandırılır. Ardından, geri dönüşüm tesislerinde alınan atık kağıtlar, rutubet ve yabancı madde miktarına göre değerlendirilir ve sözleşme şartlarına göre fire miktarları belirlenir. Atık kağıtlar, üretilecek kağıdın cinsine göre hamurlaştırılır ve temizlenir. Geri dönüşüm süreci, işlenecek atık kağıdın niteliğine ve ürünün son kullanım yerine bağlı olarak tasarlanır. Genellikle Çizelge 1.2’de gösterildiği gibi beş temel uygulama yöntemi bulunmaktadır (Kocabey, 2015).

Çizelge 1.2 Farklı kategoride atık kağıtlara uygulanan iş akışı ve üretilen kağıt hamurlarının kullanım yeri örnekleme

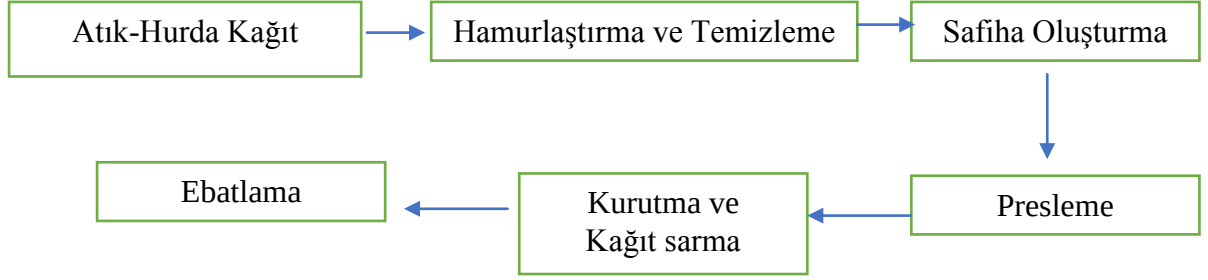
Atık Kağıt Kategorisi	Prosesler	Kullanım Yeri
Karışık Kağıtlar	Hamurlaştırma, Kaba Kir Uzaklaştırma	Gri Karton Üretimi, Kalıp Kartonlar
Oluklu Mukavva Kağıtları	Hamurlaştırma, Kir Uzaklaştırma, Fraksiyonlama, Dispersiyon	Oluklu Mukavva Liner Katı, Torba Kağıdı
Gazete ve Magazin Kağıtları	Hamurlaştırma, Kir Uzaklaştırma, Mürekkep Giderme, Dispersiyon (Ağartma)	Gazete Kağıdı, Dergi kağıdı
Ofis Kağıtları	Hamurlaştırma, Kir Uzaklaştırma, Mürekkep Giderme, Dispersiyon, Ağartma	Yazı Tabı Kağıdı, Temizlik Kağıdı
Oluklu Mukavva ve Ofis Kağıtları	Hamurlaştırma, Kir Uzaklaştırma, Fraksiyonlama, Mürekkep Giderme, Dispersiyon, Ağartma	ALK, Bir Yüzü Beyaz Testliner

Atık kağıtların kendi türlerine dönüştürülerek kağıt üretimi, katma değer ve ekonomiklik açısından daha avantajlı görünmektedir. Temizleme işlemleri, pisliklerin ayrıştırılması ve mürekkep giderme gibi adımları içerir. Geri dönüşüm sürecinde, lifsel olmayan maddelerin ayrıştırılması için çeşitli temizleme yöntemleri kullanılır (Eroğlu ve Usta, 2004). Ayrıca, atık kağıtların geri dönüşümünde ofis atıkları beyaz hamur üretiminde önemli bir rol oynar. Mürekkep giderme işlemi, flotasyon, yıkama ve ağartma gibi tekniklerle gerçekleştirilir. Kağıt-Karton üretim sektörünün üretimde kullandığı hammadde miktarları Çizelge 1.3’de verilmiştir (SKSV, 2023).

Çizelge 1.3 Kağıt Sektörünün Kağıt-Karton Harman Bileşimi (ton)

	2018	2019	2020	2021	2022
Selüloz	1.147.799	1.109.041	1.141.021	1.191.454	1.402.904
Hurda Kağıt	3.149.677	3.387.384	3.627.052	3.815.092	3.794.427
Dolgu Maddeleri	119.500	115.200	117.400	123.550	125.476
Toplam	4.416.976	4.611.625	4.885.473	5.130.096	5.322.807

Hamur hazırlandıktan sonra kağıt üretimi, safiha oluşturma, presleme ve kurutma işlemlerini içerir ve üretilen kağıtlar daha sonra planlanan ebatlarda kesilir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Basit bir kağıt üretimi iş akışı

Kağıt üretimi, safiha oluşumu, presleme ve kurutma aşamalarından oluşur. Safiha oluşumu, hamurun bir sonsuz elek üzerine dökülüp vakumlar yardımıyla fazla suyunun alınmasıyla gerçekleşir. Pres partisi, fazla suyun alındığı ve kurutma öncesi hazırlandığı ıslak safiha bölümünü içerir. Kurutma safhasında ıslak parti, istenilen rutubet miktarına kadar kurutulur ve istenirse yüzey uygulama prosesi gerçekleştirilir. Bu işlemler, geleneksel Fourdrinier makineleri veya hızlı ve düşük gramajlı üretim yapan Gap Former makineleri kullanılarak yapılır.

Türkiye'deki kağıt sektörü, orta-ağır sanayi dalı olarak nitelendirilir ve düşük-orta teknoloji yoğun kategorisinde yer alır. Ülkenin kağıt üretimi kapasitesi zaman içinde artmış olup, son yıllarda geri dönüştürülen hurda kağıt miktarında da artış gözlemlenmiştir. Dünya genelinde kağıt-karton sektörü sürekli büyümekte olup, önümüzdeki yıllarda talebin artması beklenmektedir. Türkiye'nin kağıt-karton ticaretindeki yerine bakıldığında, ihracat ve ithalatında istikrarlı bir performans gösterdiği görülmektedir. 2021 yılında Sektörümüzde toplam geri dönüştürülen (ithal ve yerli) hurda kağıt miktarı 4.931.275 ton iken 2022 yılında %0.5 artarak 4.958.142 ton'a yükselmiştir. Türkiye' de kişi başına kağıt-karton tüketimi 2021 yılında 81.0 kg iken 2022 yılında %4.0 artarak 84.2 kg'a yükselmiştir. Türkiye'de atık kağıt geri kazanım oranlarının yıllara göre değişimi Çizelge 1.4' de gösterilmiştir (SKSV, 2023).

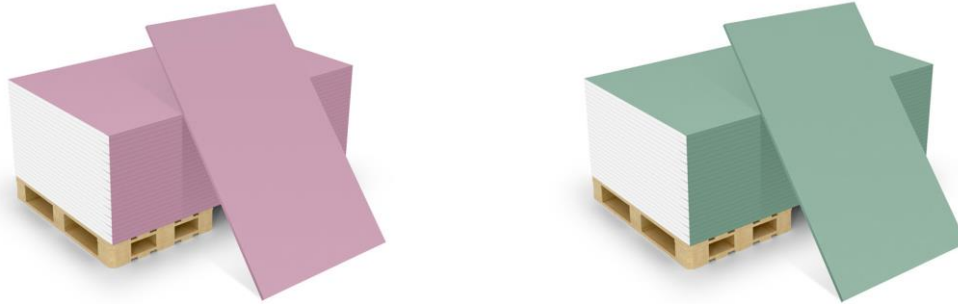
Çizelge 1.4 Türkiye'de Atık Kağıt Geri Kazanma Oranları

Yıllar	2018	2019	2020	2021	2022
Oran (%)	52.3	49.6	46.8	54.5	50.3

1.2. Alçı Levha

Kartonlu alçı levhalar, ilk olarak I. Dünya Savaşı döneminde askeri barakaların yapımında kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında metal kısıtlamalarıyla birlikte daha fazla kullanılmış ve metal üzeri sıvaların yerini almıştır. Türkiye'de 1989'da "Alçıpan" markası altında üretilmeye başlanmış ve üretilen alçı levhalar, estetik görünüm ve performansı etkileyen yüzey kağıtları ile dikkat çekmektedir (Koçak, 2010). Bu kağıtların dayanıklılık, düzgünlük, emicilik, boyutsal stabilite ve boyanabilirlik gibi özellikler taşıması beklenir. Özellikle ıslak hacim ve nemli ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan bazı alçı levhalar, su iticilik özelliği ve küf önleyici öz gibi özelliklerle donatılmıştır. Bu özellikler, alçı levhaların genel kalitesini ve performansını belirlemektedir (Knauf, 2022).

Duvar, asma tavan veya duvar giydirme yapımında kullanılmak üzere ana hammadde alçı olan iki tarafı kağıt veya karton kaplı olan levhalar, plakalar halinde üretilir ve genel adıyla alçı levha plakası olarak tanımlanmaktadır. Alçı levhalar hafif, yangına dayanıklı, yalıtkanlık özellikleri iyi, biçimlendirilmesi ve uygulanabilirliği kolay malzemelerdir. Bu özellikleri ile inşaat ve dekorasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Turan ve Kılıçkaya, 2016).



Şekil 1.3 Renklendirilmiş bazı ALK'ların görünümü

Şekil 1.3'de (Alçıbay, 2024) görüldüğü üzere ön ve arka yüzü mavi kağıt ile kaplanmış olarak üretilen alçı levhalar yangın ve su dayanımı, ses yalıtım özelliği artırılmış nitelikte olarak üretilmekte ve pazarlanmaktadır. Bunun yanında ıslak ortam ve nemli ortamda kullanılabilen su iticilik özelliği kazandırılmış alçı levhalar ön yüzü yeşil arka yüzü gri kağıt ile kaplanmış olarak üretilmektedir. İç mekanlarda kullanılmak üzere üst yüzey işlemi uygulanacak esnek ve hafif alçı levhalar üst yüzeyi fildişi arka yüzeyi gri

kağıt ile kaplanmış olarak üretilmektedir. Yangına karşı dirençli dayanım süresi arttırılmış, cam elyaf dolgulu olarak üretilen alçı levhalar ön yüzü pembe arka yüzü gri renkli kağıt ile kaplı olarak üretilmektedir.

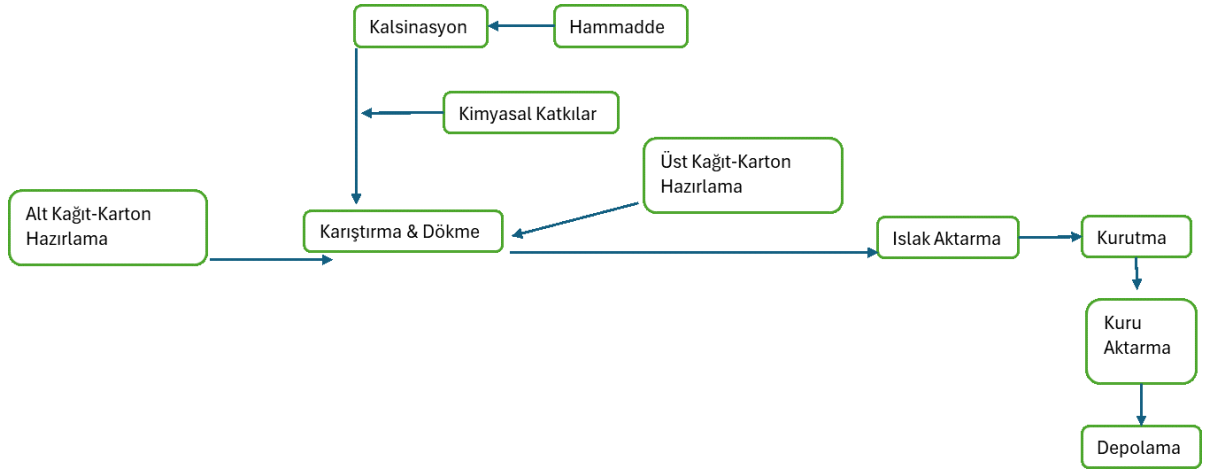
1.3. Alçı Levha Kullanımı Alanları

Alçı levhalar, asma tavan, bölme duvar, duvar giydirme, kuru sıva duvar kaplama, şaft duvarları gibi çeşitli alanlarda olmak üzere geniş kullanım yelpazesine sahiptir. Şekil 1.4'te (Talha, 2021) alçı levhaların kullanıldığı örnek bir oda çevirmesi gösterilmektedir.



Şekil 1.4 Alçı levha ile çevrilmiş bir oda

Aşağıda Şekil 1.5'de alçı levha üretimi iş akış şeması hakkında genel bir gösterim verilmiştir. Alçı taşının hammadde olarak kullanıldığı üretim hattında kalsinasyon işleminden sonra kimyasal katkıların ilavesiyle birlikte karıştırılan alçı akışkan halde alt kağıdın üzerine dökülerek serilir. Üst kağıdı ile kapatılarak şekillendirilir. Uzun bir şerit halinde ıslak aktarmadan sonra kurutma ünitelerinde kurutularak ebatlandırılır ve depolanır.



Şekil 1.5 Alçı levha üretimi iş akış şeması

TÜİK verilerine göre ülkemizde alçı levha üreten işletme sayısı 15 olup bu tesislerde 2021 yılında alçı levha üretimi yaklaşık 214 milyon metrekareye ulaşmıştır. Alçı levhaların her iki yüzeyine kağıt ve karton kullanıldığı için 428 milyon metrekare kağıt kullanıldığı düşünülebilir. Bu rakam yine TÜİK verilerine göre 2020 yılında 185 milyon metrekare olarak bildirilmiştir (TÜİK, 2022).

1.4. Radyasyon ve Zırhlama

Radyasyon, atomlardan dalga veya parçacık şeklinde yayımlanan bir enerji türüdür (Krane, 1998). Radyasyon, doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur (Tehwli ve ark., 1962; Knoll, 2002). Radyasyon zırhlama tasarımı, günümüzde insanları, ekipmanları ve yapıları radyasyonun zararlı etkilerinden korumak için önemli bir konudur. Radyasyon, nükleer mühendislikte, tıbbi tedavilerde, endüstride ve araştırma alanlarında çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Kararsız haldeki atom çekirdeği, çeşitli yollarla radyoaktif maddeler ortaya çıkarabilir ve çekirdeklerindeki nötronlar farklı ışımlar yaparak kararlı hale geçmeye çalışır (Lamarsh, 2001). Radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır (TAEK, 2010). Örneğin yiyeceklerde ve vücutta potasyum ve karbon izotopları gibi doğal olarak radyoaktif maddeler bulunabilir (Bora, 2001).

1.4.1. Radyasyon Çeşitleri

İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon çeşitleri aşağıda Çizelge 1.5’de verilmiştir (EPA, 2019). Gökyüzünden gelen kozmik radyasyon, yıldızların oluşumu ve ömrünü tamamlaması gibi çeşitli olaylarla oluşmaktadır. Kozmik radyasyonun dünyada bizi ilgilendiren şimdiye kadarki en büyük yayıcısı güneştir (Krane, 1998). Doğal

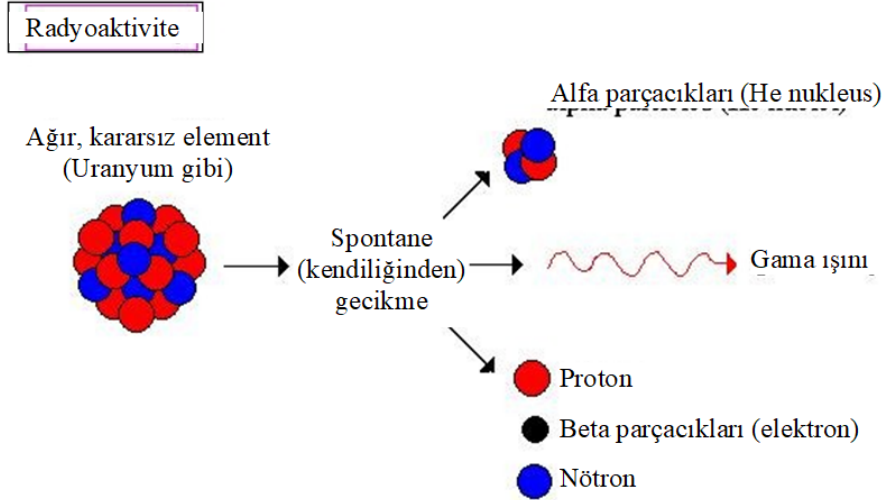
Radyasyon ise dünyanın kendisinden gelmektedir ve yerkabuğunda başlangıçtan beri var olan bozunmalar ve kozmojenik radyonüklitlerle oluşurlar. Uranyum ve toryum elementi milyonlarca yıldır azar azar bozunarak iyonlaştırıcı radyasyon yayarlar ve en sonunda, kararlı kurşuna dönüşürler (TAEK, 2010).

Çizelge 1.5 Radyasyon çeşitleri

İyonlaştırıcı Radyasyon		İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon
Parçacık Tipi	Dalga Tipi	Dalga Tipi
Alfa Parçacıkları Beta Parçacıkları Nötronlar	X- ışınları Gama Işınları	Radyo Dalgaları Mikrodalgalar Kızılötesi Dalgalar Görülebilir Işık

Nötronun keşfiyle birlikte, radyoaktif elementlerin yapay olarak oluşturulabileceği bulgusu, çekirdek fisyonunun keşfine öncülük etmiştir (Krane, 1998). Fisyonun keşfi, nükleer silahların yapılmasını sağladığı gibi, kontrol altında nükleer enerjiden yararlanmayı mümkün kılan nükleer reaktörlerin geliştirilmesine de yol açmıştır (Krane, 1998). Nükleer reaktörler sayesinde günümüzde birçok elementin radyoizotopları elde edilerek çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Doğal radyoizotoplar, ağır elementlerin kararsızlığı sonucu enerji yaymasıyla ortaya çıkar ve alfa, beta ve gama ışınları gibi çeşitli enerji salınımı tiplerine sahiptir. İzotoplar, atomların farklı nükleon ve elektron sayılarına sahip olmasına rağmen, aynı elementin kimyasal özelliklerini paylaşırlar ve doğal elementler genellikle izotop karışımları şeklinde bulunur. Bu izotopların bazıları kararlıdır, ancak radyoaktif olanlara radyoizotop denir (Uyar ve Gülsoy, 2003; Knoll, 2002; Şeker ve Çerezci, 1997; Önen, 1993).

Atom çekirdeklerinin proton sayısı nötron sayısına oranı, hafif elementlerde genelde 1 iken, ağır elementlerde nötronlar lehine artar ve bu durum çekirdeklerin kararlılığını bozar (Krane, 1998). Radyonüklit adı verilen bu çekirdekler, fazla nükleonları nedeniyle kararsızdır ve radyasyon yayarak enerji dengesini sağlamaya çalışırlar. Bu doğal veya yapay bombardıman sonucu çekirdeklerin parçalanmasına radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma denir (Şekil 1.6) (Sürücü ve Subaşı, 2021; Uyar ve Gülsoy, 2003; Krane, 1998).



Şekil 1.6 Radyoaktivite oluşumu

Bir atomun radyoaktivitesi atom parçalandıkça azalır ve bu azalma için geçen zaman atomun yarılanma ömrü olarak adlandırılır (Krane, 1998). Radyoaktif atomlar parçalandıkça proton nötron veya her ikisinin de kaybederek başka bir elemente dönüşür ve bu dönüşüm bir bozunma zinciri olarak bilinir (Anonim, 1986).

Radyasyon, maddesel ortamlarda yayılırken önüne çıkan atomlarla veya moleküllerle çarpışır ve sahip olduğu enerjiye göre maddeyi iyonlaştırabilir. İyonlaştırıcı radyasyon, içerisinde geçtiği ortamlarda iyonlar meydana getirdiğinden, yüksek enerjili bir gruptur ve temel olarak alfa, beta, gama, x ışınları ve nötronlardan oluşur (Knoll, 1979). Alfa, beta, gama, nötron ve x-ışınları, farklı özelliklere ve etkilere sahip radyasyon türleridir. Örneğin alfa parçacıkları sahip oldukları büyük kütlelerinden dolayı, hava da oldukça kısa bir mesafe kat ederler ve ince bir kağıt, her türlü giyecek ve insanın derisi alfa parçalarını soğurabilir (Krane, 1998). Beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre daha yüksek enerjili elektronlardır ve elektrona benzer şekilde davranır (Halliday ve ark. 2011). Diğer yandan yüksek iyonlaştırıcı olma özellikleri nedeniyle, bu ışınlar canlı dokular için tehlikelidirler (Turner, 2007). Gama ışınları elektromanyetik dalgalar içerisinde en yüksek giriciliğe sahiptir (Turner, 2003). X-ışınları ise gama ışınlarından farklı olarak atomun çekirdeğinden değil, çekirdeğin etrafındaki yörüngelerden yayınlanır (Martin, 2013).

1.4.2. Radyasyon Dozu

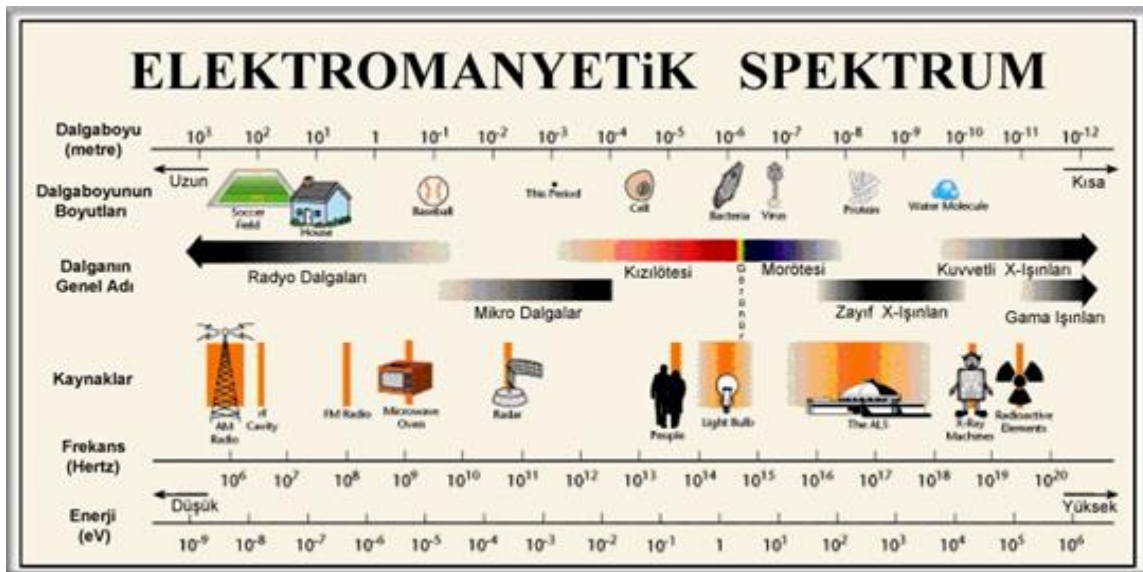
Radyasyon dozu, iyonize radyasyon parçacıkları tarafından ortama bırakılan enerjinin, birim kütle başına değerini ifade eden bir büyüklüktür (Krane, 1998). Soğrulan

doz ya da sadece doz olarak da kullanılır. SI birim sisteminde birimi gray (Gy)'dir. Gray, bir kilogram kütle başına, joule cinsinden ortama aktarılan enerjiyi ifade eder (Krane, 1998).

$$1\text{Gy}=1 \text{ J/kg}$$

Eskiden kullanılan CGS birim sisteminde birimi rad'dır. Rad Radyoaktif bir ışımaya maruz kalan 1 kilogramlık bir maddenin 10^{-2} joule'lük enerji soğurduğunda aldığı radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir. Ancak rad biriminin kullanımı yaygın değildir. Radyasyon dozu, makroskopik bir nicelik olup parçacık geçişine bağlı olarak ortamda sonradan meydana gelen mekanik değişimleri ya da hasarı tahmin etmede bir ölçü olarak kullanılır. Eğer fiziki ortam biyolojik bir materyal ise ya da canlı bir organizmanın doku ya da organları radyasyona maruz bırakılmışsa, hasarın tahmin edilmesinde radyobiyojik etkilerin de dikkate alınması gerekir (Tanır ve ark., 2013).

Radyasyon, içinde yayılım yaptığı ortama enerji transferi yaparak çeşitli etkileşimlere neden olur. Etkilenen unsurdaki enerji birikimi radyasyon dozu olarak isimlendirilirken, eğer etkilenen unsur canlı doku ise, istenmeyen biyolojik etkiler ortaya çıkabilir (Schimmerling, 2018). Soğurulan enerji aynı da olsa farklı tip radyasyon farklı miktarlarda biyolojik hasara neden olduğundan doz eşdeğeri tanımına ihtiyaç duyulur. Doz eşdeğerinin Uluslararası Birim Sistemleri'nde (SI) birimi Sievert (Sv)'dir (Oto ve ark. 2013). Aşağıda Şekil 1.7'de elektromanyetik dalga spektrumun algılama ve değerlendirme için verilen bir ilustrasyonu gösterilmektedir (Tüysüz, 2004).



Şekil 1.7 Elektromanyetik spektrum

1.4.3. Zırhlama (Soğurma)

İnsanların iyonlaştırıcı radyasyonla karşılaşma ihtimalinin yüksek olduğu alanlarda, radyasyon maruziyetini azaltmak için özellikle koruyucu malzemelerle koruma sağlanması gerekmektedir (Tanır ve ark., 2013). Zırhlama malzemeleri genel olarak kurşun, yüksek yoğunluklu beton vb. gibi materyallerden oluşmaktadır (Rwashdi ve ark. 2022). Sadece radyasyon için değil, diğer risk faktörleri için de tartışılan husus, sebep-sonuç ilişkisindeki bilinmezliktir. Radyasyonun kronik etkilerinin ihmal edilemeyeceği, Hiroşima, Nagazaki ve Chernobil nükleer santral kazalarının sonuçlarının gösterdiği gibi, radyasyonla çalışılan yerlerde akut etkilerin yanı sıra geç etkilerin de ciddiye alınması gereklidir (Algüneş, 2002). Yaşadığımız dünyada insanların maruz kalabileceği radyasyon dozları aşağıda Şekil 1.8’de gösterilmiştir (AFAD, 2023).



Şekil 1.8 Günlük yaşamda karşılaşılabilecek radyasyon dozlarından örnekler

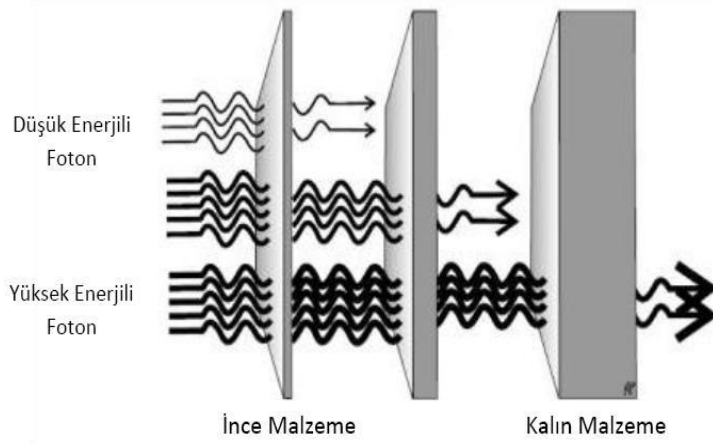
Radyasyon şiddeti (radyan enerji-akı yoğunluğu), belirli bir nokta için, o noktayı merkez kabul eden birim tesir kesitli bir küreye birim zamanda etki eden enerji olarak tanımlanmaktadır. Bir radyasyon zırhlama materyali, iyonlaştırıcı radyasyon kaynağından yayımlanan radyasyonu soğurarak radyasyonun çevreye yayılımını engelleyen veya azaltan mekanik bir bariyerdir. Çünkü radyasyon canlı hücre veya elektronik sistemler ile etkileştiğinde bu sistemlere zarar verebilir (Kaplan, 1989). Radyasyon bir maddeden geçerken çeşitli etkileşimlere sebep olmakta ve bunun sonucu olarak madde ile etkileşen radyasyon şiddetinde bir azalma meydana gelmektedir (Powsner ve Powsner, 1998). Verilen bir materyal ile birim yolda bir fotonun (γ) etkileşime girme olasılığı genellikle “Doğrusal Zayıflatma Katsayısı (Linear Attenuation Coefficient (LAC))” olarak

adlandırılır. Bu olasılık genellikle μ sembolü ile gösterilir (Kaplan, 1989). LAC, radyasyonun türüne, enerjisine, etkileşim türüne, etkileşime girilen materyalin kompozisyonuna, yoğunluğuna ve kalınlığına bağlıdır (Kaplan, 1989; Wood, 1982). Radyasyon kaynakları ile çalışılan ortamlarda zırhlama önem arz etmektedir. Çalışma koşullarını kaynakla geçirilen süre ve kaynak ile çalışan arasındaki mesafe olarak çalışma şartları belirlenmektedir. Bu koşullarda kaynakla çalışmaya müsaade edilen dozlar seviyesinde ortam için zırhlamayı zorunlu kılmaktadır. Şekil 1.9'da bir radyasyon çalışanın radyoaktif kaynak ile çalışırken uyması gereken kuralları göstermektedir (Erdoğan, 2020). Radyasyon zırhlamasındaki en etkin yöntem ise, genellikle tek bir malzeme yerine birden çok malzemenin bir kombinasyonunu kullanarak sağlanabilmektedir (Yıldırım, 2018).



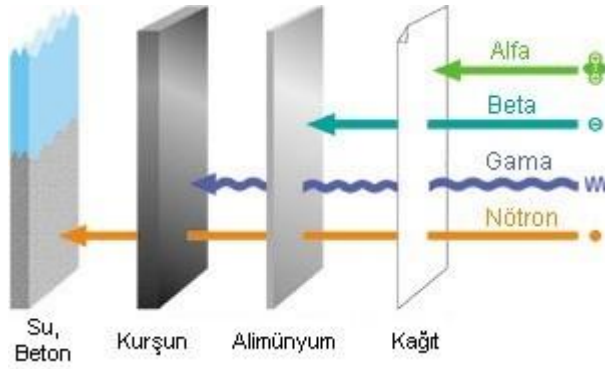
Şekil 1.9 Radyasyon çalışanlarının radyoaktif kaynak ile çalışırken uyması gereken korunma faktörleri

Zırhlama mantığı radyasyon kaynağı ile çalışan arasında radyasyonu soğuracak veya şiddetini azaltacak nitelikte olması ve konumlanması gerekmektedir (Powsner ve Powsner, 1998). Zırhlama yöntem ve malzeme seçimini belirleyen en önemli faktör radyasyon kaynağının cinsi ve enerjisidir. Farklı malzemelerin radyasyon geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Radyasyonun zararlı etkilerinin kabul edilebilir seviyelere indirgeyecek zırh kalınlıkları hesaplanmakta ve bileşim olarak kullanılan malzemelerin en verimli oranlarının soğurma katsayıları belirlenmektedir. Özellikle radyasyonun yoğun olarak kullanıldığı radyoloji gibi birimlerde bu malzemelerin kullanılması önemini daha da arttırmaktadır. Bu tip alanlarda genellikle radyasyondan korunmak için kursun ve ağır betonlar kullanılmaktadır (Akkurt ve ark. 2004).



Şekil 1.10 Farklı enerjili fotonların zırh kalınlık ilişkisi

Yukarıda Şekil 1.10'da enerjili fotonların soğurulmasında malzeme kalınlığının etkisi gösterilmektedir. Radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılacak malzemede bazı özellikler aranır. Öncelikle radyasyon zırhlama malzemesi olarak kullanılacak malzemenin hem radyasyon zırhlamaya hem de yapısal olarak kullanıma uygun malzeme olması gerekir. Malzemenin radyasyonu zayıflatma miktarı ve kalınlığı kullanıma uygun olmalıdır. Malzemenin radyasyon soğurma özelliğinin geçici olmaması kalıcı olması gerekir. Kolay bulunabilir, kolay işlenebilir, ekonomik olması, radyasyonun malzeme üzerindeki etkisinin minimum olması zırhlamada kullanılacak malzemede aranan bazı temel özelliklerdir (Tüysüz, 2004).



Şekil 1.11 α , β , γ ve nötron ışınlarının penetrasyon dereceleri

Radyasyonun insan sağlığına zararlı etkileri, X ışınlarının keşfinden sonra anlaşılmış ve konuyla ilgili literatür oluşturulmuştur (Shapiro, 2002). Yukarıda Şekil 1.11' de Alfa (α), Beta (β), Gama (γ) ve Nötron (X) ışınlarının farklı malzemelere göre giricilik (penetrasyon) özellikleri gösterilmiştir (Coşkun, 2010).

1.5. Radyasyon Zırhlamada Kullanılan Bazı Maddeler

Radyasyondan koruyucu materyaller, sağlık, endüstri ve nükleer enerji alanlarında yaygın olarak kullanılır. Bu malzemeler ya da mineraller, radyasyon türüne ve uygulama alanına göre seçilerek kullanılabilir. Bu malzemelerden bazıları;

- Grafit, özellikle nötron radyasyonu için kullanılan bir malzemedir. Nükleer reaktörlerde moderatör olarak görev yapar.
- Kurşun, yüksek yoğunlu ve atom numarası sayesinde etkili bir radyasyon soğurucusudur. X-ışınları ve gama ışınlarına karşı mükemmel bir bariyer sağlar.
- Polietilen, hidrojen içeriği yüksek olduğu için nötron radyasyonunu etkili şekilde soğurur. Nükleer reaktörlerde ve radyasyon koruma kıyafetlerinde kullanılır.
- Demir, özellikle gama ışınları ve X-ışınları için etkili bir radyasyon kaynağıdır.
- Poliboron, bor atomları içeren bir polimerdir ve nötron radyasyonuna karşı koruma sağlar. Nükleer reaktörlerde ve taşınabilir radyasyon kalkanlarında kullanılır.
- Çimento bazlı materyaller, içine kurşun veya barit gibi ağır metaller eklenerek radyasyon barınaklarında ve laboratuvarlarda kullanılır.
- Tungsten, yüksek yoğunluğu ve atom numarası sayesinde etkili bir radyasyon soğurucusudur. Özellikle yüksek enerjili radyasyon için kullanılır.
- Seramik malzemeler, içine çeşitli radyasyon soğurucu minerallerin eklenmesiyle radyasyondan koruma amacıyla kullanılabilir. Özellikle nükleer atık depolama kaplarında kullanılır.
- Bor, özellikle nötron radyasyonunu soğurmak için kullanılır. Bor bileşikleri nükleer reaktörlerde kontrol çubukları olarak yaygın olarak kullanılır.
- Barit (baryum sülfat), özellikle x-ışınları ve gama ışınları için yaygın olarak kullanılır. Barit minerali tıbbi görüntüleme cihazlarında ve radyasyon koruyucu yeleklerde bulunur.

Bu malzemeler farklı radyasyon türlerine karşı koruma sağlamak amacıyla çeşitli alanlarda kullanılabilecek bazı örneklerdir. Her malzemenin kendine özgü özellikleri ve kullanım alanları vardır. Zırhlama yöntem ve malzeme seçimini belirleyen en önemli faktör radyasyon kaynağının cinsi ve enerjisidir. Teorik olarak tüm malzemeler yeterli kalınlığa sahip ise radyasyon soğurmada kullanılabilir (Okuno, 2005). Günümüzde yapay

ya da doğal farklı minerallerin özgün özellikleri ya da hibritlenmesi ile malzemelerin radyasyon geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır.

1.6. Bu Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri

Bu doktora tez çalışmasında alçı levha kağıt ve kartonuna (ALK) radyasyon zırhlama özelliği kazandırılması için boraks, kolemanit ve uçucu kül dolgu maddeleri kullanılmıştır. Elde edilen ALK'larının radyasyon karşısındaki deneysel davranışlarının incelenmesi, teorik bağlamda ise XCOM (Ulusal Standartlar ve Referanslar Servisi - Ulusal Standartlar Bürosu (NSRDS-NBS) tarafından oluşturulan foton tesir kesiti kütüphanesi programı) bilgisayar programı ile irdelenmesi ve elde edilen sonuçlardan hareketle yeni bir radyasyon zırh malzemesi önerilmesi amaçlanmıştır.

ALK'larının boraks, uçucu kül ve kolemanit gibi radyasyona karşı etkin bileşiklerle bünyeden selüloz liflerine bağlanmasını sağlayarak üretilen kağıtların, alçı levha üretiminde kullanılmasının sağlanması ve bu alçı levhaların radyasyon soğurma özelliği yüksek yeni zırhlama materyali olarak kapalı mekan uygulamalarında kullanılmasıyla radyasyon etkilerinin azaltılması mümkün olacaktır.

Yapılan literatür araştırmalarında ALK'larında radyasyon soğurma etkinliği sağlayacak herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle bu doktora tez çalışması özgündür. Elde edilen sonuç ürün, radyasyon soğurma özelliği ile iç duvar örmelerinde kullanılan alçı levhaların radyasyonu soğurması sağlanarak, kapalı ortamların radyasyon etkileri azaltılacaktır, dolayısıyla insan sağlığına faydalı bir ürün olarak öne çıkacaktır. Ayrıca elde edilecek sonuçların literatüre kazandırılması ve kağıt karton sektörüne fayda sağlaması beklenmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bugüne kadar, radyasyon zırhlama malzemeleri hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, malzemelerin farklı özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar genellikle beton ve levhalar üzerinedir. Aranılan parametreler, malzeme ya da materyalin tasarım parametreleri, mekanik özellikleri ve radyasyon soğurma özellikleri olmuştur.

Kolemanit

Yalnızca Türkiye’de değil, dünya genelinde de Ar-Ge çalışmaları giderek artmaktadır. Endüstrinin talep ettiği ürünler bakımından, araştırmacılar doğal boratlardan kolemanit minerali (dikalsiyum hegzaborat pentahidrat, $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) üzerine yoğunlaşmıştır. Çünkü bu mineral, deterjanlar, dezenfektanlar, kozmetik ürünleri, gübreler, tarım ilaçları, fotoğrafçılık kimyasalları, cam, tekstil tipi cam elyafı, sır ve emaye kaplamaları, metalürjik cüruflar, nükleer santraller, mıknatıslar, süperiletken malzemeler, aşırı yüksek sıcaklık seramikleri, radyasyondan koruyucu malzemeler, alev geciktirici malzemeler, cam elyaf bazlı yalıtım malzemeleri, ahşap koruma malzemeleri, asfalt beton, borlu çimento, çimento betonu vb. birçok endüstriyel kullanım alanına sahiptir ve sahip olacaktır (Kutuk, 2017).

Kolemanit mineralinin ısı özelliklerini bilmek, endüstri açısından önemlidir. Kolemanit katkısı, malzemelerin ergime noktasını, viskozitesini ve ısıl genişlemesini azaltır. Böylece, malzemelerin ısıl direnci, mekanik dayanımı ve kimyasal stabilitesi artar (Akpınar ve ark., 2017).

Gençel (2009), kolemanitin beton agregası olarak kullanıldığı çalışmasında, 25 MeV foton enerjisi ve ortalama 4.5 MeV nötron ışınına karşı kolemanit dolgulu betonun zırhlama performansının nötronlara karşı daha etkili olduğunu bildirmiştir. Demir (2010), bor mineralleri olan tincal, ulexite ve kolemanitin kütle soğurma katsayılarını 59.54 keV enerjili ^{241}Am noktasal radyasyon kaynağı kullanarak deneysel olarak belirlemiş ve teorik hesaplamalar yapmıştır. Sonuç olarak, kolemanitin, üleksit ve tinkal’in foton ve nötron radyasyonlarının engellenmesi için zırhlama malzemesi olarak kullanıldığını bildirmiştir.

Demir (2010), barit, kolemanit ve normal agrega ile ürettikleri betonlar üzerinde ışınım transmisyon metodu kullanarak 6 ve 18 MV “X” ışınları üreten lineer hızlandırıcı (LINAC) ile radyasyon geçirgenliklerini belirlemek amacıyla ölçümler yapmışlar ve 13

ağır ve 4 normal beton için lineer soğurma katsayısı hesaplamışlardır. Kolemanit konsantrasyonu ile lineer soğurma katsayısının düştüğünü, barit konsantrasyonu ile yükseldiğini bildirmişlerdir. Korkut ve ark. (2010), hazırladıkları dört barit ve dört beton numunesine %0, %5, %10 ve %15 oranlarında kolemanit ekleyerek nötron doz geçişini mono-enerjik nötron kaynağı ($E_{eff} = 4.5 \text{ MeV}-^{241}\text{Am}-\text{Be}$) kullanarak ölçmüşler ve sonuçta kolemanit oranı arttıkça nötron doz geçiş değerinin düştüğünü bildirmişlerdir.

Mortazavi ve ark. (2010), kolemanit ve galena dolgulu ağır beton (CoGa) üretmişler ve ürettikleri bu betonun radyasyon zırh özelliklerini standart beton ile karşılaştırmışlardır. Co-60 gama ve Am-Be nötron kaynakları ile yaptıkları deneylerde, CoGa betonun Co-60 için yarı-değer kalınlığını 2.49 cm olarak ölçmüşler ve standart betona (6 cm) göre daha iyi zırh özelliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca CoGa betonun standart betona göre %10 daha iyi nötron zırh performansına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Yarar ve Bayülken (1994), kolemanit içeren zırhlama betonunun nötron zırhlama etkinliğini ve radyoaktivitesini araştırdıkları çalışmalarında, betona farklı oranlarda agrega olarak bor içeren kolemanit eklemiş, bu beton blokların basınç dayanımları ve nötron geçirimsizliklerini araştırmışlardır. Sonuçta, %10 oranında kolemanitin normal betona agrega olarak eklenmesi ile daha ince ve yüksek kalitede zırhlama malzemesi elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Yarar (1996), kolemanit içeren betonun aktivasyon karakteristiğini teorik olarak hesaplamış ve kolemanit içeren betonun aktivasyonunun daha hızlı olduğunu, bunun nedeninin kolemanitin H, O, Ca ve özellikle B içermesinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Cam lifinde hammadde olarak kullanılır. Esas olarak Türkiye’de yoğun olarak bulunmaktadır. Kolemanit kullanılarak nötron korumalı materyaller üzerine araştırmalar uzun yıllardır devam etmektedir (Okuno, 2005). Kolemanit, radyasyon zırh betonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2001).

Oto ve ark. (2013), değişik oranlarda barit ve kolemanit içeren beton numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada, ^{133}Ba (80.99 ve 303 keV) ve ^{241}Am (59.54 keV) radyasyon kaynaklarını kullanarak gama ışınlarının geçirgenliğini ölçmüşlerdir. Çalışma sonucunda, lineer soğurma katsayısının barit ve kolemanit oranının artmasıyla yükseldiğini bildirmişlerdir. Okuno (2005), %10 oranında bor oksit kullanarak ürettiği epoksi-kolemanit tabanlı yeni zırh malzemesinin pratik uygulama için daha uygun ve performanslı olduğunu vurgulamıştır.

Uçucu Kül

Uçucu kül ile gama radyasyonunun etkileşimi, geçmişte birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Bashter, 1997; Un ve Demir, 2013). Singh ve ark. (2003), uçucu külün yüksek derecede eklenirse gama ışınları için radyasyon soğurucu malzeme olarak kullanılabileceğini bildirmiştir. Catenacci (2021), uçucu kül peletleri ile yapılan çalışmada, yoğunluk ve ortalama doğrusal zayıflama katsayısı açısından karşılaştırmalar yapmış ve 1173.24 keV'de zayıflama ve malzeme yoğunluğunda doğrusal bir eğilim gözlemlemiştir. Ancak, 1332.50 keV'de doğrusal bir eğilim gözlememiştir. Bu tutarsızlık büyük olasılıkla, simüle edilmiş doğrusal zayıflama gibi temel bileşimden kaynaklanmamaktadır.

Yılmaz ve ark. (2011), 59.5 keV ve 662 keV enerjilerinde gama radyasyonları için değişik oranlarda hazırladıkları uçucu kül, silika dumanı ve yüksek fırın cürufu içeren 12 beton numunesinin lineer soğurma katsayılarını deneysel olarak belirlemiş, NXcom programıyla hızlı nötron soğurma tesirlerini hesaplamışlardır. Sonuçta, katkısız betonun hızlı nötronlar için daha iyi zırhlama yaptığını bildirmişlerdir.

Bor

Abdel-Aziz ve ark. (1995), bor karbür içeren düşük yoğunluklu kompozitlerin nötron zırhı olarak kullanımını araştırmış ve %57 bor karbür içeren kompozit örneğin direkt nötron akışını yaklaşık %85 oranında azalttığını gözlemlemiştir. Bor ve çeşitli bor bileşiklerinin elektromanyetik radyasyonu soğurma özellikleri birçok çalışmada incelenmiştir (Singh ve ark., 2002; Çalık ve ark., 2009; Demir, 2010; İçelli ve ark., 2011; Bootjomchai ve ark., 2012; Yasaka ve ark., 2014). Bu çalışmalarda, 59.54 keV, 356 keV, 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV enerjili gama ışınları kullanılmış ve XCom programı ile teorik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Bor, ısı nötronları soğurmada en etkin malzemelerin başında gelir. Bor dolgu malzemelerden en çok kullanılanları bor içerikli plastik malzemeler ve bor kaplanmış çeliktir (Rockwell, 1956). Bor elementi, periyodik cetvelde IIIA grubunda yer alır. Genelde bir ametal olarak kabul edilmesine rağmen, bazı metal özellikler de sergiler. Bor doğada eser miktarda bulunur, ancak büyük çoğunluğu bor okso bileşiklerini içeren kolemanit, üleksit, tinkal ve benzeri minerallerden elde edilir. Türkiye, rezerv açısından %73.2'lik pay ile dünya çapında zengin bor minerali yataklarına sahiptir (Eti Maden, 2013; Yunlu, 2016).

Erol ve ark. (2016), Wolfram karbür ve bor karbür içeren polimer kompozitler ile yaptıkları çalışmada, elde edilen kompozitlerin gama ışını uygulamalarına karşı koruma adayı olabileceğini ve yüksek enerjili gama ışınlarına karşı etkinliklerinin kurşuna göre daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Kharita ve ark. (2011), üç çeşit ticari bor bileşiğini (borik asit, borik frit ve boraks) iki farklı betona katkı olarak eklemişler ve betonların radyasyon zırh özelliklerine bu katkıların etkisini incelemişlerdir. Ağırlıkça %0.5-1 borik asit (H_3BO_3) ve borik frit katkısının çimentonun yapısına zarar verdiğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan, ağırlıkça %1'e kadar boraks ($Na_2B_4O_7$) katkısının beton yapısını ve dayanımını etkilemediğini, bunun yanında gama zayıflatma performansını %80 oranında artırdığını belirtmişlerdir.

Demir ve Keleş (2006), farklı oranlarda atık boru klinkere ilave ederek elde ettiği çimento ile ürettiği betonlardan Si(Li) dedektör ile yaptıkları ölçümlerde, 59.54 ve 80.99 keV gama ışınının transmisyonunu araştırmışlardır. Çimentoya atık bor ilavesinin bu doz için etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, beton numunelerinde bor konsantrasyonunun yükseldiği durumda, kütle soğurma katsayısının da yükseldiğini bildirmişlerdir. Radyasyon geçirgenliğinde, iki farklı atığın da hemen hemen aynı özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalık ve ark., (2009) yaptığı çalışmada, bor ve bor kaplı bazı çelik malzemelerin radyasyon soğurma özellikleri incelemiş ve borlanmış çelik malzemelerin radyasyon soğurma kabiliyetlerinin arttığını bildirmişlerdir.

Akkurt ve ark. (2013), bor mineralinin nötron tutuculuğuna etkisini araştırdıkları çalışmada, farklı oranlarda bor ile kaplanmış olan penye ve alpaka türü kumaşların nötron tutuculuk özelliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Kaplama içerisindeki yükselen bor oranı ile artış gösteren soğurma katsayısı, kumaşın türüne göre penyede daha yüksek bir sonuç vermiştir.

Tüm yeni malzemelerde olduğu gibi, radyasyon direnci veya koruyucu olarak kabul edilen malzemelerin, geleneksel seramiklerden veya ağır metaller içeren ürünlerden farklı olarak ucuz, toksik olmayan, kolay işlenebilir ve hafiflik gibi özelliklere sahip olması beklenir. BN ve B_4C , son zamanlarda gama radyasyonu çalışmalarında sıklıkla kullanılan toksik olmayan, hafif ve kolay erişilebilir inorganikler olarak görülmektedir (Chidiac ve ark., 2021; Kim ve ark., 2022).

Kharita ve ark. (2010), yaptıkları çalışmalarda radyasyon zırh betonlarına bor bileşikler katkısının radyasyon zırhlamasına etkisini araştırmışlardır. Deneylerde Cs-137

gama radyoizotop kaynak ve Am-Be nötron kaynağı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, 100 cm kalınlığında ve ağırlıkça %1 bor dolgulu betonların bor katkısız betonlara oranla %80 daha iyi radyasyon zırlaması yaptıklarını bildirmişlerdir .

Yiğit (1996), çalışmasında kağıt, ekonomik ve endüstriyel olarak kolayca kullanılabilir ve yüksek selüloz ($C_6H_{12}O_5$) içeriği nedeniyle tercih edilen bir malzemedir; ancak, tek başına zırh malzemesi olarak yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, nötronları etkili bir şekilde zayıflatan bor elementi gibi katkı maddeleri kullanılarak yeni bir zırh malzemesi geliştirilmiştir. Bor elementinin yüksek nötron yutma tesiri ve düşük gama enerjisi yayımı, kağıt ile iyi bir zırh malzemesi oluşturmasını sağlamıştır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında, sadece kağıt malzemesi kullanılarak nötron sayımları yapılmış ve en fazla soğurma sağlayan zırh kalınlığı belirlenmiştir. Aynı veya daha fazla zırlama etkisini, daha az kalınlıkta malzeme kullanarak elde etmek amaçlanmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış zırh malzemelerinin sayımları alınarak ideal zırh kalınlığı belirlenmiştir. Kağıda eklenen borik asidin nötron zırlama yeteneği kullanılarak daha ince bir zırh malzemesi geliştirilmiştir. Düşük konsantrasyonlarda borik asit kullanılarak daha ince kağıt ile etkin bir zırh malzemesi üretilebileceği gösterilmiştir.

Alçıpan ile asma tavan, bölme duvar, kuru sıva ve kuru yer döşemesi uygulamaları yapılmaktadır. pH değeri insan vücuduyla aynı olduğu için bakteri üretmez. Hızlı ve kolay montaj sayesinde işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Esnektir, deprem sarsıntılarında esneyebilen yapısı sayesinde patlama ve yıkılmaya karşı dayanıklıdır. Isı ve ses yalıtımı sağlar, gözenekli yapısı sayesinde ses ve ısı iletimini düşürmektedir (Talha, 2021) .

Radyasyonun insan sağlığına olumsuz etkilerinin olabilmesi, bu etkilerin bilinmesini gerektirmektedir. Öte yandan, radyasyonun malzeme özellikleri üzerinde de farklı ve çoğu kez istenmeyen etkileri söz konusudur. Dolayısıyla, radyasyonun madde ile etkileşimi ve malzemenin radyasyon karşısındaki davranışı nükleer mühendislik açısından önem arz etmektedir (Göksel, 1973) .

İ.T.Ü (1977), radyoaktivite ve radyasyonlar yazısında, nötronların hafif elementlerle yaptıkları çarpışmalarda daha fazla enerji kaybettiğini bildirmiştir. Uranyum-238 ile çarpışan nötron enerjisinin %2'sini, karbonla çarpışan nötron en fazla %28'ini ve hidrojen ile çarpışan nötron tüm enerjisini kaybeder olarak bildirilmiştir.

Radyasyonun malzeme ile etkileşmesinin incelenmesi, radyasyondan korunmak için gerekli malzeme seçimi açısından da oldukça önemlidir. Bu bağlamda, nükleer teknolojiye

radasyonun olumsuz etkilerinden korunmak için farklı amaçlarla kullanılabilecek malzemelerin ve alaşım elemanlarının araştırılması ve geliştirilmesi de önemli bir husustur (Shultis ve Faw, 2012) .

Gelişen teknoloji ile endüstride malzeme kullanımı da ilerlemiştir. Malzemeler sahip oldukları özelliklerine göre endüstride kullanılmaktadır. İlerleyen teknoloji ile malzemelerin tek başına sahip oldukları özellikler malzemelerin kullanımında yeterli kalmama durumuna gelinmiştir. Bu bağlamda, farklı malzemeler bir araya getirilerek malzemelerin farklı amaçlar için kullanımı geliştirilmektedir. Kompozit malzemeler olarak adlandırılan bu malzemeler bir araya getirildiğinde, kendilerini oluşturan malzemelerin sahip olduğu özelliklerden daha gelişmiş özelliklere sahip olmaktadır (Şahin, 2006) .

Kurşunun insan sağlığına ve çevreye verdiği potansiyel uzun vadeli zarara ilişkin artan endişelerle birlikte, kurşun bazlı malzemelerin ikamesi olarak hafif, esnek, uygun maliyetli ve toksik elementler içermeyen radyasyon koruyucu malzemelere yönelik artan bir talep vardır (Oğul ve ark., 2022; Özdemir ve ark., 2023). Radyasyona karşı yeterli koruma sağlamak için, kurşun bazlı koruyucu malzemeler toksik olmayan kompozitlerle değiştirilmelidir (Barr ve ark., 2011; Abualroos ve ark., 2023). Günümüzde yenilikçi nükleer uygulamalar çalışmalarında iki tip radyasyon çeşidi ya da ışın kaynağı kullanılmaktadır. Bunlardan biri gama ışıması yapan kobalt-60 veya sezyum-137 gibi radyo izotoplar, diğeri yüksek enerjili elektronların üretildiği hızlandırıcılardır (Taner, 2018).

Sakurai ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada metatez-polimer matriks kullanarak nötron zırhlamasında kullanılabilecek bir malzeme geliştirmişler. Ürettikleri malzemenin (metathene) nötron zırh özelliklerini saf hali ve farklı oranlarda 6LiF ve B_4C katarak elde ettikleri malzemelerin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. 6LiF dolgulu metathene malzemenin diğerlerine nazaran daha iyi nötron zırhlaması sağladığını belirtmişlerdir.

Akkurt ve ark. (2005) barit (BaSO_4) ile ürettikleri betonları gama radyasyonu için zırhlama malzemesi olarak çalışmışlar, değişik hacimlerdeki baritlerden dolayısıyla farklı yoğunluk ve agregadan oluşan betonlar hazırlamışlardır. Xcom programıyla hesapladıkları kütle soğurma katsayılarını 0.66 ve 1.25 MeV enerjilerde yaptıkları deneysel sonuçlarla ve normal betonla karşılaştırmışlardır. Hem teorik hem de deneysel sonuçlara göre barit yüklü betonların radyasyona karşı yapı inşasında kullanımını önermişlerdir.

Esen ve Yılmaz (2011) çalışmasında normal agrega yerine, farklı miktarlarda barit agregası kullanmış, ürettikleri ağır betonların, “X” ışını ve radyoizotop enerji soğurma kapasitelerini araştırmışlardır. Araştırmada söz konusu betonların yoğunluk, kalınlık-enerji varyasyonlarını 85 keV, 118 keV, 164 keV, 662 keV and 1250 keV enerji seviyelerinde belirlemişler ve sonuç olarak daha yüksek barit içeren betonların daha yüksek yoğunluğa ve enerji soğurma kapasitesine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Akkurt ve Akyıldırım (2012), pomza agregası ile ürettikleri beton numuneleri üzerinde 662, 1173 ve 1332 keV foton enerjilerinde, radyasyon zırhlama özelliklerini test etmek için yaptıkları foton zayıflatma katsayıları ölçüm sonuçlarını, Xcom programıyla yaptıkları teorik hesaplamalarla karşılaştırmışlardır. Ayrıca, elde ettikleri sonuçları, pomzanın radyasyon zırhlamadaki etkisini görmek için, normal beton ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta pomza agregalı lineer soğurma katsayısının hem deneysel ölçümlerde hem de teorik hesaplamalarda normal betondan düşük olduğunu ve pomzanın radyasyon zırhlama anlamında ideal sonuçlar vermediğini bildirmişlerdir.

Günther ve ark. (2015), çalışmasında selüloz liflerini taşıyıcı olarak kullanmış ve baryumsülfat, baryumtitanat ve bizmutoksit gibi düşük toksisiteye ve yüksek absorpsiyon katsayılarına sahip inorganik emici parçacıklarla karıştırmıştır. Sonuç olarak x-ışını absorpsiyon özelliklerine sahip tekstil üretimi mümkün olmuştur.

Tüfekçi ve Çakır (2017), ultra yüksek performanslı çimento esaslı ağır kompozit malzemelerin radyasyon zırhlama özelliklerinin araştırılması konulu çalışmasında, farklı agregalar ve karışım parametreleri ile üretilen ultra yüksek performanslı çimento esaslı kompozit (UHPC) malzemesinin mekanik, mekanik ve radyasyon zırhlama özellikleri incelenmiştir. UHPC malzemesinin üretiminde, radyasyon zırhlama özelliği olan ağır agregalar kullanılmıştır. Deneysel çalışma, 3 farklı su/bağlayıcı oranı, 3 farklı çelik lif içeriği, 3 farklı agrega tipi ve 2 farklı kür uygulaması olmak üzere 4 farklı parametre ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen UHPC serilerinde; reolojik özellikler, mekanik özellikler ve radyasyon zırhlama performansı değerlendirilmiştir. Çalışma, radyasyon zırhlama performansı geliştirilmiş UHPC malzemesinin önemli bir zırh malzemesi olabileceğini göstermiştir.

Karadoğan ve ark. (2021), çalışmasında farklı Ni tabanlı alaşımlar kullanarak gama ve X-ışını radyasyonu zırhlama özelliklerini incelemiş ve karşılaştırma yapmıştır. WinXCOM programı kullanılarak γ ve X ışını zırhlamada önemli parametreler olan kütle

soğurma katsayısı (μ_p), yarı kalınlık değeri (HVL), etkin atom numarası (Z_{eff}), elektron yoğunluğu (Nel) 1 keV- 100 GeV enerji aralığında üzerinde çalışılan süperalaşımlar için hesaplamıştır.

Cao ve ark. (2020) çalışmasında, ağırlıkça %0-44.0 bizmut trioksit (Bi_2O_3) hızlı ultraviyole (UV) kütleme yöntemi ile üretmiş, Bi_2O_3 eklentili PMMA kompozitlerinin gama koruma kabiliyetini önemli ölçüde geliştirmişti. Kütle zayıflama katsayısı ve yarı değer katmanı beş gama kaynağı (Cs-137, Ba-133, Cd-109, Co-57 ve Co-60) kullanarak inceledi. Eklentili PMMA numunelerinde mikro sertliği saf PMMA'nın yaklaşık yedi katına çıkarmıştır. Bu geliştirmeler ile PMMA/ Bi_2O_3 Kompozitler umut verici gama koruyucu malzemeler olarak bildirmişlerdir.

Al-Sarray ve ark. (2017), NaI (TI) dedektörleri NaI(Tl) kristalinden yapılmış bir radyasyon dedektörüdür olarak tanımlamıştır. Bu dedektörler, yüksek verimlilikleri nedeniyle gama spektroskopisi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır .

Kuluöztürk ve Demir (2019), NaI(Tl) dedektörleri, enerji çözünürlükleri ve zaman çözünürlükleri açısından iyi performans gösterirler NaI(Tl) dedektörleri, nükleer tıp, radyo kimya, nükleer fizik, nükleer silah kontrolü, arkeoloji, jeofizik, çevre koruma ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır .

Körpınar ve ark. (2020), tungsten oksit kompozitleri 80°C'de hazırlandı ve gama ışını zayıflama katsayıları NaI(Tl) sintilasyon detektörü kullanılarak ölçmüştür. Tüm kompozitlerin lineer zayıflama katsayıları da kompozitlerin elementel analizleri dikkate alınarak XCOM programı ile teorik olarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. İletim parametreleri yarı değer katmanı (HVL), onuncu değer katmanı (TVL) ve ortalama serbest yol (MFP) değerlerini elde etmiştir. Elde edilen verilere göre yüksek doğrusal zayıflama katsayısı ve düşük kalınlıkta absorpsiyon elde etmiştir.

Bu çalışmalar, kolemanit, uçucu kül ve boraks içeren malzemelerin, radyasyon zırhlama alanında önemli potansiyele sahip olduğunu ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceğini göstermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu doktora tez çalışmasında, atık kağıtların geri dönüştürülmesiyle elde edilmiş farklı oranlarda boraks, uçucu kül ve kolemanit dolgulu ALK'ların radyasyon karşısındaki davranışları incelenmiş ve farklı radyasyon tiplerine karşı soğurma etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Hammadde olarak, atık ofis kağıtları, magazin kağıtları, oluklu mukavva ve karton kağıtları kullanılmıştır. Selüloz tek başına radyasyon soğurmayan bir madde olup, zırhlama özelliklerini artırmak için kolemanit, uçucu kül ve boraks kullanılmıştır.

Boraks ($\text{Na}_2 \text{B}_4 \text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2 \text{O}$)

Bor mineralleri başlıca ABD, Türkiye, Arjantin, Rusya ve Çin'de bulunur. Türkiye, dünya bor rezervlerinin %73 gibi büyük bir kısmına sahiptir ve önemli bir bor üreticisidir. hayatımızı direk olarak etkileyecek bir şekilde mutfak eşyalarından silah sanayine, tarımdan mikrocerrahi alanına kadar yaklaşık 400 değişik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Çalık ve ark., 2009). Doğada element olarak bulunmayan bor, oksijenli bileşikler olarak bulunabilmektedir. Bor yataklarından çıkarılan başlıca bor türevleri Kolemanit, Pandemit ve Boraks'dır.

Boraks yarı iletken özelliklere sahip amorf veya kristalin yapıda bulunabilir.

Bu çalışmada kullanılan boraks (Boraks Dekahidrat (disodyum tertaborate dekahidrat, CAS: 1303-96-4 / EC: 215-540-4). $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ETİMADEN şirketinden temin edilmiştir.

Kolemanit (Kalsiyum Borat Cevheri, $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Türkiye, dünya kolemanit üretiminde lider konumda olup, bu mineralin ticaretinde önemli bir rol oynamaktadır. Bazı inşaat malzemelerinde katkı malzemesi olarak kullanılır. Renksiz, beyaz, gri veya sarımtırak olarak bulunabilirler. Kolemanit, yüksek bor içeriği nedeniyle nötron radyasyonuna karşı etkili bir bariyer oluşturur. Nükleer reaktörlerde, nötron akısını kontrol etmek ve nötronları soğurmak amacıyla borik asit veya bor karbür kullanılırken, kolemanit de potansiyel bir nötron soğurucu olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada kullanılan kolemanit ETİMADEN şirketinden temin edilmiştir.

Uçucu Kül

Uçucu kül, kömürün yanması sonucu ortaya çıkan ince partiküllerdir. Termik santrallerde kömür yakıldığında oluşan külün bir kısmı, yanma gazlarıyla birlikte bacadan dışarı atılır ve bu partiküller, elektrostatik veya mekanik filtreler kullanılarak tutulur. Bu toplanan kül, uçucu kül olarak adlandırılır. Uçucu kül, silika (SiO_2), alümina (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3), kalsiyum oksit (CaO) ve magnezyum oksit (MgO) gibi bileşenler içerir. Genellikle ince taneli, gri renkli ve cam yapısındadır. Partikül boyutu genellikle 1-100 mikron arasında yoğunluk yaklaşık $2.1 - 2.6 \text{ g/cm}^3$ değişmektedir.

Uçucu kül, nötron radyasyonunu doğrudan soğurma kapasitesine sahip olmamakla birlikte, içeriğindeki bazı bileşenler (örneğin demir oksit ve kalsiyum oksit) nötron moderatörü olarak işlev görebilir. Yüksek yoğunluğu ve mineral içeriği sayesinde gama ve X-ışınlarını soğurma kapasitesine sahiptir.

Bu çalışmada kullanılan uçucu kül, Kahramanmaraş Kağıt Sanayi A.Ş. enerji üretim santralinden temin edilmiştir.

Deneylerde, çeşitli yüzdeliklerde boraks, uçucu kül ve kolemanit test kağıtların üretiminde kullanılarak radyasyona maruz bırakılmış ve NaI(TI) dedektörü ile ölçümler yapılmıştır. Gama ışını kaynağı olarak kobalt-60 (Co-60) ve sezyum-137 (Cs-137) radyoizotopları kullanılmıştır. Bu çalışmada 2 katmanlı ALK üretimi yapılmıştır. Üst katın üretiminde %50 atık ofis kağıdı ve %50 magazin kağıdı kullanılmıştır. Alt katın üretiminde %100 Oluklu mukavva kağıt ve kartonu kullanılmıştır. Deneysel olarak yürütülecek olan bu çalışmada çeşitli yüzdeliklerde (% 0, 5, 10, 20) boraks, uçucu kül ve kolemanit, test kağıtlarına bünyeden uygulanmış ve elde edilen dolgulu kağıt-karton ve kontrol kağıtları, önce mekanik ve optik testleri daha sonra hazırlanan deney düzeneğinde radyasyon testleri NaI(TI) dedektörü ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada Kahramanmaraş kağıt fabrikasından temin edilen atık ofis kağıtları, magazin kağıtları ve atık oluklu mukavva kağıt ve kartonları kullanılmıştır. Çalışma Kahramanmaraş Kağıt Fabrikası Araştırma ve Geliştirme Merkezi laboratuvarlarında, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Orman Ürünleri Kimyası Ve Kağıt Laboratuvarlarında ve Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, ÜSKİM (Üniversite-Sanayi-Kamu İş birliği Geliştirme, Uygulama ve Araştırma Merkezi) birimi fizik laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.2. Alçı Levha Kağıt ve Kartonlu Üretimi

Çalışmada kullanılan, üst kat kağıtları Association of the Deinking Industry (INGEDE) Metot 11, p-5.5 standardına uygun olarak üretilmiştir. Alt kat kağıtları üretiminde %100 atık oluklu mukavva ve kartonları ve üst kat üretiminde kullanılan %50 atık ofis kağıdı ve %50 magazin kağıdı (Şekil 3.1) gösterilmiştir. Atık kağıt geri dönüşümde hamur hazırlama işlemleri pulperde gerçekleştirilmektedir. Pulperler atık kağıtların tekrar kağıda geri dönüştürülebilmesi için su içerisinde liflerine dönüştürüldüğü yerdir. Pulperler %20 ve daha düşük kuru madde oranlarında mekanik etki ile su-atık kağıt karışımına mekanik olarak makaslama uygulamasıyla kağıdın hidrojen bağlarını koparması liflerine ayırmasına dayanmaktadır. Çalışmada kullanılan laboratuvar ekipmanları Şekil 3.2 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Bu çalışmada kullanılan atık ofis ve magazin kağıtları ve atık oluklu mukavva kağıt ve kartonları



Şekil 3.2 Hamurlaştırma ve kağıt üretim işlemlerinde kullanılan Laboratuvar ekipmanları (1. Helico tip yüksek yoğunluklu pulper, 2. Hollander, 3. Dispersiyon, 4. Rapid Köthen el yapımı kağıt basma makinesi)

Aşağıda Çizelge 3.1’de hamurlaştırma işleminde kullanılan Helico tip yüksek yoğunluklu pulpere ait teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1 Helico pulperin teknik özellikleri

Elektrikle cıdarlı ısıtma		
Devir hızı (d/dk)	Yavaş devir 1.kademe	550
	Hızlı devir 2.kademe	1000
Bıçak	Çift kademeli döner gül yaprağı bıçak	
Kapasite (lt)	20	
Sıcaklık (°C)	55	

Elde edilen hamur süspansiyonunda, iletkenlik, katyonik ihtiyacı, pH değerleri ölçümü yapılarak işletme çalışmalarına uyum ve standartlaşma çalışması yapılmıştır. Bu sayede tüm örnekler aynı hamur süspansiyonu örneklenmesi ve üretime uygunluk açısından çalışmayı desteklemektedir. Kahverengi alt kağıdı üretiminde %100 atık oluklu mukavva ve kartonları kullanılmıştır. Atıkların hammadde olarak kullanılmasında olumsuz

etki olarak görülen atık içeriğinde önceki üretimden kalan, kullanım sırasında ve dış etkenler ile atık kağıt bünyesinde bulunan lifsel olmayan nişasta, dolgu malzemeleri ve istenmeyen kirlilikler, hamur süspansiyonunda hamur özelliklerini etkilemektedir. Uygun olmayan bu maddeler süspansiyonda anyonik kirliliğe neden olmakta ve dolayısıyla bu kirlilikler lifler arasına girerek liflerin bağ yapma özelliğine engel olmaktadır.

Kimyasal, mekanik ve atık kağıt hamurlarında hem çözülebilir hem de çözülmeyen anyonik kirleticilerin yüksek miktarı, koagülantlarla kağıt üretim ıslak sonunu nötralize etmede güçlükler meydana getirmektedir (Tutuş, 2010). Aşağıda Çizelge 3.2 ‘de ALK’ları alt tabaka kağıdının üretiminde kullanılmak üzere hazırlanan hamur süspansiyonun kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kağıt üretimi için kullanılacak hamur süspansiyonun kimyasal özellikleri

Kullanılan Atık Kağıt Türü	İletkenlik (ms/cm)	pH	Yük (meq/L)	Zeta Potansiyel (mV)	Dolgu Oranı (%)	Hamurun Serbestlik Derecesi (⁰ SR)	
						Pulper Çıkışı	Hollander Çıkışı
%100 Atık Oluklu Mukavva Kartonları	0,113	7,3	150	-0,6	2,9	22	35

3.2.1. Üst-Örtü kağıdı hamurlaştırma işlemi

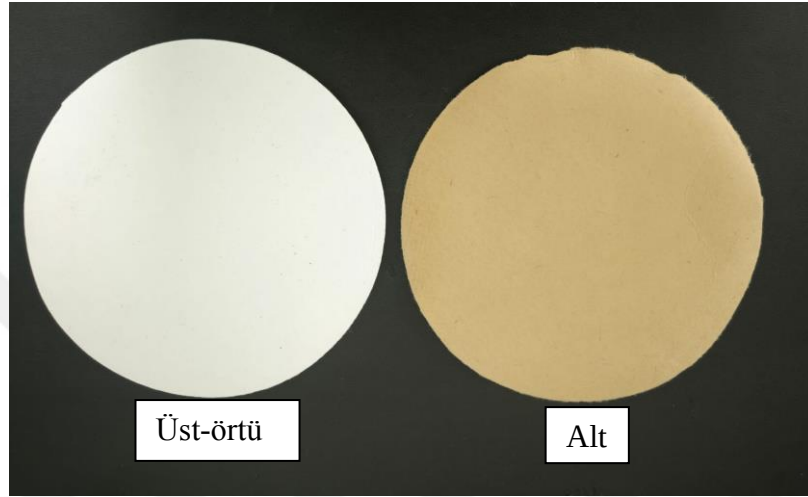
Çalışmada kullanılacak olan üst-örtü beyaz kağıtlar için üretilecek olan hamur süspansiyonuna literatüre uygun hamurlaştırma ve ağartma işlemleri uygulanmıştır. Bu kapsamda hamurlaştırma işlemleri için ön ıslatma sonrası pulper içerisine INGEDE Metot 11, p-4.2’ye göre aşağıda Çizelge 3.3’te verilen kimyasallar ilave edilmiştir.

Çizelge 3.3 Hamurlaştırma işleminde kullanılan kimyasallar ve oranları

INGEDE Method 11	Kullanılan kimyasallar		% (Tam kuru atık kağıt ağırlığına oranla)
	Sodyum hidroksit (NaOH)		
	Sodyum silikat (Na ₂ SiO ₃)		
	Oleik asit (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)		
	Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂)		

Hamurlaştırma işlemi sırasında atık kağıtlar içerisindeki lifler arasında bulunan doğal hidrojen bağları zayıflatılarak liflerin şişirilmesi, lifler üzerindeki mürekkeplerin sökülmesi

ve dağıtılması için NaOH, lifler üzerindeki mürekkep parçacıklarının gevşemesi ve tekrardan liflerin üzerine birikmesini engellemek ve mürekkep parçacıklarının dispersiyonunu arttırmak için Na_2SiO_3 , liflerden sökülen mürekkep parçacıklarını yakalayıp yüzeye taşınması işlemleri için oleik asit ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$) ve liflerin sararmadan beyazlatılması için de H_2O_2 kullanılmıştır. Talk ise atık kağıtlarda bulunan büyük boyutlu kirliliklerin (rejectlerin) ve yapışkanların (sticky) uzaklaştırılması amacıyla kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.3 'te örnek kağıt üretimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3 El yapımı kağıt makinesinde üretilen üst örtü ve alt ALK örnekleri

3.2.1.1. Depolama işlemi

Pulperden hamurlaştırma işlemi sonrası alınan %50 atık ofis kağıdı ve %50 magazin kağıdı hamur karışımı, aşağıda Çizelge 3.4' de verilen koşullarda su banyosunda depolanmıştır. Depolama koşullarında bekletilen kağıt hamurları bir sonraki aşama olan flotasyon (yüzdürme) hücrelerine aktarılmıştır.

Çizelge 3.4 Depolama koşulları

Konsantrasyon (%)	5
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	40
Süre (dk)	60

Depolama işleminin amacı, %50 atık ofis kağıdı ve %50 magazin kağıdı karışımının hamurlaştırma işlemi sonrası şişirilen lif yüzeyinden mürekkep parçacıklarının daha verimli bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamak ve aynı zamanda hamurlaştırma işleminde sisteme ilave edilen kimyasalların bir sonraki aşama için işlem etkinliğini

artırmaktır. Aşağıda Şekil 3.4’te depolama işlemlerinde kullanılan çalkalamalı özellikli su banyosu gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Depolama işleminde kullanılan su banyosu

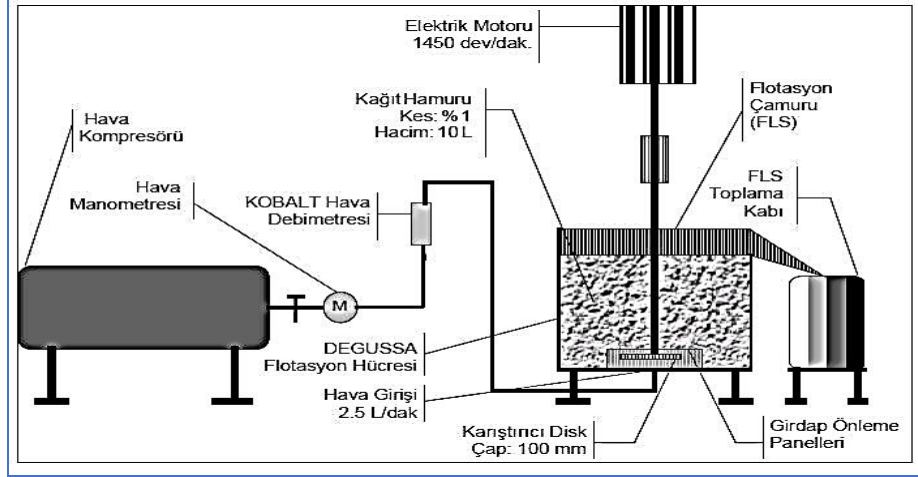
3.2.1.2. Flotasyon (Yüzdürme)

Mürekkep giderme, atık kağıt geri dönüşüm sürecinde pulperden sonra önemli olan bir diğer aşamadır. Mürekkep gidermede amaç, istenilen optik özelliklerde ve çıplak gözle görülmeyen mürekkep parçacıkları içermeyen kağıt ve karton üretilmesidir ki bu da 30-80 μm büyüklüğündeki mürekkep parçacıklarının hamur süspansiyonundan uzaklaştırılmasını gerektirmektedir.

Flotasyon işlemi çok basit bir faz ayırma işlemi gibi gözükse de aslında birçok faktörden etkilenen karmaşık ve olasılığa dayalı bir prosestir. Bu faktörler, mürekkep parçacık miktarı, boyutu, şekli, yoğunluğu, yüzey kimyası ve kümelenmesi, hava kabarcık tipi, sayısı, boyutu, yüzey kimyası ve yapısı, karıştırma şekli, şiddeti, süresi ve en önemlisi proses şartlarıdır. Flotasyon işlemini etkileyen proses şartlarını, atık kağıt türü, mürekkep miktarı ve türü, inorganik madde miktarı, lif karakteristiği, konsantrasyon, sıcaklık, işlem süresi, Flotasyon hücresinin tasarımı, ortam pH’ı ve kimyasal ortam olarak sıralayabiliriz (McCool, 1993).

Bu çalışmada hamurlaştırma işlemi sonrası su banyosunda 1 saat depolanan %50 atık ofis kağıdı ve %50 magazin kağıdı hamurunda serbest hale gelen mürekkep parçacıklarının lif yüzeyinden uzaklaştırılması işleminde aşağıda Degussa Flotasyonlu Mürekkep giderme

cihazı kullanılmıştır. Atık kağıtlardan mürekkep giderme işlemleri Şekil 3.5 ve Çizelge 3.5’de verilen koşullar uygulanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5 Degussa Flotasyonlu Mürekkep Giderme Prosesi (Çiçekler, 2019)

Kimyasal ve mekanik bir proses olan yüzdürme (flotasyon) işlemi, 20 lt kapasiteli Degussa Flotasyon ünitesinde şartlar aşağıda Çizelge 3.5’de verildiği üzere su sıcaklığı 45 °C’ye, suyun sertliği CaCl_2 ile 150 ppm’e, karıştırma hızı 1450 dev/dk’ya, hava girişi dakikada 2 lt/dk olacak şekilde ayarlanmış ve depolama işlemi sonrası hamur sisteme verilerek gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.5 Hamurlara uygulanan mürekkep giderme koşulları

Konsantrasyon (%)	0,8
Sıcaklık (°C)	45
Süre (dk)	12
Karıştırma hızı (dev/dk)	1450
Suyun sertliği (ppm)	150
Hava girişi (lt/dk)	2
Oleik asit (%)	0,4

Mürekkep giderme işlemi sonrasında hamurlar 200 mesh elek üzerinde yıkanmış ve laboratuvar tipi kağıt makinesinde 130, ve 150 gramajlarında kağıtlar ve 160 ve 180 gramajlarında kartonlar üretilmiştir. TAPPI T 402 om-88 standardına göre sıcaklığı 23 ± 1 °C ve bağıl nemi 50 ± 2 olan klima odasında kağıtlar 12 saat, kartonlar ise 24 saat kondisyonlandıktan sonra mekanik ve optik özellikleri, Efektif Kalıntı Mürekkep Konsantrasyonu (ERIC) ve leke analiz testleri belirlenmiştir.

3.2.1.3. Yoğurma (Dispersiyon) işlemleri

Dispersiyon işlemi, mürekkep giderme işlemi sonrasında hamur içerisinde kalan mürekkep parçacıklarının ve yapışkan maddelerin (sticks) liflerden sökülerek uzaklaştırılması ya da bu kirliliklerin gözle görülmeyecek kadar küçültülmesi amacıyla gerçekleştirilir.

Tez çalışması kapsamında üretilen %50 atık ofis kağıdı ve %50 atık magazin kağıdı karışımı mürekkebi uzaklaştırılmış hamurlara aşağıdaki Çizelge 3.6'de belirtilen koşullarda dispersiyon işlemi uygulanmış ve daha sonra 200 mesh elek üzerinde yıkanmış ve laboratuvar tipi kağıt makinesinde 130 ve 150 gramajlarında kağıtlar, 160 ve 180 gramajlarında kartonlar üretilmiştir.

Çizelge 3.6 Dispersiyon işlemi koşulları

NaOH Oranı (%)	0.5
H ₂ O ₂ Oranı (%)	1.0
Na ₂ SiO ₃ Oranı (%)	1.5
Sıcaklık (°C)	100
Süre (dakika)	20
Konsantrasyon (%)	25

Üretilen kağıtlar (Technical Association for the Pulp, Paper and Converting Industry) TAPPI T 402 om-88 standardına göre sıcaklığı 23±1 °C ve bağıl nemi %50±2 olan klima odasında kondisyon altında tutulduktan sonra mekanik ve optik özellikleri belirlenmiş, Efektif Kalıntı Mürekkep Konsantrasyonu (ERIC) ve leke analiz testleri yapılmıştır.

3.2.1.4. Ağartma

Kağıt hamurunun rengini koyulaştıran kalıntı lignin, kir, mürekkep, boya, kabuk vb. maddelerin redükleyici ve oksitleyici kimyasal maddeler kullanarak renklerinin açılması veya bu maddelerin kağıt hamuru içerisindeki uzaklaştırılması işlemine ağartma denir.

Hamurun rengini açan, ağartan ve beyazlatan iki grup kimyasal madde vardır. Bunlar:

- Redükleyiciler (İndirgen kimyasal maddeler)
- Oksitleyiciler (Yükseltgen kimyasal maddeler)

Redükleyici (İndirgen kimyasal maddeler): Sodyum bisülfid (NaHSO₃), Sodyum ve Çinko ditiyonit (Na₂S₂O₄, Zn₂S₂O₄), Sodyum tetraborat, Sodyum borhidrür, Formamidin sülfünik asit (FAS) vb. dir.

Oksitleyici (Yükseltgen kimyasal maddeler): Sodyum peroksit (Na_2O_2), Hidrojen peroksit (H_2O_2), Oksijen (O_2), Ozon (O_3), hipoklorit (ClO ve NaClO) vb. dir. Lignini koruyucu oksitleyiciler arasında daha çok Sodyum peroksit (Na_2O_2) ve Hidrojen peroksit (H_2O_2) bulunur. Hipoklorit gerek mekanik gerek yarı kimyasal hamurların ağartılmasında kullanılırsa da bu kimyasal lignini koruyucu bir madde değildir (Binici ve ark., 2013).

Ağartma işlemi, selülozik materyallerin parlaklık ve beyazlıklarını arttırmak, sarılıklarını azaltmak için uygulanan kimyasal bir işlemdir. Ağartma ile kağıdın kullanım alanını arttırmak ve süresini uzatmak mümkündür. Ağartma ile hamura kirlilik veren istenmeyen kirleticiler de uzaklaştırılır. Hamurun ağartma kimyasalları ile muamelesi, hamur içerisindeki oksitlenebilir yapıları etkilemekle birlikte hamurlarının viskozite değerlerinde düşümlere sebep olmaktadır. Lignini uzaklaştırmak ya da rengini açmak için kağıt hamurlarına uygulanan ağartma işleminde kullanılan ağartma ajanları ligninin yanında selüloz ve hemiselüloz gibi karbonhidratlara da etki etmektedir. Bu nedenle ağartma kimyasallarının lignin ile reaksiyonunun yanı sıra karbonhidratlar üzerinde de kısmi deformasyonları ve parçalanmaları görülmektedir (Dence ve Reeve, 1996; Kırıcı ve ark., 2004; Tutuş ve ark., 2009).

Hidrojen peroksit ağartması

Hidrojen peroksit, TCF (Totally Chlorine Free-Klorsuz ağartma) ağartma yöntemlerinde kullanılan etkili bir ağartma ajanıdır (Van Lierop ve ark., 1996; Bajpai, 2010). Geniş bir parlaklık yelpazesine ulaşmak için kimyasal, mekanik ve geri dönüştürülmüş kağıt hamurları için uygundur. Bu ajan pH'a bağlı olarak hem yükseltgen hem indirgen olma özelliğindedir. Peroksit kullanımı, uygulama kolaylığı, düşük üretim maliyeti, geliştirilmiş kağıt kalitesi, artan verim yüzdesi ve çevre dostu olması nedeniyle kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinde önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca peroksit ağartmaları sonucunda elde edilen hamurların parlaklık değerleri stabil kalmaktadır. Ağartma sonrası elde edilen hamurların uzun süre beklemesi sonucu renk özelliklerinde sadece %1 civarında değişiklikler meydana gelmektedir (Li ve ark., 2011).

Hidrojen peroksit piyasada %35 veya %50 sulu çözeltiler halinde bulunmaktadır. %35 lik H_2O_2 çözeltisindeki etkili oksijen %16.5, %50 likte ise %23.5 tir.

Peroksit ile beyazlatma işleminde alkalinite beyazlığı etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Sulu çözeltide hidrojen peroksit zayıf asidiktir.

Peroksit ağartmasında aktif bileşen Hidrojen Per hidroksil iyonudur. Çözünme, sıcaklık ile artışı halde Per hidroksil iyon konsantrasyonu çözelti alkalinitesine bağlı olarak değişecektir. Bu nedenle ağartma işlemi, alkali şartlar altında gerçekleştirilir. Hidrojen peroksit oksidasyonu, alfa karbonil bileşikler ile birleşmiş karbon-karbon bağlarının kopmasına neden olur. Alfa karbonil, konjuge karbonil veya konjuge etilen grupları gibi renk verici kromofor gruplar, organik asitler gibi renksiz gruplara dönüşür (Dence ve Reeve, 1996; Tutuş, 1996).

Formamidin sülfirik asit ağartması

Formamidin Sülfirik Asit (FAS), kimyasalının tiyoüre dioksit ve aminoiminomethan sülfirik asit gibi isimleri de mevcut olup, 1983 yılında alınan bir patent ile atık kağıtların ve mekanik kağıt hamurlarının ağartılmasında tek veya çoklu kademelerde diğer ağartma kimyasalları ile kullanılabileceği belirtilmiştir (Süss ve Krüger, 1983). FAS ağartma ajanı, özellikle hipokloritin oluşturduğu çevre sorunlarından dolayı, renkli kağıtlarda bulunan renklerin giderilmesinde ve ağartılmasında hipokloritin yerine kullanılan bir kimyasal olmuştur (İmamoğlu, 2002).

FAS; atık kağıtların geri dönüşümünde kullanılan yoğurma (dispersiyon) ve ağartma kademelerinde kullanılmaya en elverişli reaktiftir. FAS kimyasalı atık kağıt hamurları içerisinde bulunan kromoforlar-renk vericiler (lignin, mürekkepler ve boyar maddeler ve benzeri kirlilikler) ile reaksiyona girerek ortaya üre ve sodyum hidrojen sülfid açığa çıkmakta ve sonraki reaksiyonlarda sodyum hidrojen sülfid yükseltgenerek sodyum hidrojen sülfata dönüşmektedir (Kronis, 1997; Çiçekler, 2019).

FAS tüm indirgeyici ağartma kimyasallarında olduğu gibi atmosferik oksijen ile oksitlenir. Ancak, ditiyonit ile karşılaştırıldığında FAS kimyasalı daha dayanıklıdır. FAS'ın havaya karşı diğer kimyasallara göre daha az duyarlı olması kullanımının kolaylığını sağlamaktadır. Atık kağıt geri dönüşüm fabrikalarında pulper, dispersiyon ünitesi ve ağartma kulelerinde rahatlıkla kullanılabilir (Kronis, 1997). Bu nedenle ağartma işlemlerinde ayrı bir kademe olarak kullanılacağı gibi diğer ağartma kimyasalları ile birlikte de kullanılabilir. Ayrıca, FAS, ditiyonit ile karşılaştırıldığında daha düşük kükürt içeriğine sahiptir. Dolayısıyla beyaz su döngüsündeki kükürt yükü üzerine olumlu bir etkisi olmaktadır. Ağartma atık suyundaki kükürt seviyesi %75'e kadar azaltılabilmektedir. Hidrojen sülfür nedeniyle oluşan kötü kokuların seviyesi FAS kullanımında daha düşüktür (Fallon, 1994). FAS suda çözünür ve alkali koşullarda

öz nmesi daha kolay olur. FAS'ın alkali çözeltisi yüksek  z n rl ge sahiptir, ancak sulu çözeltisi hızlı bozunmaktadır. Bu nedenle, FAS alkali çözeltisi ağırtma işleminden hemen önce hazırlanıp prosese verilerek etkinliğini kaybetmesi önlenmelidir (Bajpai, 2010).

Ditiyonit ağırtması

Sodyum ve çinko ditiyonit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ve $\text{Zn}_2\text{S}_2\text{O}_4$) ve özellikle $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ uzun yıllardır mekanik hamur ve atık kağıtların ağırtılmasında yaygın olarak kullanılan redüktif etkiye sahip bir ağırtıcıdır. Ditiyonit ile optimum ağırtma şartları genellikle düşük kesafette (%3-5), pH 6 civarında, 60  C sıcaklık ve 1-2 saat işlem süresi uygulanarak ağırtma kulesinde gerçekleştirilmektedir (Ackermann, 2000). Özellikle atık kağıtlarda bulunan boyar maddelerin uzaklaştırılmasında etkin olarak kullanılan ditiyonit, hidrojen peroksit ile kombinasyonu sayesinde daha iyi sonuçlar vermektedir (Hache ve Joachimides, 1992; Hache ve ark., 1994).

Bu tez çalışmasında; Dispersiyon kademesi sonrası 3 Kademeli ağırtma işlemi (H_2O_2 + FAS+ Ditiyonit) sıcak su banyosunda aşağıda izelge 3.7' de verilen koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.7 Kağıt hamurlarına uygulanan ağırtma koşulları

Deney No	H_2O_2 Oranı (%)	FAS Oranı (%)	Ditiyonit Oranı (%)	Sıcaklık (�C)	Süre (dk)	Konsantrasyon (%)
1	3	-	-	80	60	12
2	5	-	-	80	60	12
3	7	-	-	80	60	12
4	-	0.4	-	80	60	5
5	-	0.6	-	80	60	5
6	-	0.8	-	80	60	5
7	-	-	1	80	60	5
8	-	-	3	80	60	5
9	-	-	5	80	60	5

* H_2O_2 ağırtmalarında %0,5 MgSO_4 , %0,5 EDTA, %2 Na_2SiO_3 , %(H_2O_2 /0.75) NaOH kullanılmıştır.

*FAS ağırtmalarında %(FAS/2) NaOH kullanılmıştır.

*Ditiyonit ağırtmalarında %0,5 EDTA kullanılmıştır.

Tüm kağıtlar g/m^2 üzerinden hesaplanan kimyasal miktarıyla üretilmiştir. Bu alışma Kahramanmaraş Kağıt Fabrikası Ar-Ge merkezinin daha önce tamamlamış olduğu

3190665 numaralı TUBİTAK 1501 kodlu “Yüksek Poroziteli Renkli ALK’u Üretimi” başlıklı projenin belirlediği ALK üretim yöntemine uygun hazırlanmış kağıtlardan elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında ve söz konusu projede ALK 100 °C suya dayanıklı 70-80 sn Gurley porozite yapısına sahip kağıtlar olarak tanımlanmaktadır.

Elde edilen verilerde öncelikle kağıtların mukavemet özelliklerine bakılmış, kağıtların ALK’u üretimine uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir.

3.3. Radyasyon Soğurma Testleri

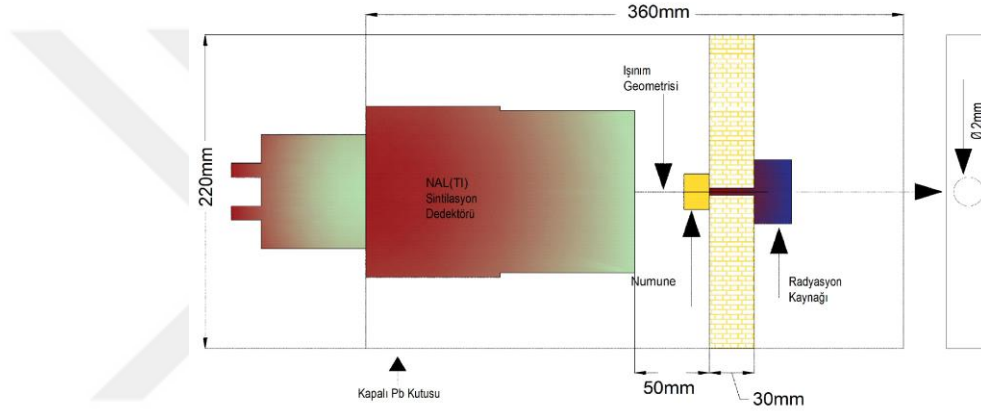
Bu doktora tez çalışmasında radyasyon soğurma özelliği yüksek ALK üretimi araştırılmıştır. Bu kapsamda farklı dolgu maddeleri kağıt ve kartonlara dolgulandırılarak üretimler yapılmıştır. Elde edilen kağıt ve kartonların mekanik özellikleri ve radyasyon soğurma deneyleri için Çizelge 3.8’de gösterilen deney planı uygulanmıştır. Bu deney planında Boraks dolgu malzemeleri B, Kolemanit dolgu malzemeleri K ve Uçucu Kül dolgu malzemeleri U harfleri ile temsil edilmiştir. 130, 150, 160 ve 180 gramajlarında üretilen kağıtlar kontrol (dolgusuz) %0, %5, %10 ve %20 dolgulu olarak uygulanmıştır.

Çizelge 3.8 Dalgulu kağıt ve karton üretiminde uygulanan deney planı

Deney Numarası Boraks Dolgulu	Deney Numarası Kolemanit Dolgulu	Deney Numarası Uçucu Kül Dolgulu	Dolgu Oranı (%)	Gramaj (g/m ²)
B1	K1	U1	Kontrol	130
B2	K2	U2	5	
B3	K3	U3	10	
B4	K4	U4	20	
B5	K5	U5	Kontrol	150
B6	K6	U6	5	
B7	K7	U7	10	
B8	K8	U8	20	
B9	K9	U9	Kontrol	160
B10	K10	U10	5	
B11	K11	U11	10	
B12	K12	U12	20	
B13	K13	U13	Kontrol	180
B14	K14	U14	5	
B15	K15	U15	10	
B16	K16	U16	20	

Elde edilen ALK'larına radyasyon soğurma miktarlarının ölçülmesi amacıyla testler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için nükleer teknolojiye önemli iki gama radyoizotop kaynak olan Cs-137 ve Co-60 radyoizotop kaynaklarıyla çalışılmıştır. Böylelikle, nükleer uygulamalarda sıkça kullanılan Cs-137 ile Co-60 gama radyoizotop kaynakları kullanılarak radyasyon soğurma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deney planına uygun gerçekleştirilen üretimler sonucunda elde edilen kağıt ve karton örneklerinin radyasyon soğurma ölçümleri Şekil 3.6 görülen NaI(Tl) dedektörü vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir (Kavun ve ark. 2024). Burada 1 mCi aktiviteli ^{60}Co /37 kBq kaynağından yayımlanan 1173 keV ve 1333 keV enerjili gamalar ile 1 mCi aktiviteli ^{137}Cs /3.7 kBq kaynağından yayımlanan 662 keV enerjili gamalar kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Ölçümlerde kullanılan radyasyon deney düzeneği

NaI(Tl) dedektörleri, gama ışınları ve radyoaktif parçacıkların tespiti için kullanılır. Bu dedektörler, sodyum iyodür kristali içerir ve bu kristalin içine bir miktar talyum (Tl) eklenmiştir. Tl, gama ışınlarını daha etkin bir şekilde tespit etmeye yardımcı olur.

NaI(Tl) dedektörleri, gama ışınları tarafından uyarıldığında, kristaldeki Tl^+ iyonları, gama ışınlarının enerjilerine bağlı olarak farklı enerjilerde ışıma yaparlar. Bu ışıma, kristaldeki fotokatotlar tarafından toplanır ve fotomultiplier tüpüne yönlendirilir. Fotomultiplier tüpü, ışmanın şiddetini artırır ve elektrik sinyallerine dönüştürür. Bu sinyaller, bir veri toplama sistemi tarafından kaydedilir ve gama spektrumları oluşturulur.

Elde edilen deney kağıt ve kartonlarına aşağıdaki Çizelge 3.9' da gösterilen testler uygulanmıştır.

Çizelge 3.9 ALK'larına uygulanan testler ve standartları

Yapılan Testler	Test Standartları	Yapıldığı Yer
Gramaj (g/m^2)	TAPPI T 410 om-88	KMK
Rutubet tayini (%)	TAPPI 412	
Kalınlık (μ)	TAPPI T 411 om-89	
Kopma Uzunluğu (Nm/kg)	TAPPI T 494 om-01	
Patlama İndisi ($\text{kPa.m}^2/\text{g}$)	TAPPI T 403 om-91	
Porozite (sn)	ISO 5636-5:2013	
Su Emme Davranışları (COBB60)	TAPPI T 441	
Suda yüzme testi (boat Show (dk))	Knauf, 2022	
SCT (Kısa Süreli Basınç Testi)	ISO 9895	
Scott Bond (Kat Ayrımı testi (J/m^2))	TAPPI T 569 om-07	
Beyazlık (%ISO)	ISO 2469:2014	KSÜ
Parlaklık (%ISO)	ISO 2470-1:2016	
Sarıklık (E313)	ASTM E313-20	
CIE Beyazlık	ISO/DIS 11475:2017	
Efektif Kalıntı Mürekkep Konsantrasyonu (ERIC)(ppm)	ISO 22754:2008	
Leke Analizi ve Ölçümü	TAPPI/ANSI T 437 om-12	
Kül Tayini (%)	TAPPI T 211 om-02	
Radyasyon Testleri	NSRDS-NBS29 (Hubbell, 1969)	

Kağıtlara ayrıca, kağıtçılıkta bilinen adıyla “water saturation test” ya da “boat show” testi uygulanmıştır. Bu test 2000 ml bir su dolu beherin manyetik karıştırıcılı ısıtıcı yardımıyla 500 devirde karıştırılan $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3$ sıcaklığa ısıtılmış suya katlanarak su üzerinde kalmasını sağlayacak gemi şekli verilen bir kağıdın ıslanma süresinin ölçülmesi yöntemiyle gerçekleştirilir. Bu test yöntemi 90 dakika ve üzerinde su üzerinde kalan ve su ile ıslanmayan kağıtların ALK olarak nitelendirildiği bir yöntem olarak alçı levha üreticileri tarafından kabul görmüş bir test yöntemidir (Knauf, 2022).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Dolgusuz ALK'ların Optik ve Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

Bu çalışmada kullanılan %50 atık ofis kağıdı ve %50 magazin kağıdı karışımından elde edilen kağıtlar içerisindeki inorganik madde miktarı (kül içeriği) ile hamurlaştırma işlemi sonrası elde edilen kağıt ve kartonların inorganik madde miktarı aşağıda Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Geri dönüşümde kullanılan ofis ve magazin kağıtları ile hamurlaştırma işlemi sonrası elde edilen kağıt ve kartonların kül oranlarına ait bulgular

	Kağıt-Karton	Ofis ve Magazin Kağıdı
Kül Oranı (%)	23.27±0.4	46.38±0.6
Kül Oranı (%)	16.67±0.3	17.50±0.4

Magazin kağıtların alt ve üst yüzleri kuşeli olduğundan ve ofis kağıtlarında yüksek dolgu maddesi kullanıldığından inorganik madde oranı yüksek çıkmıştır. Hamurlaştırma işlemi sonunda üretilen kağıt ve kartonlarda inorganik madde miktarı (kül) oranı %23.27'den yaklaşık %16'ya, ofis ve magazin kağıtlarında ise %46.38'den yaklaşık %17'ye düşmüştür. Hamurlaştırma işlemi sonunda hamurdan önemli oranda inorganik dolgu maddesi ve kuşe dolgu pigmenti uzaklaştırılmıştır.

4.1.1. Dolgusuz ALK'ların mekanik özelliklerine ait bulgular

Deney planına uygun olarak elde edilmiş hamurlardan üretilen alt ve üst kağıtların birleştirilmesiyle 130 ve 150 g/m² kağıtlar ile 160 ve 180 g/ m² kartonlar elde edilmiştir.

Hamurlaştırma işlemi sonrasında depolama işlemi gerçekleştirilmiştir. Depolama işleminde, hamurlar 200 mesh elek üzerinde yıkanarak hamur içerisinde bulunan küçük boyutlu mürekkep parçacıklarının ve kimyasalların uzaklaştırılması yüzdürme yöntemiyle sağlanmıştır.

Mürekkep giderme, atık kağıt geri dönüşüm sürecinde pulperden sonra önemli olan bir diğer aşamadır. Mürekkep gidermede amaç, istenilen optik özelliklerde ve çıplak gözle görülen mürekkep parçacıkları içermeyen kağıt ve karton üretilmesidir ki bu da 30-80 µm büyüklüğündeki mürekkep parçacıklarının hamur süspansiyonundan uzaklaştırılmasını gerektirmektedir.

Mürekkep giderme işlemlerinden sonra elde kalan hamurlara dispersiyon (yoğurma) işlemleri gerçekleştirilmiştir. Dispersiyon işlemi, mürekkep giderme işlemi sonrasında hamur içerisinde kalan mürekkep parçacıklarının ve yapışkan maddelerin (sticks) liflerden sökülerek uzaklaştırılması ya da bu kirliliklerin gözle görülmeyecek kadar küçültülmesi amacıyla gerçekleştirilir (İmamoğlu, 2002).

Mürekkep giderme işlemi sonrası üst kat (beyaz) hamurlarına ağartma işlemi uygulanmıştır. Ağartma işlemi 3 kademeli olarak gerçekleştirilmiştir. Ağartma işlemi ayrıca bir bölüm olarak ele alınmıştır (bkznz: sayfa 50, Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15).

TAPPI T 402 om-88 standardına (Anonim, 1992) göre sıcaklığı 23 ± 1 °C ve bağıl nemi 50 ± 2 olan klima odasında kağıtlar 12 saat, kartonlar ise 24 saat kondisyonlandıktan sonra, verilen standartlara bağlı kalınarak mekanik özellikleri (Çizelge 4.2; Çizelge 4.3; Çizelge 4.4; Çizelge 4.5; Çizelge 4.6), optik özellikleri (Çizelge 4.7; Çizelge 4.8; Çizelge 4.9; Çizelge 4.10) efektif kalıntı mürekkep konsantrasyonu (ERIC) ve leke analiz testleri (Çizelge 4.121; Çizelge 4.112) belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 Dolgusuz ALK'larının kopma uzunluğuna ait bulgular

	Gramaj (g/m²)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
Kopma Uzunluğu (m)	130	2910	3400	3570	3450
	150	2920	3540	3630	3340
	160	3040	3410	3510	3190
	180	2990	3420	3470	3100

Yukarıda Çizelge 4.2 incelendiğinde hamurlaştırma sonrası elde edilen kağıtlarda kopma uzunlukları depolama ve mürekkep giderme işlemlerinde yükselmiştir. Burada depolama işleminde NaOH kullanımının lifleri şişirerek bağlanma kabiliyetini arttırdığı belirlenmiştir. Mürekkep giderme işleminde atık kağıtların kirliliklerinden, dolgularından ve kırıntı elyaflarından temizlenmesi ile kopma uzunluklarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Dispersiyon işleminde yüksek sıcaklığa maruz kalan lifler, kimyasalların da etkisiyle istenmeden merserizasyona maruz kalır. Liflerin bükülmesi ve kimyasal eklentileri nedeniyle saçaklarının azalması, kopma uzunluklarında bir düşüşe neden olmuştur. Halonen ve ark., (2013) bir çalışmada merserizasyon işleminin kristalin yapıyı bozduğu kopma mukavemetleri üzerinde olumsuz etki oluşturduğunu bildirmiştir. Kağıt ve karton üretiminde hamur hazırlama safhalarında hamura eklenen NaOH oranının artması selülozun bozunmasına neden olduğu için üretilen kağıtların mekanik özellikleri üzerine

olumsuz etki ettiği literatürde bildirilmiştir (Casey, 1960; Halonen ve ark., 2013; Yue ve ark., 2016).

Çizelge 4.3 Dolgusuz ALK'larının patlama indisi sonuçlarına ait bulgular

	Gramaj (g/m²)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
Patlama (kPa.m²/g)	130	1.96	1.99	2.28	2.81
	150	1.98	2.17	2.74	2.93
	160	2.01	2.20	3.06	3.20
	180	2.09	2.38	3.11	3.42

Yukarıda Çizelge 4.3’de verilen bulgularda işlem sırasına göre patlama mukavemet değerlerinde artış görölmektedir. Elde edilen veriler düşük gramajlı kağıttan yüksek gramajlı kartona giderken düzgün bir dizi oluşturarak yükselmiştir. Bunun nedeni gramaj farklılığı olarak görölmüştür. İşlem sırasına göre patlama indisi değer artışları, hamurlaştırma işleminden sonra her safhada deney hamurunun kirliliklerinden, dolgusundan ve kırıntı elyaflardan biraz daha arınarak oluşturduğu kağıt safihasından kaynaklanmaktadır. Patlama direnci, lif boyu ve iç bağlanma gücüne bağılı olarak etkinlik gösterir (Clark, 1978; Eroğlu, 2003).

Çizelge 4.4 Dolgusuz ALK'ların Scott Bond (kat ayrımı) testine ait bulgular

	Gramaj (g/m²)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
Scott Bond (J/m²)	130	221	235	265	276
	150	214	222	248	260
	160	205	208	236	251
	180	198	202	220	240

Yukarıda Çizelge 4.4 incelendiğinde ALK’ların gramaj artışında her safhada kat ayrımı değerleri düşmüştür. Bunun yanında ALK üretim safhalarına bakıldığında, yukarıda belirtildiğı gibi hamurdaki kirliliklerden, dolgudan ve kırıntı liflerden temizlenmesi nedeniyle her safhada artış gösterdiği görölmüştür.

Çizelge 4.5 Dolgusuz ALK'ların su emme davranışları ((COBB₆₀ (g/m²)) özelliklerine ait bulgular

Su Emme Davranışları (COBB ₆₀) (g/m ²)	Gramaj (g/m ²)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
	130	232	211	250	272
	150	268	259	268	286
	160	285	310	326	301
	180	299	354	376	317

Yukarıda Çizelge 4.5 incelendiğinde kağıt ve kartonların gramaja bağlı olarak daha fazla su emdiği görülmektedir. Bunun sebebi kağıt ve kartonların gramajlara göre ihtiva ettiği lif miktarının artması ve lifsel olmayan kirliliklerin uzaklaştırılmasıdır. Selüloz lifleri hidrofilik olduğundan suya karşı dayanımı azdır ve su tutucudur (Rhim ve ark., 2006).

Çizelge 4.6 Dolgusuz ALK'ların dispersiyon sonrası porozite özelliklerine ait bulgular

Gramaj (g/m ²)	Porozite (sn)
130	38
150	43
160	46
180	53

Yukarıda Çizelge 4.6 de görüldüğü üzere dispersiyon işlemi sonrası elde edilen ALK'ların porozite özellikleri bu tez çalışmasında hedeflenen 70 sn değerinin altında tespit edilmiştir. Gramaj artışına bağlı olarak dakikada geçen hava miktarında bir azalma görülmüştür. Bu durum aynı alan içerisindeki lif miktarının artması nedeniyle boşlukların kapanması ve poroz yapının azalması ile ilişkilendirilmiştir. Kağıt bitkisel liflerin kapılar yapıya sahip olmasından gelen gözenekli bir yapıya sahiptir (Rhim ve ark., 2006). Kağıda uygulanan bazı dolgular ve kaplamalar gözeneklilik yapısında azalmalara enden olabilir (Zhang ve ark.,2001; Rhim ve ark., 2006; Syahida ve ark., 2020).

4.1.2. Dolgusuz ALK'ların optik özelliklerine ait bulgular

Deney planına uygun olarak elde edilmiş hamurlardan üretilen alt ve üst kağıtların birleştirilmesiyle 130 ve 150 g/m² kağıtlar ile 160 ve 180 g/m² kartonlar elde edilmiştir. Hamurlaştırma işlemi, depolama işlemi, mürekkep giderme işlemi ve dispersiyon (yoğurma) işlemi sonrası elde edilen ALK'ların optik özelliklerine ait bulgular aşağıda Çizelge 4.7-8-9-10-11 ve Çizelge 12'de gösterilmiştir.

Hamurlaştırma işleminde pulper konsantrasyonu, sıcaklığı, süresi ve ilave edilen kimyasal maddelerin miktarı pulper işleminin etkinliğini belirleyen en önemli faktörlerdendir (Fallows, 1995). Pulper sıcaklığının artması ile hamurlaştırma süresi kısaltılabilir. Çünkü yüksek sıcaklık, mürekkep ve diğer kirlerin yumuşayarak lif yüzeyinden sökülmesini hızlandırırken diğer yandan kimyasal maddelerin etkinliğini artırır (Cleveland, 1993). Atık kağıdın ıslanması büyük oranda pulper koşullarına bağlı olmakla birlikte kağıt türü ve ağırlığının da etkisi oldukça fazladır. Bilindiği gibi kağıtlar su içerisine bırakıldıklarında hidrojen bağlarının su molekülleri ile bağlanması sonucu lifler arası bağların kuvveti azalmaktadır (McKinney, 1995).

Depolama işlemi sonrası hamurlar 200 mesh elek üzerinde yıkanarak hamur içerisinde bulunan küçük boyutlu mürekkep parçacıklarının ve kimyasalların uzaklaştırılması sağlanmıştır. Depolama sonrası atık kağıt karışım hamurlarından 130 ve 150 gramajlarında ALK kağıtları, 160 ve 180 gramajlarında ALK kartonları üretilmiştir.

Mürekkep giderme, atık kağıt geri dönüşüm sürecinde pulperden sonra önemli olan bir diğer aşamadır. Mürekkep gidermede amaç, istenilen optik özelliklerde ve çıplak gözle görülen mürekkep parçacıkları içermeyen kağıt ve karton üretilmesidir ki bu da 30-80 μm büyüklüğündeki mürekkep parçacıklarının hamur süspansiyonundan uzaklaştırılmasını gerektirmektedir.

Dispersiyon işlemi, mürekkep giderme işlemi sonrasında hamur içerisinde kalan mürekkep parçacıklarının ve yapışkan maddelerin (sticks) liflerden sökülerek uzaklaştırılması ya da bu kirliliklerin gözle görülmeyecek kadar küçültülmesi amacıyla gerçekleştirilir (İmamoğlu, 2002).

Çizelge 4.7 Dolgusuz ALK'ların beyazlık ölçümlerine ait bulgular

	Gramaj (g/m^2)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
Beyazlık (%ISO)	130	71.16	73.2	80.56	84.16
	150	70.84	73.84	81.34	84.65
	160	71.65	74.2	81.82	84.91
	180	71.52	74.52	82.36	84.57

Yukarıda Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere mürekkep giderme işlemi sonrası elde edilen üst kat kağıtlarının beyazlık (%ISO) değerleri hamurlaştırma işlemine göre 130 ve 150 g/m^2 ’deki kağıtlarda sırasıyla %11.67 ve %12.91, 160 ve 180 g/m^2 ’deki kartonlarda sırasıyla %12.43 ve %13.16 oranında artmıştır. Depolama işlemine göre 130 ve 150

g/m^2 'deki kağıtlarda sırasıyla %9.14 ve %9.22; 160 ve 180 g/m^2 'deki kartonlarda sırasıyla %9.31 ve %9.52 oranında artmıştır. Dispersiyon işlemleri sonrası elde edilen bulgulara göre kağıtların optik özelliklerine bakıldığında beyazlık (%ISO) değerleri mürekkep giderme işlemine göre 130 ve 150 g/m^2 'deki kağıtlarda sırasıyla %4 ve %4; 160 ve 180 g/m^2 'deki kartonlarda sırasıyla %4 ve %3 oranında artmıştır. Lozo ve ark., (2002) yaptıkları bir çalışmada işlemler sırasında mürekkebin en büyük parçaları liflerden uzaklaşırken çok küçük parçaları hamur içerisinde kalabileceğini ve ona belirli bir renk verebileceğini bildirmiştir. Bu durum nedeniyle yeni üretilen kağıtların optik özellikleri orijinal kağıda oranla farklılıklar gösterdiğini bildirmiştir. Yapılan literatür araştırmalarında atık kağıtların geri dönüşümü ile elde edilmek istenen beyaz hamurlar için yapılan her işlemde beyazlık değerinin arttığı görülmüştür (Lozo ve ark., 2002; Lee ve ark., 2016; Çiçekler, 2019).

Çizelge 4.8 Dolgusuz ALK'ların parlaklık değerlerine ait bulgular

	Gramaj (g/m^2)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
Parlaklık (%ISO)	130	86.71	88.32	91.01	98.42
	150	86.89	88.59	91.54	98.6
	160	87.55	89.2	92.1	98.3
	180	87.2	89.57	92.82	99.2

Yukarıda Çizelge 4.8'e bakıldığında depolama işleminde parlaklık (%ISO) değerleri hamurlaştırma işlemine göre 130 ve 150 g/m^2 'deki kağıtlarda sırasıyla %13.29 ve %14.19; 160 ve 180 g/m^2 'deki kartonlarda sırasıyla %14.11 ve %14.48 oranında artmıştır. Mürekkep giderme sonrası elde edilen bulgularda depolama işlemine göre parlaklık, 130 ve 150 g/m^2 'deki kağıtlarda sırasıyla %12.09 ve %13.50; 160 ve 180 g/m^2 'deki kartonlarda sırasıyla %13.45 ve %14.02 oranında artmıştır. Dispersiyon işlemi sonrası parlaklık (%ISO) değerleri mürekkep giderme işlemine göre 130 ve 150 g/m^2 'deki kağıtlarda sırasıyla %2 ve %3; 160 ve 180 g/m^2 'deki kartonlarda sırasıyla %2 ve %3 oranında artmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında beyaz kağıt elde etmede kullanılan her bir işlemde beyazlık değerlerinin yanında parlaklık değerlerinin de arttığı görülmüştür (Lozo ve ark., 2002; Lee ve ark., 2016; Çiçekler, 2019).

Çizelge 4.9 Dolgusuz ALK'ların sarılık değerlerine ait bulgular

	Gramaj (g/m²)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
Sarılık (E313)	130	-26.75	-25.79	-25.16	-26.04
	150	-26.94	-25.62	-24.26	-25.65
	160	-26.21	-25.51	-23.34	-25.2
	180	-26.13	-25.2	-24.61	-25.1

Yukarıda Çizelge 4.9'da hamurlaştırma işleminden, depolama ve mürekkep giderme işlemlerine giderken sarılık değerlerinde azalma görülse de dispersiyon işlemi sonrası kağıtların sarılık değerlerinde mürekkep giderme işlemine göre 130 ve 150 g/m²'deki kağıtlarda sırasıyla %3 ve %5; 160 ve 180 g/m²'deki kartonlarda sırasıyla %7 ve %2 oranında artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi dispersiyon işleminde uygulanan sıcak yoğurmanın beyaz lifler üzerinde sararmaya neden olduğu düşünülmektedir. Burada dönüştürülen beyaz atık ofis kağıtlarının dönüştürme işlemleri sırasında, içerisinde bulunan optik beyazlatıcı ya da çivit boya gibi kimyasalların uzaklaşması da etkilidir (Çiçekler, 2019).

Çizelge 4.10 Dolgusuz ALK'ların CIE beyazlık değerlerine ait bulgular

	Gramaj (g/m²)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
CIE Beyazlık	130	135.25	134.45	144.11	145.10
	150	134.56	134.09	144.74	140.16
	160	134.88	133.88	144.60	141.10
	180	135.10	133.64	145.01	142.66

Yukarıda Çizelge 4.10'da CIE Beyazlık değerleri; hamurlaştırma işlemine göre 130 ve 150 g/m²'deki kağıtlarda ve kartonlarda %6 civarında; depolama işlemine göre ise yaklaşık %7 'lik bir artış göstermiştir. Dispersiyon sonrası CIE beyazlık değerleri mürekkep giderme işlemine göre 130 g/m² kağıtlarda %1 artış gösterirken 150 g/m²'deki kağıtlarda %3, 160 ve 180 g/m²'deki kartonlarda sırasıyla %2 ve %2 azalma olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni olarak sarılık ölçümlerinde olduğu gibi dispersiyon işlemindeki sıcak uygulamanın yanı sıra mürekkep giderme işlemi öncesi hamur içerisinde bulunan atık kağıttan gelen optik beyazlatıcı ve/veya çivit boyaların bu aşamada azalmasının, kağıt yüzeyinde sararmaya yol açtığı düşünülmektedir (Çiçekler, 2019).

CIE beyazlığı ölçümlerinde baz kağıt olarak kullanılan fotokopi kağıdının beyazlık değerleri UV filtresiz ortamda %154.15 ve UV filtreli ortamda %99.65 CIE beyazlığı

olduğu bilinmektedir (Geffertova ve ark., 2016). Diğer yandan bu fotokopi kağıdının baskı işlemi yapılmadan hamurlaştırılmasıyla elde edilen hamurlarda UV filtresiz ortamda ölçülen test kağıtlarda beyazlık değeri %150.79 CIE beyazlık olarak ölçülmüştür (İmamoğlu ve Peşman, 2012). Bu çalışmada yapılan ölçümler UV filtresiz olarak gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda Çizelge 4.11’de dolgusuz ALK’ların üst kağıtlarına yapılmış leke analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.11 Dalgusuz ALK'ların leke analizi sonuçlarına ait bulgular

	Gramaj (g/m²)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
LEKE (mm²/m²)	130	69336	66000	7495	4767
	150	86769	77629	7804	6088
	160	85202	81537	7308	5528
	180	87508	76350	6705	5791

Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi 130 ve 150 g/m² ‘deki kağıtlarda lekelerin toplam kapladığı alan sırasıyla 69336 (0,069336 1/m²) ve 86769 mm²/m² olarak ölçülmüştür. Hamurlaştırma işlemi sonrası üretilen 160 ve 180 g/m²’deki kartonlarda lekelerin toplam kapladığı alan sırasıyla 85202 ve 87508 mm²/m² olarak ölçülmüştür. Leke analizi ölçüm sonuçları depolama işlemi sonrasında üretilen 160 ve 180 g/m²’deki kartonlarla karşılaştırıldığında, lekelerin toplam kapladığı alan hamurlaştırma işlemine göre sırasıyla %4.30 ve %12.75 oranında azalmıştır. Mürekkep giderme işlemi sonrası elde edilen kağıtların, hamurlaştırma işlemi sonrası elde edilen kağıtlara göre leke analiz sonuçları %91.68 ve %93.22 oranında azalma göstermiştir. Depolama işlemine göre leke analiz sonuçları %91.26 ve %92.16 oranında azalma göstermiştir. Mürekkep giderme işlemi sonrasında elde edilen kartonların, ilk aşama olan hamurlaştırma işlemi sonrası elde edilen kartonların leke analiz sonuçlarında %94.69 ve %93.38 oranında azalma meydana gelmiştir. Depolama işlemine göre ise leke analiz sonuçları %94.45 ve %92.42 oranında azalma göstermiştir. Dispersiyon işlemi sonrası elde edilen 130 ve 150 g/m²’deki kağıtların mürekkep giderme işlemine göre leke analiz sonuçları %71.46 ve %62.94 oranında, 160 ve 180 g/m²’deki kartonların, mürekkep giderme işlemine göre leke analiz sonuçları %57.7 ve %28.5 oranında artış göstermiştir. Bu artışın sebebi dispersiyon sırasında büyük boyutlu mürekkeplerin ve kirliliklerin parçalanarak daha küçük boyutlu mürekkep parçacıklarına ayrılmasından kaynaklanmaktadır. Dispersiyon işlemi sonrasında çok küçük boyutlara

bölünen mürekkep partiküllerin ve kirliliklerin ağartma kademeleri ile daha kolay hamur ortamından uzaklaşacağını göstermektedir. McKinney (1995) yaptığı çalışmada dispersiyon işleminin mürekkep kalıntılarını lifler üzerinden sökerek uzaklaştırmayı kolaylaştırdığını bildirmiştir. Dispersiyon aşamasının atık kağıt proseslerinde en önemli faydalarından birisi, mürekkep ve kirlilik oluşturan yabancı parçacıkların gözle görülemeyecek kadar küçültülerek hamur içerisinde homojen dağılmasını sağlamasıdır (Holik, 2000).

Aşağıda Çizelge 4.12’de dolgusuz ALK’ların üst kağıtlarına yapılmış ERIC analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.12 Dolgusuz ALK'ların ERIC analiz ölçümlerine ait bulgular

	Gramaj (g/m²)	Hamurlaştırma	Depolama	Mürekkep Giderme	Dispersiyon
ERIC (ppm)	130	253	211	85	75
	150	249	211	76	69
	160	257	210	73	63
	180	259	207	76	62

Hamurlaştırma işlemi sonrası kağıt ve kartonlarda yapılan ERIC analizleri sonrası elde edilen bulgulara göre yukarıda Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi 130 ve 150 g/m²’deki kağıtlarda sırasıyla 253 ve 249 ppm; 160 ve 180 g/ m² kartonlarda ERIC değerleri 257 ve 259 ppm olarak ölçülmüştür. Mürekkep giderme işlemi sonrası elde edilen kağıtların, hamurlaştırma işlemi sonrası elde edilen kağıt ve kartonlara göre ERIC analiz sonuçları 130 ve 150 g/m²’deki kağıtlarda sırasıyla %66.40 ve %69.48, 160 ve 180 g/m²’deki kartonlarda sırasıyla %71.60 ve %70.66; oranında azalma meydana gelmiştir. Depolama işlemine göre ise ERIC analiz sonuçları 130 ve 150 g/m²’deki kağıtlarda sırasıyla %59.72 ve %63.98 oranında, 160 ve 180 g/m²’deki kartonlarda sırasıyla %65.24 ve %63.29 oranında azalma göstermiştir. Bu aşamada mürekkep parçacıkları hamur içerisinde daha az kaldığından ERIC ve leke analiz sonuçları önceki hamurlaştırma, depolama aşamalarına göre düşük çıkmıştır ve bu sonuç çalışmanın doğru yolda ilerlediğini göstermiştir. Dispersiyon işlemi sonrası elde edilen 130 ve 150 g/m²’deki kağıtların mürekkep giderme işlemine göre ERIC analiz sonuçlarında sırasıyla %11.76 ve %9.21 oranında azalma olduğu görülmektedir, 160 ve 180 g/m²’deki kartonların, mürekkep giderme işlemine göre ERIC analiz sonuçları sırasıyla %13.70 ve %18.42 oranında azalma göstermiştir. Dispersiyon işlemi sonrasında da hamur içerisinde önceki aşamadan kalan mürekkep

parçacıkları, sıcaklık ve yoğurma ile küçültülmüş olduğundan ERIC ve leke analiz sonuçları önceki mürekkep giderme aşamalarına göre düşük çıkmıştır.

Sonuç olarak; birinci aşama olan hamurlaştırma işlemi sonrası elde edilen kağıtlarda ve kartonlarda optik özellik test sonuçları gramaj artışına bağlı olarak benzer değerler tespit edilmiştir. Bu aşamada mürekkep parçacıkları hamur içinde kaldığından ERIC ve leke analiz sonuçları oldukça yüksek çıkmıştır. İkinci aşama olan Depolama işlemi sonrası optik özelliklere ait test sonuçlarında iyileşmeler olmuş, ERIC ve leke analiz değerlerinde olumlu yönde belirgin düşüşler gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, her bir işlem kademesi sonrasında hamur karışımı içerisinde büyük ve küçük boyutlu kirliliklerin ve mürekkep partiküllerinin azaldığını, elde edilen kağıt ve kartonların optik özelliklerinin iyileştiğini göstermiştir. Üçüncü aşama olan Mürekkep giderme işlemi sonrası optik özelliklere ait bulgular, hamurlaştırma işlemine göre beyazlık (%ISO) ve parlaklık (%ISO) değerlerinde yaklaşık %13-14, CIE beyazlık (ISO) değerlerinde yaklaşık %6-7 artış göstermiştir. ERIC ve leke analizinde ise ciddi oranlarda azalmalar olmuştur. Bu sonuçlar, her bir işlem kademesiyle sonrasında hamur karışımı içerisinde büyük ve küçük boyutlu kirliliklerin ve mürekkep partiküllerinin azaldığını ve elde edilen kağıt ve kartonların optik özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir.

4.2. Ağartma İşlemine Ait Bulgular

Ağartma işlemi, selülozik materyallerin parlaklık ve beyazlığını artırmak sarılık değerlerini azaltmak için uygulanan kimyasal bir işlemdir (Carter, 1996). Ağartma ile kağıdın kullanım alanı ve hizmet süresini arttırmak mümkündür. Ağartma ile hamura kirlilik veren istenmeyen kirleticiler de uzaklaştırılır. Hamurun ağartma kimyasalları ile muamelesi, hamur içerisindeki oksitlenebilir yapıları etkilemekle birlikte hamurlarının viskozite değerlerinde düşüslere sebep olmaktadır. Lignini uzaklaştırmak ya da rengini açmak için kağıt hamurlarına uygulanan ağartma işleminde kullanılan ağartma ajanları, ligninin yanında selüloz ve hemiselüloz gibi karbonhidratlara da etki etmektedir. Bu nedenle ağartma kimyasalları lignin ile reaksiyonunun yanı sıra karbonhidratları da bozundurmaktadır (Dence ve Reeve, 1996; Kırıcı ve ark., 2004; Tutuş ve ark., 2009). Kağıt üretiminde ağartma yöntemleri her zaman bir miktar hasara neden olabilir ve lekeleri, yabancı maddeleri veya kararmaları gidemek için ağartma uygulamadan önce dikkatli olunmalıdır (Durovic ve Zelinger, 1993).

Ağartma işlemleri sonrası her bir kademeye ait hamurlardan üretilen kağıtların optik özelliklerine ait sonuçlar aşağıda Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13’de;

1. kademe H_2O_2 ağartma sonrası elde edilen kağıtların optik özellikleri karşılaştırıldığında %3 H_2O_2 ilaveli ağartma sonuçları ile %7 H_2O_2 ilaveli ağartma sonuçları arasında belirgin farklılıkların olmaması nedeniyle ekonomiklikte dikkate alındığında %3 H_2O_2 ağartması optimal olarak kabul edilmiş ve 2. kademe FAS ağartmasında bu hamurlar kullanılmıştır.

2. kademe FAS ağartma sonrası elde edilen kağıtların optik özellikleri karşılaştırıldığında %0.4, %0.6 ve %0.8 FAS ilaveli ağartma sonuçları arasında belirgin farklılıkların olmaması nedeniyle %0.4 FAS ağartması optimal olarak kabul edilmiş ve 3. kademe Ditiyonit ağartmasında bu hamurlar kullanılmıştır.

3. kademe Ditiyonit ağartma sonrası elde edilen kağıtların optik özellikleri karşılaştırıldığında %1, %3 ve %5 Ditiyonit ilaveli ağartma sonuçları arasında yine belirgin farklılıkların olmaması nedeniyle ekonomiklikte göz önünde bulundurularak %1 Ditiyonit ağartması optimal olarak kabul edilmiştir. Ancak aşağıda Çizelge 4.13 incelendiğinde en önemli parametrelerden beyazlık, parlaklık ve sarılık üzerine yapılan Duncan testi ve harflendirmeler sonucunda %0.6 uygulanan FAS ağartması ile eğer çalışmada maliyet söz konusu olursa yeterli sonuç alınabileceği görülmektedir. Bu tez çalışmasında en iyi sonuçlar üzerinden devam edilmiştir.

Dispersiyon sonrası %3 H_2O_2 ağartması ile elde edilen 150 g/m^2 ’deki kağıtlarda beyazlık, parlaklık, CIE beyazlık ve L değerlerinin arttığı, a ve b değerlerinde kayda değer artış ve azalışının olmadığı, ERIC değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ying (2009), yoğurma işleminin yağlar, yapıştırıcılar ve kirlilikleri atık kağıttan etkili bir şekilde giderdiğini, üretim maliyetlerini azalttığını ve kağıt yüzeyi temizliğini iyileştirdiğini bildirmiştir.

%3 H_2O_2 ağartması sonrası elde edilen hamurlara uygulanan %0.4 FAS ağartma işlemi sonrası elde edilen 150 g/m^2 ’deki kağıtlarda beyazlık (%ISO), sarılık (%ISO), L değerinin sırasıyla %4.15 ve %22.93 oranında arttığı, parlaklık (%ISO) değerinde önemsiz bir azalış olduğu, CIE beyazlık değerinin %6.15 oranında azaldığı belirlenmiştir. ERIC değerlerinde ise azalma görülmüştür. FAS kimyasalının atık kağıtların ağartılmasında etkili

bir beyazlatma ajanı olduğu literatürde bildirilmiştir (Gehr, 1997; Forsberg ve Genco, 1994; Peşman, 2010; Peşman ve ark., 2011).

%0.4 FAS ağartması sonrası elde edilen hamurlara uygulanan %1 Ditiyonit ağartma işlemi sonrası elde edilen 150 g/m²'deki kağıtlarda optik özelliklerden beyazlık (%ISO), parlaklık (%ISO) ve L değerlerinde belirgin bir artışın olmadığı, sarılık (%ISO) ve CIE beyazlık değerlerinin sırasıyla %2.72 ve %1.26 oranında arttığı, ERIC değerlerinde ise %3.48 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13 Üç kademeli ağartma sonrası üretilen kağıtların optik özellikleri ve ERIC değerlerine ait bulgular

Ağartma Kademeleri	Beyazlık (%ISO)	Parlaklık (%ISO)	Sarılık (E313)	CIE Beyazlık	L	Opaklık (%ISO)	ERIC
%3 H ₂ O ₂	85.95d	104.42b	-25.77c	147.20	94.29	98.32	55
%5 H ₂ O ₂	86.28c	104.80a	-25.78c	147.68	94.44	98.46	53
%7 H ₂ O ₂	88.42b	101.18d	-17.14a	131.00	95.34	97.72	52
%0.4 FAS	89.52ab	104.23b	-19.86ab	138.14	95.80	97.64	53
%0.6 FAS	89.95a	104.42b	-19.53a	137.84	95.97	97.85	52
%0.8 FAS	89.10ab	103.01c	-18.86a	135.60	95.68	97.51	51
%1 Ditiyonit	89.88a	105.09a	-20.40ab	139.88	95.95	97.58	52
%3 Ditiyonit	89.38ab	104.65a	-20.65b	140.02	95.74	97.23	49
%5 Ditiyonit	89.68a	104.49ab	-19.90ab	138.56	95.87	97.73	48

*Aynı harfler ile verilen değerlerin yapılan Duncan testine göre aralarında istatistiki açıdan anlamlı bir fark yoktur.

Aşağıda Çizelge 4.14 incelendiğinde ağartma işlemi sonrası elde edilen 130 ve 150 g/m²'deki kağıtların dispersiyon işlemine göre ERIC analiz sonuçları sırasıyla %18.67 ve %17.39; leke analiz sonuçları ise %83.21 ve %74.46 oranında azalış göstermiştir. 160 ve 180 g/m²'deki kartonların, dispersiyon işlemine göre ERIC analiz sonuçları sırasıyla %17.46 ve %22.58; leke analiz sonuçları ise %73.79 ve %62.85 oranında azalış göstermiştir.

Çizelge 4.14 Ağartma işlemi sonrası ALK'larda ERIC ve leke analiz sonuçlarına ait bulgular

Gramaj (g/m ²)	LEKE (mm ² /m ²)	ERIC (ppm)
130	1691	61
150	1760	52
160	1889	52
180	2437	48

Yapılan çalışmada ağartma işleminde elde edilen kağıt ve kartonların optik özellikleri dispersiyon kademesiyle karşılaştırıldığında; 3 kademeli ağartma sonucunda beyazlıkta yaklaşık 6 birimlik artış, parlaklık değerinde kağıtta 3 birimlik, kartonlarda 4 birimlik artışlar, sarılık değerinde yaklaşık 5 birimlik azalmalar tespit edilmiştir. Her bir ağartma kademesiyle ERIC değerlerinin azaldığı ancak her bir ağartma kademesinde mürekkep partikül boyutlarında çok önemli azalmalar olduğu belirlenmiştir (Dispersiyon işlemi sonrasında 130 gramajındaki kağıtta mürekkep partikül sayısı 135800 adet iken 3 kademe ağartma sonrasında bu sayı 22800 adete kadar düşmüştür). Schaeffer ve ark., (1997) çalışmasında ağartma işleminin minimum renk değişikliği ve neredeyse etkilenemeyen mekanik özellikleri bakımından kağıttaki lekelerin çıkarılmasında etkili bir işlem olduğunu bildirmiştir.

Ağartma işlemi sonrasında hamur karışımı içerisinde büyük ve küçük boyutlu kirliliklerin ve mürekkep partiküllerinin oldukça azaldığı ve elde edilen kağıt ve kartonların optik özelliklerinin önemli oranda ve hedeflenen değerlerin üzerinde iyileştiği belirlenmiştir. El-Sakhawy (2005) hidrojen peroksit ve sodyum ditionit ile yapılan aşamalı ağartmanın, kağıt üretiminde mukavemet özellikleri ve parlaklık değerleri açısından en iyi sonuçları sağladığını bildirmiştir.

Çizelge 4.15 Ağartma işlemi sonrası elde edilen ALK'ların mekanik özelliklerine ait bulgular

	130 g/m ²	150 g/m ²	160 g/m ²	180 g/m ²
Kopma Uzunluğu (m)	3520	3480	3430	3410
Scott Bond (Kat Ayrımı (J/m²))	264	251	244	238
Patlama İndisi (kPa.m²/g)	2.05	2.16	2.18	2.26
Su Emme Davranışları (COBB₆₀) (g/m²)	28	32	34	37
Porozite (sn)	32	39	41	47

Yukarıda Çizelge 4.15 incelendiğinde 3 kademeli ağartma işlemi sonrası elde edilen kağıt ve kartonların mekanik özelliklerinden kopma uzunluğu kağıt ve karton gramajları arasında belirgin değişimler gözlenmemiştir. Kağıt ve kartonların gramajları yükseldikçe patlama kuvveti değerleri de yükselmiştir. Bu aşamada üretilen kağıtlara su direnci kimyasal katılarak ALK üretimine uygun su direnci ölçümü yapılmıştır. Sıvılara karşı direnç özellikleri bakımından kağıtlara nazaran kartonlarda daha yüksek tespit edilmiştir. Scott Bond-(kat ayrımı) testi kartonlara göre kağıtlarda daha yüksek sonuçlar vermiştir. Porozite değeri ise hedeflenen (ortalama 70 sn) değerden çok düşük değerler elde edilmiştir. Ağartma işlemleri selülozda bozunmaya neden olabilir bu da selülozun polimerizasyon derecesini düşürür (Dence ve Reeves,1996). Liflerdeki bu bozunma, ağartma sonrası üretilen kağıt ve kartonlarda mekanik özellikler bakımından düşüşler gözlenmesi muhtemeldir.

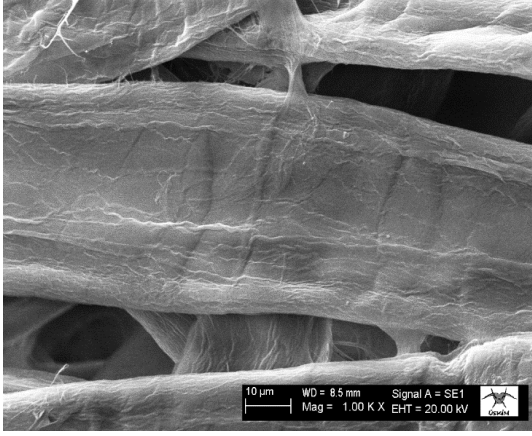
4.3. Dolgulu ALK'larının Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

Aşağıda Şekil 4.1'de bu tez çalışmasında kullanılmak üzere laboratuvarıda üretilmiş olan ALK örnekleri gösterilmiştir.

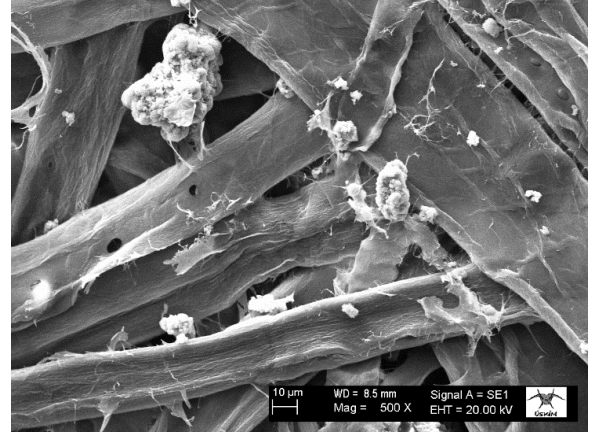


Şekil 4.1 Üretilen test kağıt ve kartonu

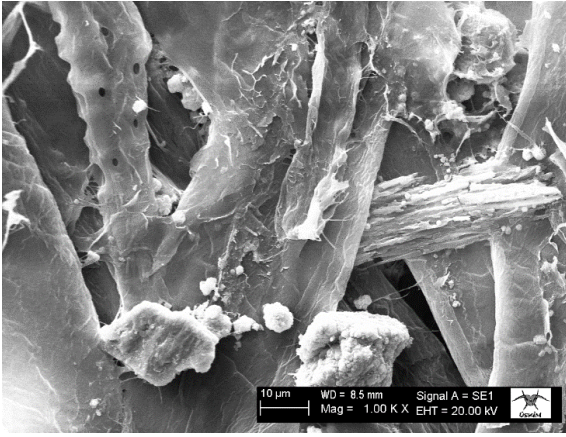
Bu çalışmada, üretilen kağıtların yapısal özelliklerinin incelenmesi amacıyla Elektron Taramalı Mikroskop (SEM) kullanılarak görüntüler elde edilmiştir. Şekil 4.2'de sırasıyla kontrol grubu kağıt ve boraks, kolemanit, uçucu kül dolgu maddesi eklenmiş kağıt örneklerinin SEM görüntüleri sunulmuştur.



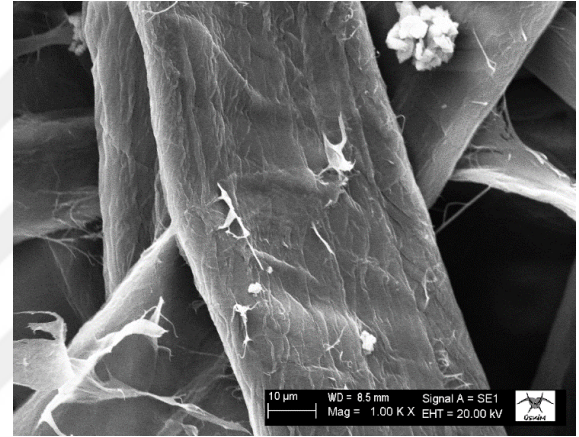
Kontrol kağıdı (dolgusuz)



%10 Kolemanit dolgulu



%10 Boraks dolgulu



%10 Uçucu Kül dolgulu

Şekil 4.2 Deney kağıtlarından kontrol ve %10 boraks, kolemanit, uçucu kül dolgulu 150 g/m² kağıtlara ait SEM görüntüleri

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere, kontrol grubu kağıtta herhangi bir dolgu maddesi tespit edilmemiştir. Bu, kontrol kağıdının homojen bir yüzeye sahip olduğunu ve üretim sürecinde dolgu maddesi kullanılmadığını göstermektedir. Buna karşın, dolgu maddesi eklenmiş kağıt örneklerinde, dolgu parçacıkları açıkça gözlemlenmektedir. Dolgu maddelerinin varlığı, kağıdın mikroyapısını değiştirerek yüzeyde belirgin morfolojik özellikler oluşturmuştur. Dolgu maddelerinin yoğunluğu ve dağılımı, SEM görüntüleri ile net bir şekilde görülmekte ve bu durum, dolgu maddelerinin kağıt matrisine başarılı bir şekilde entegre olduğunu göstermektedir. Dolgu maddelerinin boyutu ve dağılımı, kağıdın mekanik ve optik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir; bu nedenle, SEM analizleri bu çalışmanın önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

Boraks, Kolemanit ve Uçucu kül dolgularıyla elde edilen kağıt ve kartonların kalınlıklarına ait bulgular aşağıda Çizelge 4.16'da verilmiştir. Bulgulara göre dolgu ilavesi

ile tüm kağıt ve kartonların kalınlık değerlerinde %5 dolgu oranı katkısında %2, %10 dolgulu kağıtlarda %5 ve %20 dolgulu kağıtlarda yaklaşık %8 azalma gözlenmiştir. Selüloz liflerine oranla çok daha küçük yapıda ve daha yüksek yoğunluğa sahip dolgu maddeleri lifler arası boşluklara dolarak kağıt ve karton ağırlıklarının artmasına, daha az lifle aynı ağırlığa sahip kağıt ve kartonların üretilmesine sebep olmuştur. Bunun da kağıtta hacim düşüklüğüne (kalınlık) neden olduğu görülmüştür. Çalışmada %25 GCC dolgu katılan kağıt üretiminde hacimlilik değerlerinde %9 oranında düşüş olduğunu göstermiştir (Kıllı ve ark., 2022). Velho (2002)' bir çalışmada, ürettiği kağıtlara talk, PCC ve GCC dolgu maddelerini belirli oranlarda ilave etmiştir. Elde ettiği veriler, kullanılan dolguların tanecik boyutunun kağıt kalınlıklarında etkisi olduğunu bildirmiştir. Ayrıca dolgu miktarının arttıkça kağıt kalınlıklarının azaldığını bildirmiştir.

Çizelge 4.16 Dolgulu kağıt ve kartonların kalınlık değişimlerine ait bulgular

		Kolemanit	Boraks	Uçucu Kül
130 g/m ²	kontrol	31.2	31.2	31.2
	%5	30.4	29.6	29.8
	%10	29.5	29.2	28.8
	%20	28.7	28.4	28.4
150 g/m ²	kontrol	32.2	32.2	32.2
	%5	31.0	31.2	29.7
	%10	29.4	30.8	29.4
	%20	29.2	30.2	29.1
160 g/m ²	kontrol	33.3	33.3	33.3
	%5	32.1	31.9	32.1
	%10	31.6	31.8	31.8
	%20	31.4	31.2	31.6
180 g/m ²	kontrol	34.4	34.4	34.4
	%5	33.9	33.8	33.9
	%10	33.4	33.3	33.1
	%20	32.3	32.8	32.8

Boraks, Kolemanit ve Uçucu kül dolgu ilavesiyle elde edilen kağıt ve kartonların mekanik özelliklerine ait bulgular aşağıda Çizelge 4.17, Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19' da görüldüğü gibi, örneklerin gramajlara bağlı olarak mekanik özelliklerinde artış görülse de aynı gramajdaki dolgulu örneklerde, dolgu miktarı arttıkça mekanik özelliklerinde düşüşler gözlenmiştir.

Çizelge 4.17 Boraks dolgulu kağıt ve kartonların mekanik özellikleri

Deney Numarası	Gramaj (g/m ²)	Rutubet (%)	Kopma Uzunluğu (m)	Patlama İndisi (kPa.m ² /g)	Kat Ayrımı (J/m ²)	Boat Show Göstergesi	COBB60 (g/m ²)
						90 dk Altı/Üstü	
B1	130	7.4	2114	2.7	356	Üstü	32.2
B2		7.26	2002	2.6	333	Üstü	38
B3		7.3	1952	2.4	316	Üstü	47.8
B4		7.3	1914	2.2	311	Üstü	50
B5	150	7.34	2476	3.2	397	Üstü	33
B6		7.26	2320	3.0	374	Üstü	37.4
B7		7.44	2184	2.8	350	Üstü	53
B8		7.56	2050	2.5	316	Üstü	60.8
B9	160	7.58	2898	3.6	384	Üstü	33.4
B10		7.58	2712	3.5	365	Üstü	41
B11		7.46	2626	3.2	339	Üstü	50
B12		7.42	2492	3.0	323	Üstü	59.4
B13	180	7.64	3028	4.3	375	Üstü	50.6
B14		7.44	2756	4.2	326	Üstü	31.2
B15		7.48	2800	4.1	344	Üstü	39.2
B16		7.68	2598	3.8	322	Üstü	29.2

Yukarıda Çizelge 4.17 de görüldüğü gibi, örneklerin gramajlara bağlı olarak mekanik özelliklerinde artış görülse de aynı gramajdaki dolgu eklentili örneklerde, dolgu miktarı arttıkça mekanik özelliklerinde düşüşler gözlenmiştir.

Çizelge 4.18 Kolemanit dolgulu kağıt ve kartonların mekanik özellikleri

Deney Numarası	GRAMAJ (g/m ²)	RUTUBET (%)	KOPMA (m)	PATLAMA (kPa.m ² /g)	Kat Ayrımı (J/m ²)	Boat Show Göstergesi	COBB60 (g/m ²)
						90 dk Altı/Üstü	
K1	130	7.4	2114	2.7	356	Üstü	32.2
K2		7.5	1999	2.5	335	Üstü	39.8
K3		7.8	1950	2.4	322	Üstü	49.2
K4		7.3	1912	2.2	322	Üstü	51.6
K5	150	7.34	2476	3.2	397	Üstü	33
K6		7.4	2284	2.9	386	Üstü	41.8
K7		7.4	2204	2.8	392	Üstü	53.2
K8		7.6	2052	2.6	359	Üstü	64.2
K9	160	7.58	2898	3.6	384	Üstü	33.4
K10		7.2	2708	3.1	370	Üstü	42.4
K11		7.4	2636	2.9	367	Üstü	52.4
K12		7.4	2498	2.8	349	Üstü	63
K13	180	7.64	3028	4.3	375	Üstü	50.6
K14		7.7	2890	4.2	349	Üstü	33.2
K15		7.4	2756	4.1	330	Üstü	37.4
K16		7.44	2594	3.7	320	Üstü	54.4

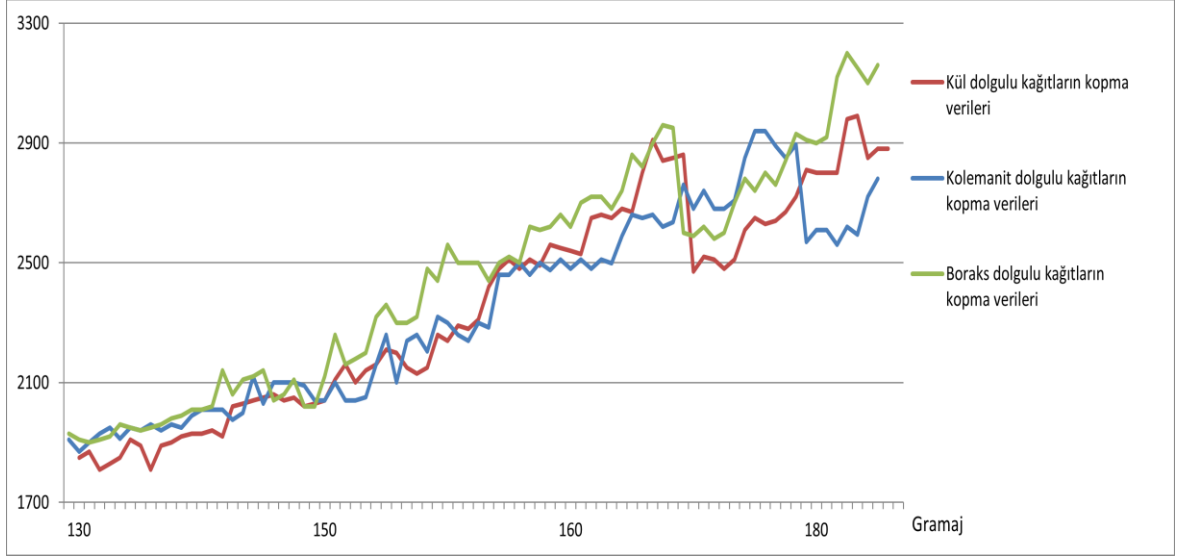
Yukarıda Çizelge 4.18 de örneklerin gramajlara bağlı olarak mekanik özelliklerinde artış görölse de aynı gramajdaki dolgulu örneklerde, dolgu miktarı arttıkça mekanik özelliklerinde düşüşler gözlenmiştir.

Çizelge 4.19 Uçucu Kül dolgulu kağıt ve kartonların mekanik özellikleri

Deney Numarası	GRAMAJ (g/m ²)	RUTUBET (%)	KOPMA (m)	PATLAMA (kPa.m ² /g)	Kat Ayrımı (J/m ²)	Boat Show Göstergesi	COBB60 (g/m ²)
						90 dk Altı/Üstü	
U1	130	7.4	2114	2.7	356	Üstü	32.2
U2		7.6	1928	2.6	333	Üstü	40.4
U3		7.7	1880	2.4	306	Üstü	50.8
U4		7.2	1842	2.1	288	Üstü	52.8
U5	150	7.34	2476	3.2	397	Üstü	33
U6		7.5	2168	2.9	369	Üstü	42.8
U7		7.6	2134	2.7	335	Üstü	53.2
U8		7.4	2036	2.5	295	Üstü	62.6
U9	160	7.58	2898	3.6	384	Üstü	33.4
U10		7.3	2662	3.2	356	Üstü	44.4
U11		7.6	2534	2.9	327	Üstü	54.4
U12		7.4	2480	2.7	319	Üstü	57
U13	180	7.64	3028	4.3	375	Üstü	50.6
U14		7.9	2786	4.1	343	Üstü	33.4
U15		7.4	2640	3.9	325	Üstü	36.8
U16		7.4	2498	3.5	319	Üstü	52.2

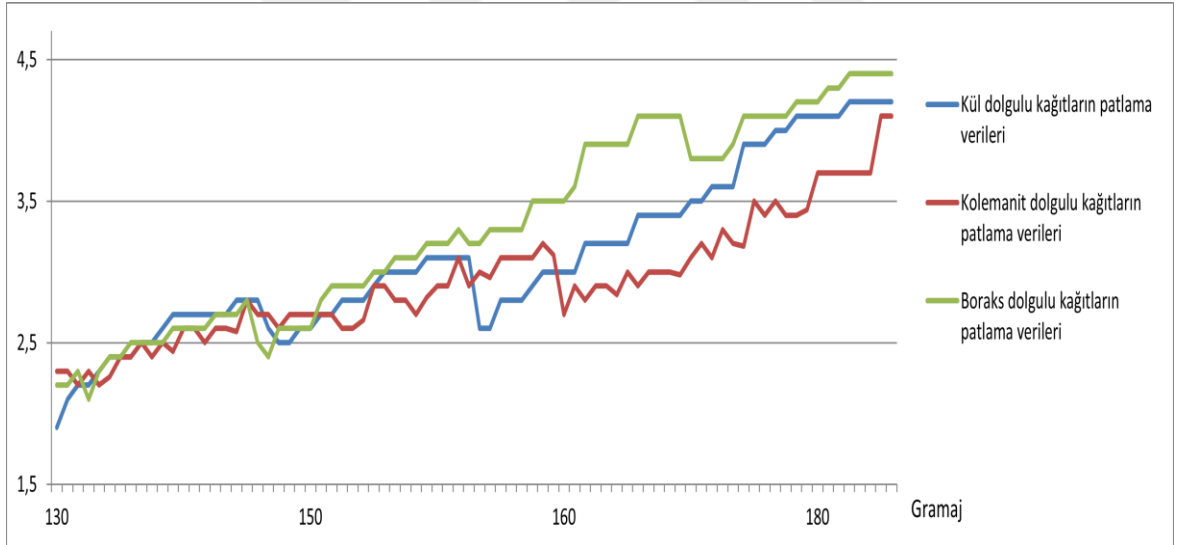
Elde edilen bu bulgulara göre alçı levha üretiminde kullanılan kağıt ve kartonların mekanik özellikleri, her bir grup kağıt ve karton için istenilen alçı levha kağıt ve kartonu olma özelliğini taşıması gereken değerleri karşılamaktadır. İlave edilen inorganik maddeler, kağıt ve kartonlarda literatüre uygun olarak dolgu özelliği göstermiş ve dolgu miktarı arttıkça lif-lif bağ sayısı ve bağ kabiliyet oranı azaldığı için mekanik özelliklerde azalma olduğu görülmüştür (Raymond ve ark., 2004; Subramanian ve ark., 2007; Shen ve ark., 2009, 2010; Dafchahi ve ark., 2021; Lourenço ve ark., 2019; Sözbir ve Çiçekler, 2022; Zhang ve ark., 2013; Gill, 1995).

Elde edilen bulgulara göre dolgulu kağıtlarda kendi grupları içerisinde kağıttan kartona geçildikçe mekanik özelliklerde gramaja bağlı olarak artışlar gözlenmiştir. Dolgu miktarı arttıkça mekanik özelliklerde azalma görülmüştür. Dolgu çeşitleri arasında belirgin farklar gözlenmemiştir (bkz. Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6).



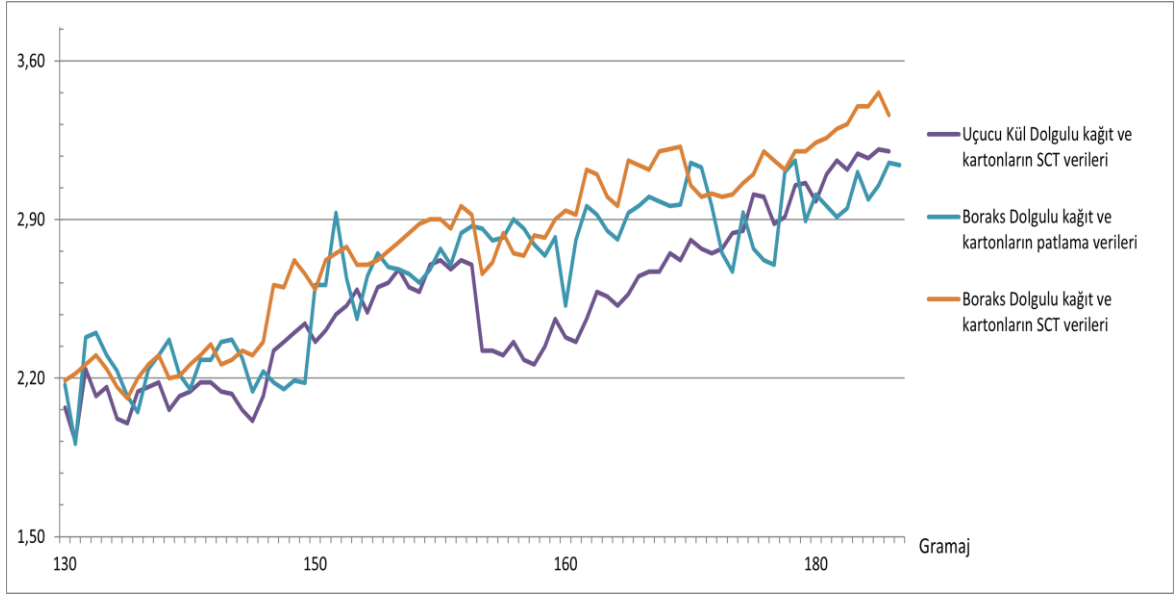
Şekil 4.3 Dolgulu deney kağıt ve kartonlarında kopma mukavemeti grafikleri

Yukarıda Şekil 4.3 incelendiğinde, kağıt ve kartonlarda gramaja göre kopma uzunluğu mukavemeti verilerinde artış görülmektedir.



Şekil 4.4 Dolgulu deney kağıt ve kartonlarında patlama mukavemeti grafikleri

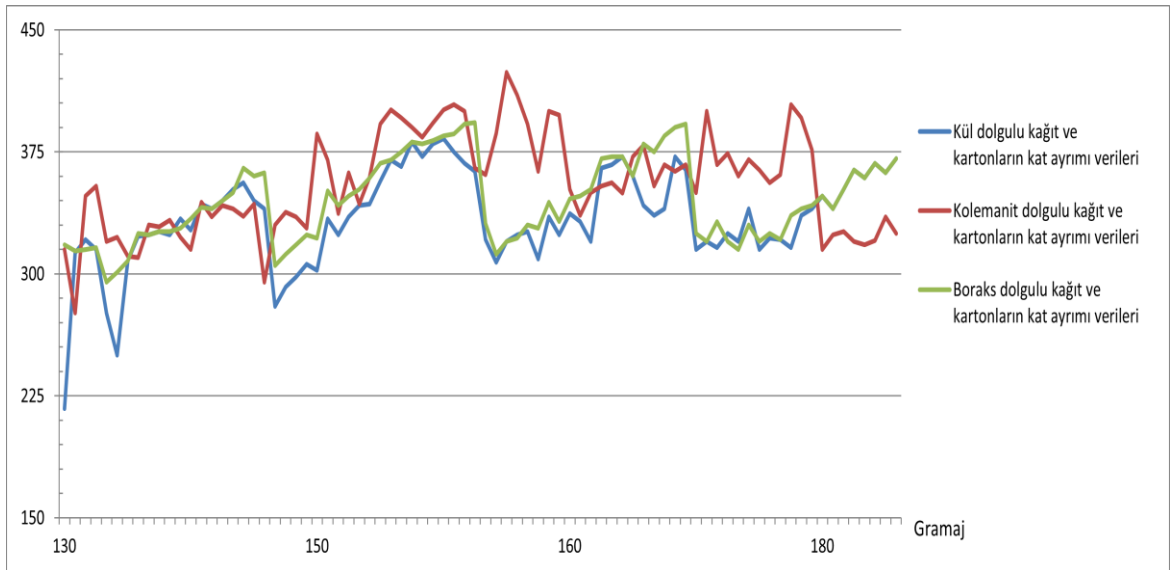
Üstte Şekil 4.4 incelendiğinde patlama mukavemetleri arasında en belirgin fark 160 gramajlı kağıtlarda görülsede Şekil 4.3 ile benzer özellikler gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4.5 Dolgulu deney kağıt ve kartonlarında SCT mukavemeti grafikleri

SCT (Short Span Compressive Strength- yatay sıkışma direnci) değeri, kağıdın basınç altında ne kadar dayanıklı olduğunu gösterir. Bu, kağıdın ambalaj malzemeleri veya diğer uygulamalarda ne kadar iyi koruyucu bir tabaka sağlayabileceğini belirlemek için önemlidir. SCT değeri ne kadar yüksekse, kağıdın basınca karşı o kadar dirençli olduğu anlamına gelir (Retulainen ve Keränen, 2017).

Yukarıda Şekil 4.5 incelendiğinde SCT mukavemetleri açısından 160 gramajlı kağıtların uçucu kül dolgulu deneylerinde en düşük değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Kopma uzunluğu ve patlama indisi eğrileri ile Şekil 4.5 benzerlik görülmektedir.



Şekil 4.6 Dolgulu deney kağıt ve kartonlarında kat ayrımı grafikleri

Kağıt üretiminde Scott Bond değeri, kağıdın içsel kuvvetini veya katmanlar arasındaki yapışma kuvvetini ifade eder. Daha teknik bir ifadeyle, Scott Bond değeri, kağıdın z-plane (kalınlık yönünde) kopma mukavemetini ölçer. Bu test, kağıdın çeşitli katmanlarının ne kadar iyi bir şekilde birbirine yapıştığını ve kopmaya karşı ne kadar dirençli olduğunu belirlemek için kullanılır (Fellers ve ark., 2012). Yukarıda Şekil 4.6'de uçucu kül, kolemanit ve boraks dolgu maddeleri kullanılarak üretilen kağıt ve kartonların Scott Bond (kat ayrımı) değerleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, kolemanit dolgulu kağıtların genellikle en yüksek içsel yapışma kuvvetine sahip olduğunu, boraks dolgulu kağıtların ise daha stabil ve yüksek Scott Bond değerleri sergilediğini göstermiştir. Uçucu kül dolgusu, diğer dolgu maddelerine kıyasla daha düşük ve dalgalı kat ayrımı değerleri sunmuştur. Bu bulgular, farklı dolgu maddelerinin kağıt ve karton ürünlerinin mekanik dayanıklılığı üzerindeki etkisini vurgulamakta ve özellikle yüksek kat ayrımı değeri gerektiren uygulamalarda kolemanit dolgusunun tercih edilebileceğini ortaya koymaktadır. Çalışma, dolgu maddesi seçiminin nihai ürün performansını nasıl etkileyebileceğini anlamak açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

Üretilen dolgulu kağıt ve kartonların yoğunlukları aşağıda Çizelge 4.20 verilmiştir. Bu çizelgeye bakıldığında kontrol kağıtlarına eklenen dolgular kağıt ve kartonların yoğunluklarını arttırmıştır. Dolgu maddelerinin yoğunluğu, kağıt liflerinden daha yüksek olduğu için üretilen kağıt ve kartonların yoğunluğu yüksek çıkmıştır. Bu bilgiler kağıt ve karton üretim sürecinde istenilen yoğunluğa ulaşmak için doğru dolgu maddesinin ve oranının seçilmesinde faydalı olabilir.

Çizelge 4.20 Dolgulu ALK'larının yoğunluklarına ait bulgular

		Kolemanit (g/cm³)	Boraks (g/cm³)	Kül (g/cm³)
130 g/m ²	kontrol	0.417	0.417	0.417
	%5	0.830	0.701	0.861
	%10	0.837	0.707	0.862
	%20	0.844	0.712	0.869
150 g/m ²	kontrol	0.467	0.467	0.467
	%5	0.871	0.750	0.904
	%10	0.902	0.749	0.901
	%20	0.895	0.757	0.908
160 g/m ²	kontrol	0.480	0.480	0.480
	%5	0.888	0.747	0.899
	%10	0.889	0.749	0.895
	%20	0.892	0.756	0.910
180 g/m ²	kontrol	0.520	0.520	0.520
	%5	0.909	0.772	0.932
	%10	0.925	0.778	0.940
	%20	0.935	0.785	0.944

4.4. ALK'ların Radyasyon Soğurma Özelliklerine Ait Bulgular

Knoll (2002), çalışmasında gama radyoizotop kaynaklarından biri olan Cs-137 gama radyoizotop kaynağının, tek gama enerji pikine sahip olup, gama enerjisi 0.662 MeV ve XCOM ile hesaplamalarda bu enerji değerini aldığını bildirmiştir. Buna karşın, Co-60 gama radyoizotop kaynağı iki enerji pikine sahip olduğunu bildirmiştir. Bu enerjiler; 1.17 MeV ve 1.33 MeV'dir.

Ayrıca bu kapsamda üretilen kağıtların, uluslararası literatürde güvenilirliği kabul edilen XCOM bilgisayar kodu kullanılarak teorik kütle zayıflatma katsayıları da hesaplanmıştır (Demir, 2010; Han ve Demir, 2009).

XCOM bilgisayar programı element, bileşik ve karışım malzemelerinin 1 keV-100 GeV enerji aralığında bulunan radyasyon karşısındaki fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu tesir kesitlerinin hesaplanması ve bunlara bağlı olarak maddelerin teorik kütle zayıflatma katsayılarının elde edilmesini sağlayan program olarak ifade edilmektedir. Bu program Malzemelerin içeriği ve yüzde bileşim değerleri değerlendirilmekte ve istenilen enerji seviyesindeki teorik kütle zayıflatma katsayısını hesaplayabilmektedir (Berger ve ark., 2013).

Üretilen kağıt ve kartonların bazı radyasyon zırhlama parametreleri aşağıdaki gibidir;

- Doğrusal zayıflama katsayısı (Linear Attenuation Coefficient (LAC- μ)) Doğrusal (Lineer) soğurma katsayısı bir malzemenin radyasyon soğurma miktarını gösterir. LAC (μ) değeri ne kadar büyük ise radyasyon soğurma miktarı o oranda yüksektir (Kılınçarslan, 2015).
- Yarı geçirgenlik değeri (Half Value Layer (HVL)): malzeme ile etkileşen gama miktarını yarıya indirmek için gerekli malzeme kalınlığıdır ve $(HVL)=\ln 2 / \mu$ (cm) ile hesaplanır (Eskalen ve ark., 2020).
- Ona bir geçirgenlik değeri (Tenth Value Layer (TVL)): malzeme ile etkileşen gama miktarını onda birine indirmek için gerekli malzeme kalınlığıdır ve $TVL=\ln 10 / \mu$ (cm) ile hesaplanır (Eskalen ve ark. 2020).
- Ortalama serbest yol (Mean Free Path (MFP)) radyasyon parçacığının malzeme içerisindeki alabileceği yolu ifade etmektedir ve $(MFP)=1/\mu$ (cm) ile hesaplanır (Eskalen ve ark., 2020).
- Kütle zayıflama katsayısı (Mass Attenuation Coefficient (MAC)), birim kütlenin soğurabileceği radyasyon miktarıdır ve, $\mu_m = \mu/\rho$ cm²/g, ile gösterilir (Eskalen ve ark. 2020). ρ burada yoğunluğu ifade etmektedir.

Radyasyon soğurma deneyleri Kobalt 1173 ve 1333 keV ve Sezyum 662 keV enerji boylarında olacak şekilde deney planına uygun olarak üretilen tüm kağıtlara uygulanmıştır.

Çizelge 4.21 Kolemanit dolgulu kağıtların Kobalt 1173 keV enerjide soğurma deneyi ölçümlerine ait bulgular

	LAC (μ)(cm^{-1})	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$)
K1	0.027 $\pm$ 0.008	26.118	86.761	37.680	0.196 $\pm$ 0.039
K2	0.061 $\pm$ 0.005	11.295	37.520	16.295	0.116 $\pm$ 0.005
K3	0.097 $\pm$ 0.003	7.112	23.627	10.261	0.074 $\pm$ 0.013
K4	0.165 $\pm$ 0.001	4.193	13.928	6.049	0.064 $\pm$ 0.031
K5	0.011 $\pm$ 0.007	60.650	201.474	87.499	0.152 $\pm$ 0.037
K6	0.029 $\pm$ 0.004	24.051	79.894	34.698	0.078 $\pm$ 0.004
K7	0.071 $\pm$ 0.001	9.816	32.606	14.161	0.033 $\pm$ 0.016
K8	0.136 $\pm$ 0.001	5.108	16.968	7.369	0.024 $\pm$ 0.025
K9	0.077 $\pm$ 0.022	9.040	30.030	13.042	0.504 $\pm$ 0.084
K10	0.256 $\pm$ 0.017	2.703	8.979	3.900	0.382 $\pm$ 0.03
K11	0.34 $\pm$ 0.013	2.040	6.776	2.943	0.289 $\pm$ 0.012
K12	0.449 $\pm$ 0.004	1.543	5.125	2.226	0.16 $\pm$ 0.102
K13	0.043 $\pm$ 0.012	16.287	54.103	23.496	0.263 $\pm$ 0.052
K14	0.119 $\pm$ 0.008	5.841	19.402	8.426	0.174 $\pm$ 0.01
K15	0.161 $\pm$ 0.006	4.302	14.291	6.207	0.131 $\pm$ 0.012
K16	0.246 $\pm$ 0.002	2.821	9.371	4.070	0.082 $\pm$ 0.05

Yukarıda Çizelge 4.21 incelendiğinde K1, K5, K9 ve K13 kontrol örneklerini temsil etmektedir. 1173 keV enerjide yapılan bu ölçümler için çizelgeye bakıldığında kontrol örneklerine yapılan kolemanit dolgu ilaveleri ile soğurma özelliklerinde artış gözlenmiştir. En yüksek soğurma K12 (160 g/m², %20 dolgulu) kartonlarda görülmüştür.

Çizelge 4.22 Boraks dolgulu kağıtların Kobalt 1173 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri

	LAC (μ)(cm⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC (cm².g⁻¹)
B1	0.027±0.009	26.118	86.761	37.680	0.248±0.04
B2	0.051±0.006	13.513	44.891	19.496	0.183±0.017
B3	0.129±0.003	5.354	17.786	7.725	0.07±0.022
B4	0.177±0.001	3.924	13.037	5.662	0.064±0.035
B5	0.011±0.007	60.650	201.474	87.499	0.179±0.026
B6	0.091±0.005	7.604	25.261	10.971	0.127±0.006
B7	0.095±0.005	7.273	24.159	10.492	0.122±0.004
B8	0.136±0.001	5.108	16.968	7.369	0.024±0.036
B9	0.077±0.013	9.040	30.030	13.042	0.331±0.041
B10	0.149±0.01	4.664	15.494	6.729	0.267±0.015
B11	0.2±0.007	3.472	11.535	5.010	0.199±0.01
B12	0.25±0.004	2.769	9.200	3.995	0.16±0.046
B13	0.043±0.008	16.287	54.103	23.496	0.214±0.029
B14	0.099±0.006	7.018	23.313	10.125	0.165±0.009
B15	0.128±0.005	5.411	17.974	7.806	0.128±0.005
B16	0.168±0.002	4.123	13.695	5.948	0.082±0.033

Yukarıda Çizelge 4.22 incelendiğinde 1173 keV enerji ölçümleri Boraks dolgulu kağıtlarda gerçekleşmiştir. B1, B5, B9 ve B13 kontrol örneklerini temsil etmektedir. Çizelgeye bakıldığında kontrol örneklerine yapılan Boraks dolgu ilavelerinde soğurma özelliklerinde artış gözlenmiştir. En yüksek soğurma B12 (160 g/m², %20 dolgulu) kartonlarda görülmüştür.

Çizelge 4.23 Uçucu Kül dolgulu kağıtların Kobalt 1173 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri

	LAC (μ)(cm⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC (cm².g⁻¹)
U1	0.027±0.007	26.118	86.761	37.680	0.155±0.029
U2	0.051±0.005	13.513	44.891	19.496	0.107±0.008
U3	0.092±0.003	7.516	24.968	10.844	0.06±0.012
U4	0.135±0.001	5.139	17.070	7.413	0.064±0.025
U5	0.011±0.005	60.650	201.474	87.499	0.114±0.024
U6	0.037±0.004	18.914	62.829	27.286	0.078±0.008
U7	0.071±0.002	9.816	32.606	14.161	0.041±0.009
U8	0.104±0.001	6.686	22.209	9.645	0.024±0.022
U9	0.077±0.016	9.040	30.030	13.042	0.352±0.064
U10	0.146±0.011	4.752	15.787	6.856	0.249±0.016
U11	0.223±0.007	3.106	10.319	4.481	0.162±0.023
U12	0.32±0.004	2.166	7.197	3.126	0.16±0.057
U13	0.043±0.007	16.287	54.103	23.496	0.156±0.025
U14	0.084±0.006	8.211	27.276	11.846	0.126±0.01
U15	0.119±0.004	5.841	19.402	8.426	0.091±0.007
U16	0.147±0.002	4.708	15.639	6.792	0.082±0.028

Yukarıda Çizelge 4.23 incelendiğinde 1173 keV enerjide uçucu kül dolgulu kağıtların soğurma ölçümleri gerçekleşmiştir. Çizelgede U1, U5, U9 ve U13 kontrol örneklerini temsil etmektedir. Çizelgeye bakıldığında kontrol örneklerine yapılan uçucu kül dolgu ilavelerinde soğurma özelliklerinde artış gözlenmiştir. En yüksek soğurma U12 (160 g/m², %20 dolgulu) kartonlarda görülmüştür.

Çizelge 4.24 Kolemanit dolgulu kağıtların Kobalt 1333 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri

	LAC (μ)(cm ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC (cm ² .g ⁻¹)
K1	0.02±0.006	35.3	117.264	50.927	0.143±0.026
K2	0.054±0.004	12.784	42.466	18.443	0.097±0.006
K3	0.081±0.003	8.561	28.438	12.35	0.065±0.007
K4	0.121±0.001	5.733	19.043	8.27	0.047±0.025
K5	0.017±0.006	41.241	137.001	59.499	0.127±0.026
K6	0.044±0.004	15.824	52.567	22.83	0.079±0.005
K7	0.072±0.002	9.688	32.183	13.977	0.05±0.009
K8	0.113±0.001	6.116	20.318	8.824	0.036±0.022
K9	0.071±0.014	9.825	32.637	14.174	0.303±0.037
K10	0.169±0.014	4.107	13.642	5.925	0.312±0.04
K11	0.278±0.008	2.496	8.29	3.6	0.19±0.014
K12	0.271±0.004	2.562	8.51	3.696	0.147±0.063
K13	0.016±0.008	44.153	146.672	63.699	0.171±0.041
K14	0.046±0.004	14.996	49.814	21.634	0.095±0.005
K15	0.088±0.002	7.889	26.207	11.382	0.051±0.016
K16	0.16±0.001	4.328	14.379	6.245	0.03±0.031

Çizelge 4.24 incelendiğinde 1333 keV enerjili yapılan ölçümlerde kolemanit dolgulu kağıtlar içerisinde en yüksek soğurma ölçümleri dolgulu K12 (160 g/m², %20 dolgulu) kartonlarda görülmüş olsada K11 (160 g/m², %10 dolgulu) kartonları ile çok yakın veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.25 Boraks dolgulu kağıtların Kobalt 1333 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri

	LAC (μ)(cm⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC (cm².g⁻¹)
B1	0.02±0.007	35.3	117.264	50.927	0.192±0.031
B2	0.045±0.005	15.247	50.648	21.996	0.14±0.012
B3	0.099±0.002	6.987	23.21	10.08	0.062±0.015
B4	0.137±0.001	5.07	16.843	7.315	0.047±0.028
B5	0.017±0.008	41.241	137.001	59.499	0.2±0.037
B6	0.059±0.004	11.78	39.133	16.995	0.109±0.002
B7	0.082±0.003	8.471	28.139	12.22	0.078±0.009
B8	0.151±0.001	4.579	15.211	6.606	0.036±0.03
B9	0.071±0.016	9.825	32.637	14.174	0.431±0.074
B10	0.122±0.01	5.703	18.946	8.228	0.256±0.007
B11	0.192±0.006	3.617	12.016	5.218	0.163±0.028
B12	0.326±0.004	2.129	7.071	3.071	0.147±0.053
B13	0.016±0.005	44.153	146.672	63.699	0.129±0.024
B14	0.041±0.003	16.766	55.697	24.189	0.074±0.002
B15	0.058±0.002	12.011	39.9	17.329	0.054±0.006
B16	0.102±0.001	6.825	22.672	9.846	0.03±0.019

Yukarıda Çizelge 4.25 incelendiğinde 1333 keV enerjili yapılan ölçümlerde boraks dolgulu kağıtlar içerisinde en yüksek soğurma ölçümleri dolgulu B12 (160 g/m², %20 dolgulu) kartonlarda görülmüştür.

Çizelge 4.26 Uçucu Kül dolgulu kağıtların Kobalt 1333 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri

	LAC (μ)(cm⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC (cm².g⁻¹)
U1	0.02±0.007	35.3	117.264	50.927	0.172±0.038
U2	0.04±0.004	17.475	58.05	25.211	0.101±0.007
U3	0.087±0.002	7.966	26.463	11.493	0.046±0.017
U4	0.15±0.001	4.635	15.399	6.688	0.047±0.027
U5	0.017±0.006	41.241	137.001	59.499	0.128±0.022
U6	0.066±0.004	10.432	34.654	15.05	0.099±0.009
U7	0.09±0.003	7.735	25.695	11.159	0.074±0.003
U8	0.116±0.001	5.975	19.85	8.621	0.036±0.028
U9	0.071±0.016	9.825	32.637	14.174	0.345±0.048
U10	0.208±0.014	3.328	11.056	4.801	0.314±0.031
U11	0.281±0.01	2.464	8.184	3.554	0.232±0.005
U12	0.314±0.004	2.205	7.324	3.181	0.147±0.074
U13	0.016±0.007	44.153	146.672	63.699	0.141±0.027
U14	0.063±0.005	11.06	36.741	15.956	0.114±0.014
U15	0.107±0.003	6.493	21.571	9.368	0.067±0.008
U16	0.133±0.001	5.208	17.301	7.514	0.03±0.032

Çizelge 4.26 incelendiğinde 1333 keV enerjili yapılan ölçümlerde uçucu kül dolgulu kağıtlar içerisinde en yüksek soğurma ölçümleri dolgulu U12 (160 g/m², %20 dolgulu) kartonlarda görülmüş olsada U11 (160 g/m², %10 dolgulu) kartonları ile çok yakın veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.27 Kolemanit dolgulu kağıtların Sezyum 662 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri

	LAC (μ)(cm⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC (cm².g⁻¹)
K1	0.054±0.005	12.743	42.332	18.384	0.113±0.014
K2	0.209±0.007	3.324	11.041	4.795	0.166±0.007
K3	0.139±0.01	5.002	16.615	7.216	0.251±0.042
K4	0.096±0.003	7.25	24.085	10.46	0.13±0.035
K5	0.047±0.012	14.737	48.955	21.261	0.265±0.039
K6	0.145±0.01	4.774	15.86	6.888	0.233±0.025
K7	0.21±0.007	3.305	10.979	4.768	0.167±0.007
K8	0.237±0.002	2.928	9.726	4.224	0.101±0.056
K9	0.028±0.015	25.038	83.176	36.123	0.337±0.079
K10	0.082±0.008	8.479	28.166	12.232	0.179±0.008
K11	0.159±0.004	4.367	14.508	6.301	0.092±0.03
K12	0.3±0.001	2.308	7.668	3.33	0.058±0.057
K13	0.02±0.009	34.367	114.166	49.582	0.201±0.037
K14	0.096±0.008	7.222	23.991	10.419	0.167±0.02
K15	0.154±0.005	4.488	14.91	6.476	0.106±0.009
K16	0.188±0.001	3.687	12.248	5.319	0.039±0.047

Yukarıda Çizelge 4.27 incelendiğinde 662 keV enerjili yapılan ölçümlerde Kolemanit dolgulu kağıtlar içerisinde en yüksek soğurma ölçümleri B12 (160 g/m², %20 dolgulu) kartonlarda görülmüştür.

Çizelge 4.28 Boraks dolgulu kağıtların Sezyum 662 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri

	LAC (μ)(cm⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC (cm².g⁻¹)
B1	0.054±0.011	12.743	42.332	18.384	0.303±0.045
B2	0.096±0.007	7.25	24.085	10.46	0.191±0.005
B3	0.135±0.005	5.126	17.029	7.396	0.131±0.015
B4	0.216±0.003	3.212	10.669	4.634	0.13±0.035
B5	0.047±0.022	14.737	48.955	21.261	0.572±0.077
B6	0.247±0.02	2.805	9.319	4.047	0.523±0.056
B7	0.392±0.012	1.768	5.873	2.551	0.329±0.016
B8	0.433±0.002	1.601	5.319	2.31	0.101±0.116
B9	0.028±0.015	25.038	83.176	36.123	0.391±0.073
B10	0.104±0.009	6.651	22.093	9.595	0.228±0.011
B11	0.171±0.005	4.059	13.482	5.855	0.14±0.023
B12	0.296±0.001	2.344	7.787	3.382	0.058±0.061
B13	0.02±0.008	34.367	114.166	49.582	0.212±0.031
B14	0.096±0.007	7.222	23.991	10.419	0.174±0.015
B15	0.135±0.005	5.127	17.031	7.397	0.124±0.004
B16	0.166±0.001	4.172	13.859	6.019	0.039±0.042

Yukarıda Çizelge 4.28 incelendiğinde 662 keV enerjili yapılan ölçümlerde boraks dolgulu kağıtlar içerisinde en yüksek soğurma ölçümleri dolgulu B8 (150 g/m², %20 dolgulu) kağıtlarda görülmüştür.

Çizelge 4.29 Uçucu Kül dolgulu kağıtların Sezyum 662 keV enerjide soğurma deneyi ölçümleri

	LAC (μ)(cm ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	MAC (cm ² .g ⁻¹)
U1	0.054±0.006	12.743	42.332	18.384	0.133±0.02
U2	0.061±0.004	11.433	37.981	16.495	0.085±0.001
U3	0.073±0.003	9.469	31.455	13.661	0.07±0.008
U4	0.115±0.003	6.016	19.985	8.68	0.13±0.011
U5	0.047±0.013	14.737	48.955	21.261	0.28±0.048
U6	0.105±0.011	6.579	21.854	9.491	0.248±0.033
U7	0.223±0.005	3.106	10.319	4.481	0.117±0.026
U8	0.254±0.002	2.729	9.065	3.937	0.101±0.055
U9	0.028±0.017	25.038	83.176	36.123	0.377±0.072
U10	0.163±0.013	4.26	14.151	6.146	0.295±0.032
U11	0.264±0.008	2.625	8.72	3.787	0.181±0.018
U12	0.343±0.001	2.023	6.72	2.919	0.058±0.086
U13	0.02±0.011	34.367	114.166	49.582	0.225±0.044
U14	0.116±0.008	5.959	19.794	8.596	0.16±0.013
U15	0.151±0.006	4.604	15.294	6.642	0.125±0.004
U16	0.212±0.001	3.264	10.841	4.708	0.039±0.052

Yukarıda Çizelge 4.29 incelendiğinde 662 keV enerjili yapılan ölçümlerde uçucu kül dolgulu kağıtlar içerisinde en yüksek soğurma ölçümleri U12 (160 g/m², %20 dolgulu) kartonlarda görülmüştür.

Bazı radyoloji ve endüstriyel uygulamalarda farklı enerji seviyelerde kurşun ve beton için bilinen HVL ve TVL değerleri aşağıda Çizelge 4.30'da verilmiştir (NCRP Report, 1976).

Çizelge 4.30 Radyoloji ve endüstriyel radyografi uygulamalarında X-ışınları için HVL ve TVL değerleri

Maksimum Tüp Gerilimi (keV)	Kurşun (mm)		Beton (cm)	
	HVL	TVL	HVL	TVL
50	0.06	0.17	0.43	1.5
70	0.17	0.52	0.84	2.8
100	0.27	0.88	1.6	5.3
125	0.28	0.93	2	6.6
150	0.3	0.99	2.24	7.4
200	0.52	1.7	2.5	8.4
250	0.88	2.9	2.8	9.4
300	1.47	4.8	3.1	10.4
400	2.5	8.3	3.3	10.9
500	3.6	11.9	3.6	11.7

Aşağıda Çizelge 4.31'e bakıldığında kurşun ve beton için TVL değerleri Cs-137 için sırasıyla 2.16-15.7 olarak verilmiştir. Co-60 için bu değerler sırasıyla 4.00-20.6 olarak bildirilmiştir (NCRP Report, 1976).

Çizelge 4.31 Bazı radyoaktif kaynakların kurşun ve beton için TVL değerleri

Radyoizotop	TVL Değeri	
	Kurşun (cm)	Beton (cm)
Cs-137	2.16	15.7
Co-60	4	20.6

Aşağıda Çizelge 4.32'de bu çalışmada kullanılan enerji aralıklarında kurşun, alüminyum ve su için HVL değerleri verilmiştir (Bircan ve ark., 2017).

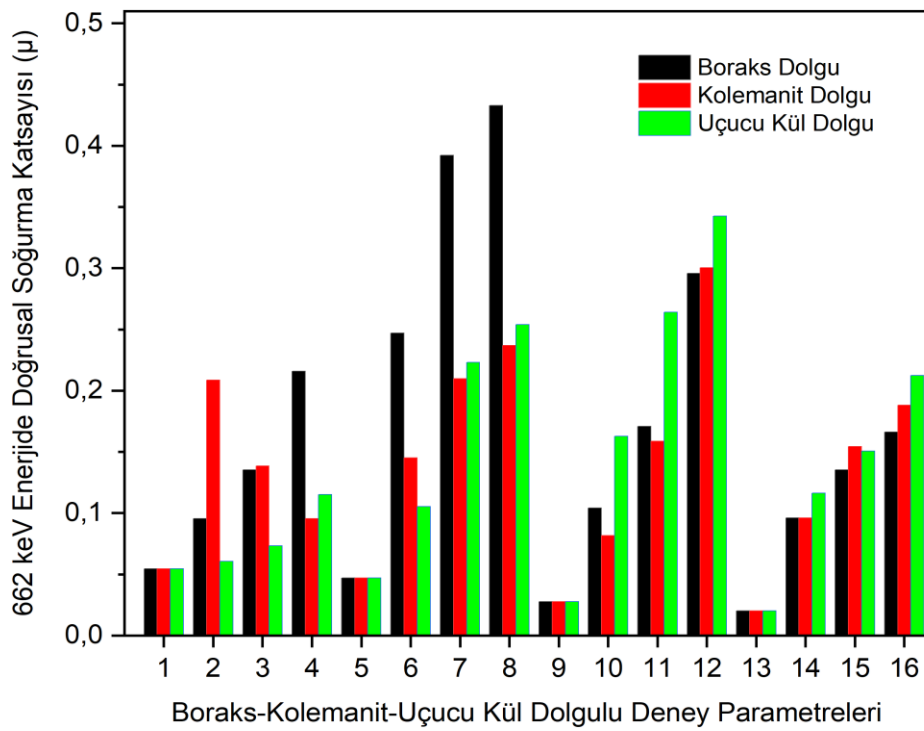
Çizelge 4.32 Bazı Elementlerin Bazı Foton Enerjilerinde Yarı Değer Kalınlıkları (HVL)

Enerji (MeV)	Kurşun (cm)	Alüminyum (cm)	Su (cm)
0.662	0.558	3.424	8.039
1.173	0.987	4.541	10.662
1.332	1.088	4.829	11.342

Çizelge 4.33 incelendiğinden MAC ve LAC değerleri normal beton, barit agregalı ağır beton ve kurşun için ayrı ayrı verilmiştir.

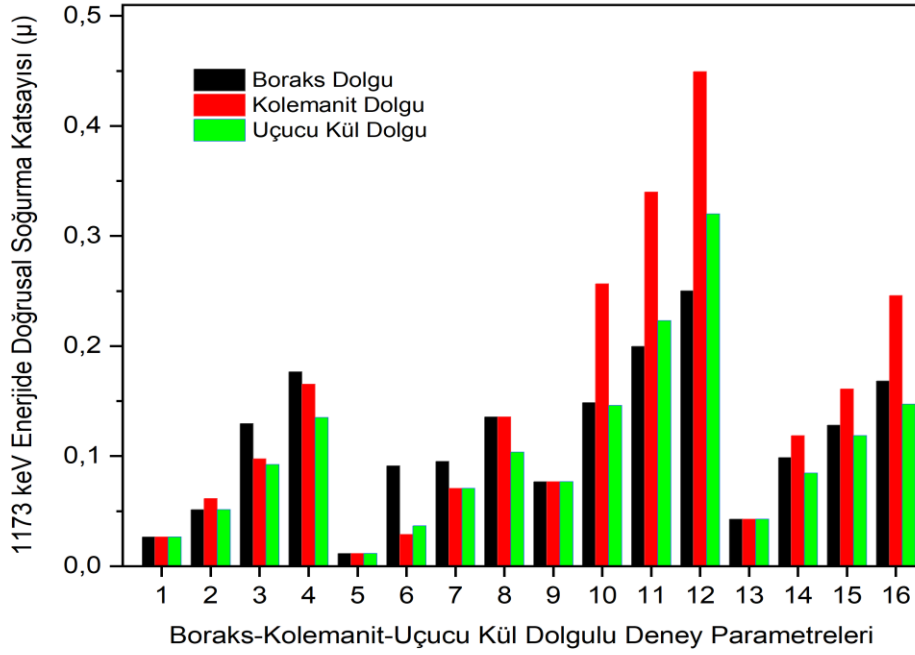
Çizelge 4.33 Co-60 Kaynağı için Bazı Yapı Malzemelerinin Kütlesel ve Doğrusal Zayıflatma Katsayıları

Yapı Malzemesi	μ/ρ (cm ² /g)	μ (1/cm)
Normal Beton (Kılınçarslan, 2007)	0.0388	0.0933
Barit Agregalı Ağır Beton (Bashter, 1997)	0.0382	0.1305
Kurşun Beton (Bashter, 1997)	0.0056	0.616



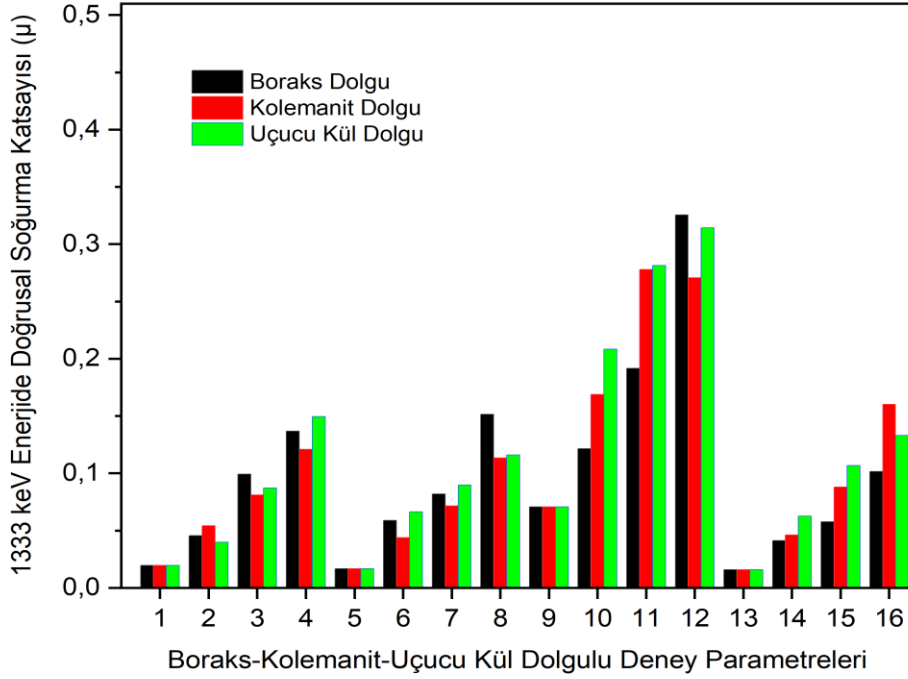
Şekil 4.7 Dolgulu ALK'larda 662 keV enerjide soğurma ölçümlerine ait bulgular

Yukarıdaki Şekil 4.7'de x ekseninde 1,2,3...16 olarak belirtilen sayılar deney parametrelerinden kolemanit, boraks ve uçucu kül için Çizelge 3.9'da verilen dolgulu kağıt ve karton üretiminde uygulanan deney planındaki numune kodlarıdır. Y eksenini ise 662 keV enerjide doğrusal soğurma katsayısını göstermektedir.



Şekil 4.8 Dolgulu ALK'larda 1173 keV enerjide soğurma ölçümlerine ait bulgular

Yukarıdaki Şekil 4.8'de x ekseninde 1,2,3...16 olarak belirtilen sayılar deney parametrelerinden kolemanit, boraks ve uçucu kül için Çizelge 3.9'da verilen dolgulu kağıt ve karton üretiminde uygulanan deney planındaki numune kodlarıdır. Y eksenini ise 1173 keV enerjide doğrusal soğurma katsayısını göstermektedir



Şekil 4.9 Dolgulu ALK'larda 1333 keV enerjide soğurma ölçümlerine ait bulgular

Yukarıdaki Şekil 4.9'da x ekseninde 1,2,3...16 olarak belirtilen sayılar deney parametrelerinden kolemanit, boraks ve uçucu kül için Çizelge 3.9'da verilen dolgulu kağıt ve karton üretiminde uygulanan deney planındaki numune kodlarıdır. Y eksenine ise 1333 keV enerjide doğrusal soğurma katsayısını göstermektedir.

Yukarıdaki veriler göz önüne alındığında, 1173 KeV enerjide en iyi verim, HVL, TVL ve MFP değerleri bakımından, 160 g/m² kolemanit dolgulu kağıtlarda sırasıyla 1,86 cm, 6.18 cm ve 2.68 cm olarak en düşük değerlere ulaşmıştır. Buna en yakın değerler ise %20 katkı oranıyla 160 g/m² uçucu kül dolgulu kartonlarda sırasıyla 2.85 cm, 9.46 cm ve 4.11 cm olarak elde edilmiştir. LAC ve MAC değerleri açısından en yüksek sonuçlar yine 160 g/m² kolemanit dolgulu kartonlarda sırasıyla 0.05 cm²/g ve 0.045 cm²/g olarak gözlemlenmiştir. Bu değerleri, %20 katkı oranıyla uçucu kül dolgulu kağıtlar takip etmiştir.

1333 keV enerjide yapılan çalışmalarda, HVL, TVL ve MFP değerleri bakımından en iyi verim %20 katkılı 160 g/m² kağıtlarda elde edilmiştir. Bu çalışmalarda, boraks katkısı için sırasıyla 2.71, 9.02 ve 3.92 değerleri ölçülürken, bu değerlere en yakın sonuçlar uçucu kül katkılarında sırasıyla 2.8, 9.44 ve 4.1 olarak elde edilmiştir. Doğrusal zayıflatma

katsayısı (LAC) ve kütleli zayıflatma katsayısı (MAC) açısından incelendiğinde, 160 g/m² kağıtlarda en yüksek değerler yine boraks dolgulu kağıtlarda elde edilmiştir. Bu çalışmada, %20 boraks dolgulu kağıtlarda LAC ve MAC sırasıyla 0.255 ve 0.074 olarak ölçülürken, uçucu kül dolgulu kağıtlarda bu değerler sırasıyla 0.24 ve 0.04 olarak tespit edilmiştir.

662 keV enerjide yapılan çalışmalarda, HVL, TVL ve MFP değerleri bakımından en iyi verim, %20 boraks katkılı 150 g/m² kağıtlarda elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla 1.8, 5.97 ve 2.59 olarak ölçülmüştür. Boraks katkısının etkisine en yakın veriler, %20 uçucu kül katkısı ile üretilen ve 160 g/m² kağıtlarda elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla 2.201, 7.3 ve 3.17 olarak ölçülmüştür. LAC ve MAC değerleri bakımından, %20 boraks dolgulu 150 g/m² kağıtlarda sırasıyla 0.39 ve 0.07 olarak ölçülmüş; buna en yakın değerler %20 uçucu kül dolgusunun katkısında sırasıyla 0.31 ve 0.061 olarak elde edilmiştir.

Külekçi (2021), yaptığı çalışmada %30 uçucu kül dolgulu ürettiği kompozitin 1173 keV enerjide onuncu değer katmanı (TVL) değerini 30.56 cm olarak ölçmüştür. Mann ve arkadaşları (2016) ise yaptıkları çalışmada uçucu kül içeriğinin TVL değerlerinde bir miktar artış ortaya koyduğunu bildirmişlerdir. İnşaat yapımında kullanılan kil tuğlalara uçucu kül dolgulayarak elde ettikleri yeni malzemeyi, 662 keV, 1173 keV ve 1333 keV enerjide soğurma özellikleri bakımından NaI(Tl) dedektörü ile test etmiş ve beton numuneler ile kıyaslamışlardır. Sonuç olarak, uçucu kül dolgulu kil tuğlaların uygulanabilir ve çevre dostu bir radyasyon soğurma özellikli yapı malzemesi olduğunu bildirmişlerdir.

Doğan (2017), beton örnekler üzerine yaptığı çalışmada, sodyum pentaborat pentahidrat dolgulu betonun 6 cm kalınlıkta X ışınımını %97.1 oranında durdurduğunu ve Sezyum-137 gibi kuvvetli bir gama ışınımı yayan kaynağın radyasyonunu %47 oranında durdurmayı başardığını bildirmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, 6 cm kalınlık için önemli bir başarı olarak ifade edilmiştir. Bu bulgular, sodyum pentaborat pentahidratın betonda daha kolaylıkla ve daha verimli olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Karadoğan ve ark. (2021) çalışmasında, Half Value Layer (HVL) ölçümleri, gelen radyasyon yoğunluğunu saçılma ve soğurma yoluyla %50 azaltmak için gereken malzeme kalınlığını belirtmek için kullanılır, HVL değerinin bir malzemenin soğurma yeteneğini doğrudan gösteren önemli bir parametre olduğunu bildirmiştir. HVL değeri ne kadar küçükse, malzemenin radyasyonu o kadar iyi soğurduğunu belirtmiştir. Elde edilen düşük

HVL ve MFP değerlerinin, incelenen malzeme için daha iyi bir foton zırhlama verimliliğine işaret ettiğini belirtmiştir. Tenth Value Layer, Onda bir kalınlık değeri (TVL), radyasyon demeti şiddetini onda bir değerine düşüren zırhlama malzemesine özgü kalınlığını tanımlar. Tekin ve ark., (2020) onuncu değer katmanı (TVL) için foton yoğunluğunu on kat zayıflatmak için gereken numune kalınlığı olarak bildirmiştir.

Onda bir değer kalınlığı (ODK), gelen ışıının şiddetini onda birine düşürebilmek için gerekli zırh kalınlığını belirtirken; yarı değer kalınlığı (YDK) bir enerjinin yarısının absorblanması için gerekli zırh kalınlığını ifade eder ve μ katsayısına göre hesaplanır (Kaplan, 1989). Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar ve deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, %20 dolgulu boraks ve uçucu kül katkılı kağıtların TVL, MAC ve LAC değerleri bakımından iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Levet ve arkadaşları (2020), yaptıkları bir demir ve bor alaşımı çalışmasında, HVL ve MFP değerlerinin alaşım içeriğindeki artan bor miktarı ile gama foton yoğunluğunda azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Kurtuluş ve Kavas (2019) ise, yaptıkları çalışmada Gd_2O_3 ve La_2O_3 olarak iki farklı oksitle ayrı ayrı katkılanmış atık ambalaj camının radyasyon zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Her iki katkı %0.005, %0.05 ve %0.5 kütlece oranlarda eklenmiş, homojen karışım sağlanarak ergitme süreci gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yoğunluk, molar hacim ve doğrusal zayıflama katsayısı ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak, %0.5 Gd_2O_3 dolgulu cam kompozisyonunda 2.8033 g/cm^3 yoğunluk ve 8.11 cm^{-1} doğrusal zayıflatma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, atık ambalaj camının düşük enerjili radyasyon zırhlama uygulamalarında kullanılabilirliğini göstermektedir.

Büyük (2013), yaptığı çalışmada Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile yapılan deneylerde, elde edilen sonuçlardan hareketle çizilen zayıflatma eğrilerinde birbirine paralel sonuçlar elde etmiştir. Ancak, Co-60 gama radyoizotop kaynağı için elde edilen değerler, zayıflatma katsayıları açısından Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için daha düşük bulunmuş; buna karşın yarı değer kalınlık (YDK) değerlerinin daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Bu sonuçların beklentiler doğrultusunda olduğunu bildirmiş, zira Co-60 gama radyoizotop kaynağının ortalama enerji seviyesi 1.25 MeV iken, Cs-137 gama radyoizotop kaynağının enerjisi 0.662 MeV olması ve dolayısıyla enerjisi yüksek olan gama radyoizotop kaynağına ilişkin olarak malzemelerin zayıflatma katsayılarının daha düşük, ancak YDK'larının daha yüksek olması nedeniyle bu sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Külekçi (2021), yaptığı çalışmada c sınıfı uçucu külü, çimento yerine %30, %50 ve %100 oranlarında kullanarak üç farklı hafif beton hazırlamış ve bu kompozit bloklara yoğunluk ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmiştir. Ayrıca, doğrusal zayıflama katsayısı (cm^{-1}), kütle zayıflama katsayısı (MAC) ve onda bir kalınlık değeri (TVL) (cm) gibi radyasyon etkileşim parametrelerini de ölçmüştür. Radyasyon ölçümleri için 1173 keV (^{60}Co) ve 1332 keV (^{60}Co) enerjilerini kullanmıştır. Çalışmalar sonucunda, uçucu kül içeriği arttıkça basınç dayanımının azaldığı, %100 uçucu kül içeren örneklerin en düşük basınç dayanımına sahip olduğu ve uçucu kül miktarı düştükçe yoğunluğun arttığı bildirilmiştir. Hazırlanan kompozitlerde enerji seviyeleri arttıkça doğrusal zayıflama katsayısının da arttığı belirtilmiştir. Bu bulgular, uçucu küllerin radyasyon kalkanı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, %20 dolgulu kağıt ve kartonların en yüksek soğurma özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, kağıt ve kartonların içeriğindeki soğurucu katkı maddelerinin miktarının artmasıdır. Gramajlar arasında en iyi sonuçlar, 160 g/m^2 olarak üretilen karton sınıfındaki kağıtlarda elde edilmiştir. Bu durum, bu kağıtların en yüksek lif-dolgu karışımı yoğunluğuna sahip olmasından kaynaklanmaktadır. 130 g/m^2 kağıtlar baz alındığında, 150 g/m^2 kağıt üretmek için eklenen lif oranı %15 iken, eklenen dolgu miktarı %17 artış göstermiştir ve aralarında %2'lik bir fark bulunmaktadır. Bunun yanında, 160 g/m^2 kartonların üretilmesi için %23 lif ve %28 dolgu eklentisi gerçekleştirilmiştir. 180 g/m^2 kartonların üretilmesi için gerekli eklenti ise lif için %38, dolgu için %40 olarak gerçekleşmiştir.

Selüloz liflerinin kimyasal ve mekanik yapısı gereği radyasyon soğurma özelliğinin çok az olduğu ya da olmadığı bilinmemektedir. Selüloz, genellikle düşük enerjili radyasyon türleri için bir miktar koruma sağlayabilir. Örneğin, alfa parçacıklarını durdurmak için yeterlidir, çünkü bu parçacıklar kolayca durdurulabilir ve nüfuz etme yetenekleri sınırlıdır (Ken, 2022). Ancak, gamma ve X-ışınları gibi yüksek enerjili radyasyonlar için selülozun koruyuculuğu sınırlıdır. Bu tür yüksek enerjili radyasyonları etkili bir şekilde durdurmak için daha yoğun ve kalın materyaller gereklidir; örneğin kurşun, beton veya yoğun metaller (Herrera ve ark. 2020). Kavun ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada sodyum tungstat (Na_2WO_4) ve sodyum molibdat (Na_2MoO_4) ile kapladıkları duvar kağıdında beta radyasyon soğurma değerlerini ölçmüşler, kaplama yoğunluğu ve kalınlığına bağlı olarak lineer soğurma katsayıları, onda bir değer kalınlık (TVL) yarı değer kalınlık (HVL) değerlerinde soğurma özelliklerinin arttığını bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında belirli bir üretilmiş

kağıt veya kartonun yüzey kaplaması uygulanmamış ya da kalınlığı ile oynanmamıştır. Radyasyon soğurucu etkisi bilinen katkı malzemeleri kağıt ve karton oluşturulması safhasından önce hamura direkt uygulanmıştır. Kağıt ve karton üretiminde lif miktarının azalması metrekaresine düşen lif miktarının azalması nedeniyle kağıt ve kartonların kalınlık miktarlarının düşmesine neden olmuştur. Lineer soğurma katsayısı formülüne bakıldığında kalınlık artışı ile soğurmanın daha fazla olması beklenmektedir. Bu çalışmada üretilen kağıt ve kartonların gramajlar arttıkça kalınlıklarının artması beklenen bir durumdur fakat içeriğindeki dolgu oranına göre azalan lif oranı nedeniyle kalınlık miktarlarının dolgunsuz kağıtlara göre azaldığı gözlemlenmiştir.



5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı, alçı levha kağıt ve kartonuna radyasyon soğurma özelliği kazandırmaktır. Bu doktora tez çalışması, bu hedef doğrultusunda başlatılmış ve yürütülmüştür.

Literatürde kağıt üzerinde yapılan radyasyon çalışmaları oldukça azdır. Alçı levhalar yapı sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olup özellikle hastanelerde ve radyasyon salınımının olduğu yerlerde soğurma özelliği yüksek olan bu kağıtlar önemli bir katma değer sağlayacaktır.

5.1. Alçı Levha Kağıt ve Kartonlarında Mekanik Özellikler

a. Alçı levha kağıt ve kartonların yoğunluklarına ait sonuçlar

Farklı gramajlarda (130 g/m², 150 g/m², 160 g/m², 180 g/m²) üretilen ALK'lara dolgu maddesi eklenmesi kağıtların yoğunluklarında artışlar göstermiştir. En yüksek yoğunluk artışları ise 180 g/m² kağıtlarda gerçekleşmiştir.

- En yüksek yoğunluk artışı kül dolgulu kağıtlarda gözlenmiştir. Kolemanit, yoğunluk artışında ikinci sırada yer alırken, boraks dolgulu kağıtlar en düşük yoğunluk artışını göstermiştir.
- Kolemanit dolgulu kağıtlar, özellikle %20 dolgu oranında yüksek yoğunluk değerleri göstermiştir.

Alçı levhaların üretim ve satış miktarlarının birimi metrekare olup yüksek yoğunluklu kağıt veya karton kullanılması levha ağırlığına etki edeceğinden, üreticiler yüksek yoğunluklu ALK kullanarak alçı tasarrufu gerçekleştirebilirler. Aynı zamanda kağıt ve karton üreticileri daha az selüloz lifi ile daha ucuz dolgu maddesi kullanarak üretim maliyetlerini düşürebilirler.

b. Alçı levha kağıt ve kartonların kalınlıklarına ait sonuçlar

ALK üretiminde bünyeden verilen kolemanit, boraks ve uçucu kül dolgularının kalınlık değerlerinde azalmaya yol açtığı görülmektedir. Dolgu oranına bağlı olarak kalınlıkta gözlenen değişiklikler şu şekildedir:

- %5 dolgu oranında kalınlık değerlerinde yaklaşık %2 azalma.
- %10 dolgu oranında kalınlık değerlerinde yaklaşık %5 azalma.

- %20 dolgu oranında kalınlık değerlerinde yaklaşık %8 azalma.

Tüm dolgu maddelerinde (kolemanit, boraks ve uçucu kül) benzer oranda kalınlık azalması olduğu görülmüştür. Dolguların eklenmesi ile kağıt ve kartonların yoğunluklarının arttığı, bu nedenle daha az lif kullanılarak aynı ağırlıkta ancak daha ince kağıt ve karton üretilmiştir.

Alçı levha üretiminde üreticiler levhaları standart kalınlıklarda üretirler. Yüzey işlem görece (boyanacak ya da baskılanacak) levhalarda kalınlık farklılıkları mekaniksel olarak sorun yaratmasa da görsel sorunlara yol açabilir. Önemli nokta safihadaki kalınlık dağılımının homojen olmasıdır. Ayrıca levha üretiminde ince kağıt-kartonların kullanılması levha kalınlığını düşüreceğinden aradaki farkı alçı ile kapatmaları gerekebilir. Burada bahsedilen kalınlık farkı 1 mikrondan daha küçük olacağından asıl hedef yoğunluk-kalınlıktan ziyade fayda maliyet ilişkisine odaklanılmalıdır. Bu da levha üreticilerin çalışması ile gerçekleştirilebilir. Kağıt-karton üreticisi ağırlık cinsinden satış yapacaktır bu nedenle kalınlık üreticiye bir sorun çıkarmaz ya da fayda getirmez.

c. Alçı levha kağıt ve kartonlarının mukavemet özelliklerine ait sonuçlar

Daha önce de bahsedildiği gibi dolgu maddelerinin kağıt üretiminde kağıt bünyesine ilave edilmesi, lif-lif bağ sayısı ve bağ kabiliyet oranını azalttığı için (Shen ve ark., 2009; Huang ve ark., 2013; Chen ve ark., 2014; Huang ve ark., 2014; Huang ve ark., 2015; Sözbir ve ark., 2021) Çizelge 4.18, Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20'de görüldüğü gibi farklı dolgu maddeleri ilave edilerek üretilen ALK'ların mekanik özelliklerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Aşağıda Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2' de kolemanit, uçucu kül ve boraks ile doldurulmuş kağıt ve kartonların mekanik özelliklerine ilişkin elde edilen bulguların Duncan analizlerine yer verilmiştir. Bu çizelgelerde, farklı dolgu maddelerinin kağıt ve kartonların mekanik dayanımına olan etkileri istatistiksel olarak incelenmiş ve analiz edilmiştir. Duncan testi sonuçları, dolgu maddelerinin mekanik özellikler üzerindeki anlamlı farklarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Çizelgeler, her bir dolgu maddesinin kağıt ve kartonların mukavemet özelliklerine olan etkisini açıkça göstermektedir. Bu veriler, kağıt ve karton üretiminde hangi dolgu maddelerinin tercih edilmesi gerektiğine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

Çizelge 5.1 Dolgulu kağıtlarda DUNCAN analizine ait sonuçlar

	Kopma		Patlama		Scot Bond	
130 g/m ²	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%5 kolamenit	1999a	%5 kolamenit	2.53a	%5 kolamenit	335.2a
	%5 boraks	2002a	%5 boraks	2.68b	%5 boraks	333.6a
	%5 uçucu kül	1928b	%5 uçucu kül	2.58a	%5 uçucu kül	333.8a
	Sign.	p<0.000	Sign.	p≤0.001	Sign.	p≥0.05
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%10 kolamenit	1950a	%10 kolamenit	2.44a	%10 kolamenit	322.6a
	%10 boraks	1952a	%10 boraks	2.44a	%10 boraks	306.2a
	%10 uçucu kül	1880b	%10 uçucu kül	2.46a	%10 uçucu kül	316.8a
	Sign.	p<0.000	Sign.	p≥0.05	Sign.	p≥0.05
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%20 kolamenit	1912a	%20 kolamenit	2.24a	%20 kolamenit	322.6a
	%20 boraks	1914a	%20 boraks	2.14a	%20 boraks	288.4a
	%20 uçucu kül	1842b	%20 uçucu kül	2.22a	%20 uçucu kül	311.6a
	Sign.	p<0.000	Sign.	p≥0.05	Sign.	p≥0.05
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	kontrol	2114	kontrol	2.7	kontrol	356
150 g/m ²	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%5 kolamenit	2284b	%5 kolamenit	2.93b	%5 kolamenit	386a
	%5 boraks	2320a	%5 boraks	3.04a	%5 boraks	374ab
	%5 uçucu kül	2168c	%5 uçucu kül	2.92b	%5 uçucu kül	369b
	Sign.	p<0.000	Sign.	p≤0.05	Sign.	p≥0.05
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%10 kolamenit	2204a	%10 kolamenit	2.82ab	%10 kolamenit	392a
	%10 boraks	2184ab	%10 boraks	2.8a	%10 boraks	350b
	%10 uçucu kül	2134b	%10 uçucu kül	2.74b	%10 uçucu kül	335c
	Sign.	p≥0.05	Sign.	p≥0.05	Sign.	p<0.000
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%20 kolamenit	2052a	%20 kolamenit	2.6a	%20 kolamenit	359.6a
	%20 boraks	2050a	%20 boraks	2.5b	%20 boraks	316b
	%20 uçucu kül	2036a	%20 uçucu kül	2.5b	%20 uçucu kül	295a
	Sign.	p≥0.05	Sign.	p≤0.05	Sign.	p<0.000
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	kontrol	2476	kontrol	3.16	kontrol	397

*Aynı harflerle verilen ortalama değerler arasında Duncan testine göre önemli derecede farklılıklar bulunmamaktadır.

Çizelge 5.2 Dolgulu kartonlarda DUNCAN analizine ait sonuçlar

	Kopma		Patlama		Scot Bond	
160 g/m ²	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%5 kolamenit	2708a	%5 kolamenit	3.18b	%5 kolamenit	370.2a
	%5 boraks	2712a	%5 boraks	3.5a	%5 boraks	365a
	%5 uçucu kül	2662b	%5 uçucu kül	3.2b	%5 uçucu kül	356a
	Sign.	p<0.000	Sign.	p<0.000	Sign.	p≥0.05
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%10 kolamenit	2636a	%10 kolamenit	2.98b	%10 kolamenit	367a
	%10 boraks	2626a	%10 boraks	3.2a	%10 boraks	339b
	%10 uçucu kül	2534b	%10 uçucu kül	2.9b	%10 uçucu kül	327c
	Sign.	p<0.000	Sign.	p<0.000	Sign.	p<0.000
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%20 kolamenit	2498a	%20 kolamenit	2.84b	%20 kolamenit	349.6a
	%20 boraks	2492a	%20 boraks	3a	%20 boraks	323b
	%20 uçucu kül	2480a	%20 uçucu kül	2.77b	%20 uçucu kül	319b
	Sign.	p≥0.05	Sign.	p<0.000	Sign.	p<0.000
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	kontrol	2898	kontrol	3.6	kontrol	384
180 g/m ²	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%5 kolamenit	2890a	%5 kolamenit	4.2b	%5 kolamenit	349a
	%5 boraks	2756b	%5 boraks	4.24a	%5 boraks	344a
	%5 uçucu kül	2786b	%5 uçucu kül	4.1c	%5 uçucu kül	343a
	Sign.	p<0.000	Sign.	p<0.000	Sign.	p≥0.05
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%10 kolamenit	2756a	%10 kolamenit	4.1a	%10 kolamenit	330ab
	%10 boraks	2800a	%10 boraks	4.1a	%10 boraks	344a
	%10 uçucu kül	2640b	%10 uçucu kül	3.9b	%10 uçucu kül	325ab
	Sign.	p<0.000	Sign.	p<0.000	Sign.	p≤0.05
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	%20 kolamenit	2594a	%20 kolamenit	3.7b	%20 kolamenit	320a
	%20 boraks	2598a	%20 boraks	3.8a	%20 boraks	322a
	%20 uçucu kül	2498b	%20 uçucu kül	3.5c	%20 uçucu kül	319a
	Sign.	p<0.000	Sign.	p<0.000	Sign.	p≥0.05
	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama	Parametreler	Ortalama
	kontrol	3028	kontrol	4.3	kontrol	375

*Aynı harflerle verilen ortalama değerler arasında Duncan testine göre önemli derecede farklılıklar bulunmamaktadır.

Farklı dolgu maddeleri (Kolamenit, Boraks ve Uçucu Kül) ve farklı oranlarda (%5, %10, %20) kullanılarak üretilen kağıt ve kartonların kopma, patlama ve scot bond dayanımları incelenmiştir. Deneyler, dört farklı gramajda (130 g/m², 150 g/m², 160 g/m², 180 g/m²) yapılmış ve sonuçlar SPSS Duncan analizi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları belirtmek için harflerle (a, b, c) işaretlenmiş ve p değerleri ile desteklenmiştir.

i. 130 g/m² kağıtlarda

Kopma özellikleri, %5, %10 ve %20 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p < 0.000$). Kolamenit ve Boraks en yüksek kopma dayanımını gösterirken, uçucu kül daha düşük bir performans sergilemiştir.

Patlama özellikleri, %5 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuş olup ($p \leq 0.001$), Boraks en yüksek patlama dayanımını göstermiştir. Diğer dolgu maddeleri ise benzer sonuçlar vermiştir.

ALK üretiminde kullanıldığında %5 oranında dolgu maddesi kullanıldığında Scot Bond özellikleri üzerinde anlamlı farklılıklar oluşturmadığı tespit edilmiştir ($p \geq 0.05$).

Mekanik özellikler açısından 130 gramajında AL kağıtlarında %5, %10 ve %20 oranında dolgu maddesi kullanımında optimum özellikler kolemanit kullanarak elde edilmiştir.

ii. 150 g/m² kağıtlarda:

Kopma özellikleri, %5 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuş olup ($p < 0.000$), Boraks en yüksek kopma dayanımını göstermiştir. Uçucu kül ise en düşük performansı sergilemiştir.

Patlama özellikleri, %5 ve %20 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Boraks en yüksek patlama dayanımını göstermiştir.

Scot Bond özellikleri, %5 dolgu oranlarında gruplar arasında anlamlı bir farklılık oluşmamıştır. %10 ve %20 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p < 0.000$). Kolamenit en yüksek Scot Bond dayanımını göstermiştir.

iii. 160 g/m² kartonlarda:

Kopma özellikleri, %5, %10 ve %20 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p < 0.000$). Kolamenit ve Boraks en yüksek kopma dayanımını gösterirken, uçucu kül daha düşük bir performans sergilemiştir.

Patlama özellikleri, %5, %10 ve %20 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p < 0.000$). Boraks en yüksek patlama dayanımını göstermiştir.

Scot Bond özellikleri, %10 ve %20 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p < 0.000$). Kolamenit en yüksek Scot Bond dayanımını göstermiştir.

iv. 180 g/m² kartonlarda:

Kopma özellikleri, %5, %10 ve %20 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0.000$). Kolamenit en yüksek kopma dayanımını göstermiştir.

Patlama özellikleri, %5, %10 ve %20 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0.000$). Boraks en yüksek patlama dayanımını göstermiştir.

Scot Bond özellikler, %10 dolgu maddeleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p\leq 0.05$). Kolamenit ve Boraks en yüksek Scot Bond dayanımını göstermiştir.

v. Su Emme Davranışı (cobb₆₀):

Çizelge 4.18, 4.19 ve 4.20'ye göre, su emme davranışları bakımından her üç dolgununda ALK üretimine uygun özelliklerde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3 Mekanik özelliklerinde korelasyon analizine ait sonuçlar

Parametreler arası korelasyon analizi									
	Kopma uçucu kül	Patlama uçucu kül	SCT uçucu kül	Kopma Kolemanit	Patlama Kolemanit	SCT Kolemanit	Kopma boraks	Patlama boraks	SCT boraks
Kopma uçucu kül		0.855	0.868	0.912	0.855	0.868	0.983	0.974	0.93
Patlama uçucu kül	0.855		0.766	0.84	1	0.766	0.887	0.881	0.859
SCT uçucu kül	0.868	0.766		0.82	0.766	1	0.872	0.869	0.877
Kopma Kolemanit	0.912	0.84	0.82		0.84	0.82	0.907	0.941	0.886
Patlama Kolemanit	0.855	1	0.766	0.84		0.766	0.887	0.881	0.859
SCT Kolemanit	0.868	0.766	1	0.82	0.766		0.872	0.869	0.877
Kopma boraks	0.983	0.887	0.872	0.907	0.887	0.872		0.978	0.946
Patlama boraks	0.974	0.881	0.869	0.941	0.881	0.869	0.978		0.943
SCT boraks	0.93	0.859	0.877	0.886	0.859	0.877	0.946	0.943	

Yukarıda Çizelge 5.3'de gösterilen veriler, birbirleri arasındaki ilişkiyi ölçen bir "Inter-Item Correlation Matrix-Parametreler Arası Korelasyon İlişkisini" temsil eder. Matrisin köşegen dışındaki her bir hücresi, iki farklı öge veya değişken arasındaki ilişkiyi

gösterir. Yüksek korelasyon katsayıları, bu değişkenler arasında güçlü bir ilişki olduğunu ve birbirlerinin yerine kullanılabileceğini gösterir. Öte yandan, düşük korelasyon katsayıları, bu değişkenler arasında daha az ilişkinin olduğunu açıklar. "Patlama uçucu kül" ile "patlama kolemanit" arasındaki yüksek korelasyon (1), bu iki değişkenin birbirine benzer özellikler taşıdığını gösterir. Bu durumda, biri diğeri yerine kullanılabilir veya birbirleriyle ilişkili oldukları bir modelde birlikte değerlendirilebilir. Ancak, her değişkenin benzersiz bir bilgi sağlaması önemlidir, bu nedenle yüksek korelasyonlu değişkenler arasında seçim yapılırken dikkatli olunmalıdır. Ayrıca, düşük korelasyonlu değişkenler arasındaki ilişkiler de incelenmeli ve bu ilişkilerin altında yatan nedenler araştırılmalıdır.

Sonuç olarak, SCT_kül, SCT_Kolemanit ve SCT_boraks faktörlerinin her biri için gruplar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu, faktörlerin incelenen özellikler üzerinde etkili olduğunu gösterir.

Alçı levha kağıt ve kartonlarının mekanik özellikleri bakımından en yüksek değerler boraks dolgu kullanımında elde edilmiştir. Boraks dolgulu kağıtlar, kopma mukavemeti, patlama mukavemeti ve SCT mukavemeti açısından diğer dolgu türlerine göre üstün performans göstermiştir. Bu nedenle, yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen optimum mekanik özellikleri veren ALK'lar boraks dolgulu üretilen kartonlarda elde edilmiştir.

5.2. Radyasyon Soğurma Özelliklerine Ait Sonuçlar

Elde edilen bulgular, katkı maddesi eklenmiş kağıtların radyasyon soğurma özelliklerinde önemli bir artış olduğunu göstermektedir.

Enerji Seviyelerine Göre Sonuçlar

Çalışmada farklı gama enerjilerinde (1173 keV, 1333 keV, ve 662 keV) kağıt ve kartonların radyasyon soğurma performansları incelenmiştir. Aşağıda her enerji değerinde elde edilen en yüksek soğurma sonuçları özetlenmiştir:

Çizelge 5.4 Tüm dolgularda ve gramajlarda 662 keV enerjide radyasyon soğurma ölçümlerinden elde edilen verilerin DUNCAN analizine ait sonuçlar

γ Enerjisi	Parametre	HVL	Std. Sapma	Homojenlik grp.
662 keV	%10 boraks 150 g/m ²	1.77	0.00	A
	%20 boraks 150 g/m ²	1.60	0.00	A
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	2.02	0.00	AB
	%20 kolemanit 160 g/m ²	2.31	0.00	BC
	%20 boraks 160 g/m ²	2.34	0.00	BCD
γ Enerjisi	Parametre	LAC	Std. Sapma	Homojenlik grp.
662 keV	%20 boraks 150 g/m ²	0.433	0.002	A
	%10 boraks 150 g/m ²	0.392	0.001	B
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	0.343	0.002	C
	%20 kolemanit 160 g/m ²	0.300	0.002	D
γ Enerjisi	Parametre	MAC	Std. Sapma	Homojenlik grp.
662 keV	%20 boraks 180 g/m ²	0.0388	0.002	A
	%20 kolemanit 180 g/m ²	0.0388	0.003	A
	%20 uçucu kül 180 g/m ²	0.0388	0.001	A
	%20 kolemanit 160 g/m ²	0.0577	0.004	B
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	0.0577	0.002	B
	%10 uçucu kül 130 g/m ²	0.0704	0.002	C
γ Enerjisi	Parametre	MFP	Std. Sapma	Homojenlik grp.
662 keV	%10 boraks 150 g/m ²	2.5507	0.01	A
	%20 boraks 150 g/m ²	2.3102	0.00	A
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	2.9186	0.01	AB
	%20 boraks 160 g/m ²	3.3821	0.00	BC
	%10 uçucu kül 160 g/m ²	3.7868	0.00	CD
γ Enerjisi	Parametre	TVL	Std. Sapma	Homojenlik grp.
662 keV	%20 boraks 150 g/m ²	5.319	0.18	A
	%10 boraks 150 g/m ²	5.873	0.15	AB
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	6.720	0.15	BC
	%20 boraks 160 g/m ²	7.787	0.06	CD
	%20 kolemanit 160 g/m ²	7.668	0.20	CD

Çizelge 5.5 Tüm dolgularda ve gramajlarda 1333 keV enerjide radyasyon soğurma ölçümlerinden elde edilen verilerin DUNCAN analizine ait sonuçlar

γ Enerjisi	Parametre	HVL	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1333 keV	%20 boraks 160 g/m ²	2.13	0.01	A
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	2.20	0.01	A
	%10 kolemanit 160 g/m ²	2.50	0.01	AB
	%20 kolemanit 160 g/m ²	2.56	0.01	AB
	%10 uçucu kül 160 g/m ²	2.46	0.01	AB
	%5 uçucu kül 160 g/m ²	3.33	0.00	BC
γ Enerjisi	Parametre	LAC	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1333 keV	%20 boraks 160 g/m ²	0.3256	0.002	A
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	0.3144	0.003	B
	%10 uçucu kül 160 g/m ²	0.2813	0.001	C
	%10 kolemanit 160 g/m ²	0.2777	0.001	D
γ Enerjisi	Parametre	MAC	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1333 keV	%20 boraks 180 g/m ²	0.0302	0.003	A
	%20 kolemanit 180 g/m ²	0.0302	0.002	A
	%20 uçucu kül 180 g/m ²	0.0302	0.002	A
	%20 kolemanit 150 g/m ²	0.0360	0.002	B
	%20 uçucu kül 150 g/m ²	0.0360	0.003	B
γ Enerjisi	Parametre	MFP	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1333 keV	%20 boraks 160 g/m ²	3.07	0.01	A
	%10 kolemanit 160 g/m ²	3.60	0.01	A
	%20 kolemanit 160 g/m ²	3.70	0.00	A
	%10 uçucu kül 160 g/m ²	3.55	0.00	A
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	3.18	0.01	A
γ Enerjisi	Parametre	TVL	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1333 keV	%20 boraks 160 g/m ²	7.07	0.11	A
	%10 kolemanit 160 g/m ²	8.29	0.24	A
	%20 kolemanit 160 g/m ²	8.51	0.05	A
	%10 uçucu kül 160 g/m ²	8.18	0.15	A
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	7.32	0.12	A
	%10 boraks 160 g/m ²	12.02	0.50	B

Çizelge 5.6 Tüm dolgularda ve gramajlarda 1173 keV enerjide radyasyon soğurma ölçümlerinden elde edilen verilerin DUNCAN analizine ait sonuçlar

γ Enerjisi	Parametre	HVL	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1173 keV	%20 kolemanit 160 g/m ²	1.5428	0.00	A
	%10 kolemanit 160 g/m ²	2.0398	0.01	AB
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	2.1665	0.00	ABC
	%20 boraks 160 g/m ²	2.7693	0.01	CDE
	%20 kolemanit 180 g/m ²	2.8209	0.01	CDE
γ Enerjisi	Parametre	LAC	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1173 keV	%20 kolemanit 160 g/m ²	0.4493	0.002	A
	%10 kolemanit 160 g/m ²	0.3398	0.003	B
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	0.3199	0.001	C
	%5 kolemanit 160 g/m ²	0.2564	0.002	D
γ Enerjisi	Parametre	MAC	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1173 keV	%20 boraks 150 g/m ²	0.0244	0.001	A
	%20 kolemanit 150 g/m ²	0.0244	0.003	A
	%20 uçucu kül 150 g/m ²	0.0244	0.003	A
	%10 kolemanit 150 g/m ²	0.0331	0.003	B
	%10 uçucu kül 150 g/m ²	0.0407	0.003	C
γ Enerjisi	Parametre	MFP	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1173 keV	%20 kolemanit 160 g/m ²	2.2258	0.00	A
	%10 kolemanit 160 g/m ²	2.9428	0.01	AB
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	3.1256	0.01	AB
	%20 boraks 160 g/m ²	3.9953	0.01	BC
	%20 kolemanit 180 g/m ²	4.0697	0.00	BC
γ Enerjisi	Parametre	TVL	Std. Sapma	Homojenlik grp.
1173 keV	%20 kolemanit 160 g/m ²	5.1252	0.13	A
	%10 kolemanit 160 g/m ²	6.7761	0.13	B
	%20 uçucu kül 160 g/m ²	7.1969	0.06	B
	%5 kolemanit 160 g/m ²	8.9794	0.09	C
	%20 boraks 160 g/m ²	9.1995	0.07	CD
	%20 kolemanit 180 g/m ²	9.3708	0.13	CD

Yukarıda Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’de, farklı enerji seviyelerinde (662 keV, 1173 keV ve 1333 keV) çeşitli materyallerin HVL (Half Value Layer), LAC (Linear Attenuation Coefficient), MAC (Mass Attenuation Coefficient), MFP (Mean Free Path) ve TVL (Tenth Value Layer) değerlerini sunmaktadır. Bu parametrelerin her biri, radyasyonun farklı materyaller tarafından ne kadar etkili bir şekilde zayıflatıldığını

gösterir. "Homojenlik grubu" A olarak gösterilen değerler, her bir kategori için en iyi performansı sergileyen materyalleri temsil eder.

i. HVL (Half Value Layer)

HVL, radyasyonun şiddetini yarıya indiren materyal kalınlığını ifade eder. HVL değeri ne kadar düşükse, materyal o kadar etkilidir.

662 keV en iyi sonuç: %10 boraks 150 g/m² (1.77 cm)

1173 keV en iyi sonuç: %20 kolemanit 160 g/m² (1.5428 cm)

1333 keV en iyi sonuç: %20 boraks 160 g/m² (2.13 cm)

ii. LAC (Linear Attenuation Coefficient)

LAC, bir materyalin radyasyonu zayıflatma yeteneğini ifade eder. Yüksek LAC değeri, materyalin daha etkili olduğunu gösterir.

662 keV en iyi sonuç: %20 boraks 150 g/m² (0.433 cm⁻¹)

1173 keV en iyi sonuç: %20 kolemanit 160 g/m² (0.4493 cm⁻¹)

1333 keV en iyi sonuç: %20 Boraks 160 g/m² (0.3256 cm⁻¹)

iii. MAC (Mass Attenuation Coefficient)

MAC, bir materyalin yoğunluk birimi başına zayıflatma yeteneğini gösterir. Yüksek MAC değeri, daha etkili zayıflatma anlamına gelir.

662 keV, en iyi sonuç: %20 Boraks 180 g/m² (0.0388 cm²/g)

1173 keV, en iyi sonuç: %20 Boraks 150 g/m² (0.0244 cm²/g)

1333 keV en iyi sonuç: %20 Boraks 180 g/m² (0.0302 cm²/g)

iv. MFP (Mean Free Path)

MFP, bir fotonun bir zayıflatma olayına kadar olan ortalama mesafesidir. Düşük MFP değeri, daha etkili zayıflatma anlamına gelir.

662 keV en iyi sonuç: %10 Boraks 150 g/m² (2.5507 cm)

1173 keV en iyi sonuç: %20 kolemanit 160 g/m² (2.2258 cm)

1333 keV en iyi sonuç: %20 Boraks 160 g/m² (3.07 cm)

v. TVL (Tenth Value Layer)

TVL, radyasyonun şiddetini onda birine indiren materyal kalınlığını ifade eder. TVL değeri ne kadar düşükse, materyal o kadar etkilidir.

662 keV en iyi sonuç: %20 Boraks 150 g/m² (5.319 cm)

1173 keV en iyi sonuç: %20 kolemanit 160 g/m² (5.1252 cm)

1333 keV en iyi sonuç: %20 Boraks 160 g/m² (7.07 cm)

Boraks bazlı materyaller, özellikle 662 keV ve 1333 keV enerji seviyelerinde genellikle en iyi performansı göstermektedir. %20 Boraks 150 g/m² ve %20 Boraks 160 g/m², HVL, LAC, MAC, MFP ve TVL parametrelerinde öne çıkan sonuçlar vermiştir.

Kolemanit bazlı materyaller, 1173 keV enerji seviyesinde özellikle HVL ve LAC değerlerinde en iyi performansı sergilemiştir.

Uçucu Kül, bazı parametrelerde iyi performans gösterse de genellikle boraks ve kolemanit bazlı materyallerin gerisinde kalmıştır.

Sonuç olarak, dolgu malzemesi olarak kolemanit, boraks ve uçucu kül kullanılması kağıtların radyasyon soğurma özelliklerini artırmıştır. Bu çalışmanın bulguları, radyasyon zırhlama malzemelerinin tasarımında dolgu maddelerinin etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.

6. ÖNERİLER

6.1. Dolgu Maddesi Seçimi ve Uygulama Alanlarına Yönelik Öneriler:

- Uçucu kül dolgusu uygulama alanları: Yoğunluk artışını maksimize etmek isteyen projelerde tercih edilir. Özellikle yüksek mekanik dayanıklılık ve yoğunluk istenen alçı levha üretimi gibi uygulamalarda kullanılabilir.
- Kolemanit dolgusu uygulama alanları: Orta düzeyde yoğunluk artışı ve mekanik özellikler için uygundur. Alçı levha üretimi gibi orta yoğunluk ve iyi mekanik özellikler gerektiren alanlarda tercih edilebilir.
- Boraks dolgusu uygulama alanları: Yoğunluk artışının daha az önemli olduğu ancak mekanik dayanıklılık ve dengeli performans aranan uygulamalarda kullanılabilir. Genel kağıt ve karton üretimi gibi alanlarda tercih edilebilir.

6.2. Alçı Levha Üretimi Yönüyle:

- Alçı levha üretiminde, uçucu kül dolgulu kağıt ve kartonlar tercih edilerek daha yüksek yoğunluk ve mekanik dayanıklılık elde edilebilir. Dolgu oranları düşük (%5) tutularak kalınlık azalması minimal düzeyde tutulmalıdır.
- Ambalaj malzemeleri için kolemanit dolgulu kağıt ve kartonlar uygun olabilir. Dolgu oranları %10-%20 arasında ayarlanarak yüksek yoğunluk ve dayanıklılık sağlanabilir. Ancak kalınlık azalması tolere edilmelidir.
- Genel Kullanım kağıt ve karton üretiminde boraks dolgulu kağıt ve kartonlar tercih edilebilir. Dolgu oranları %5-%10 arasında ayarlanarak kalınlık ve mekanik özellikler arasında denge sağlanabilir.
- Dolgu Oranının Ayarlanması:

Düşük Dolgu Oranı (%5): Minimal kalınlık azalması istenen uygulamalarda tercih edilebilir. Yoğunluğun artırılmasıyla birlikte mekanik özelliklerde önemli bir kayıp olmaz.

Orta Dolgu Oranı (%10): Yoğunluk artışı ve mekanik dayanıklılık arasında dengeli bir seçimdir. %10 dolgu oranı, kalınlıkta minimal azalma ile kabul edilebilir bir performans sunar.

Yüksek Dolgu Oranı (%20): Yoğunluk ve mekanik dayanıklılığı maksimize etmek istenen uygulamalarda kullanılabilir. Ancak bazı durumlarda gereksiz ağırlık artışına neden olabilir, bu yüzden dikkatlice değerlendirilmelidir.

Bu öneriler, dolgu maddesi seçimi ve dolgu oranlarının ayarlanması konusunda yönlendirici olabilir ve alçı levha, ambalaj ve genel kağıt üretiminde uygulanabilir bir çerçeve sunar.

6.3. ALK Mekanik Özellikleri Yönüyle

Bu sonuçlar ışığında, mekanik özellikler bakımından alçı levha kağıt ve karton üretiminde kolemanit ve uçucu kül dolgularıyla karşılaştırıldığında boraks katkılı malzemelerin kullanımının daha uygun olacağı önerilmektedir.

Bu tez çalışmasında, dolgu malzemesi eklenen kağıtların radyasyon soğurma kapasitesini artırdığı ve özellikle %20 dolgu oranına sahip numunelerin en yüksek performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, nükleer teknoloji ve radyasyon zırhlama uygulamaları için yeni malzemelerin geliştirilmesi açısından önemli veriler sağlamaktadır.

6.4. Alçı Levha Kağıtların Radyasyon Soğurma Özellikleri Yönüyle

Literatürde de belirtildiği gibi, radyasyon soğurma katsayılarının, numunelerin dolgu cinsine, yoğunluğuna ve miktarına göre değiştiği ve parametreler arasında güçlü bir ilişki olduğu sonucu bu çalışmada da ortaya konulmuştur.

Bu değerlendirmelere dayanarak, radyasyon zayıflatma performansını en üst düzeye çıkarmak için boraks ve kolemanit bazlı materyallerin kullanımı önerilmektedir. Özellikle %20 boraks 160 g/m² ve %20 kolemanit 160 g/m², geniş enerji aralıklarında en iyi sonuçları vermektedir.

Yukarıda Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 ve parametreleri inceledikten sonra, her bir enerji seviyesi için en iyi performansı gösteren materyallerden hangisini kullanmamız gerektiği konusunda önerileri aşağıda bulabilirsiniz.

6.5. Önerilen Materyaller

662 keV enerji seviyesinde en iyi materyal: %20 Boraks 150 g/m²

HVL: 1.77 cm

LAC: 0.433 cm⁻¹

MAC: 0.0388 cm²/g

MFP: 2.5507 cm

TVL: 5.319 cm

%20 Boraks 150 g/m², 662 keV enerji seviyesinde tüm parametrelerde en iyi sonuçları göstermektedir. Bu nedenle, bu enerji seviyesinde %20 Boraks 150 g/m² kullanılması önerilmiştir.

1173 keV enerji seviyesinde en iyi materyal: %20 kolemanit 160 g/m²

HVL: 1.5428 cm

LAC: 0.4493 cm⁻¹

MAC: 0.0244 cm²/g

MFP: 2.2258 cm

TVL: 5.1252 cm

%20 kolemanit 160 g/m², 1173 keV enerji seviyesinde en iyi performansı göstermektedir. Bu nedenle, bu enerji seviyesinde %20 kolemanit 160 g/m² kullanılması önerilmiştir.

1333 keV enerji seviyesinde en iyi materyal: %20 Boraks 160 g/m²

HVL: 2.13 cm

LAC: 0.3256 cm⁻¹

MAC: 0.0302 cm²/g

MFP: 3.07 cm

TVL: 7.07 cm

%20 Boraks 160 g/m², 1333 keV enerji seviyesinde en iyi sonuçları göstermektedir. Bu nedenle, bu enerji seviyesinde %20 Boraks 160 g/m² kullanılması önerilmiştir.

Düşük Enerji (662 keV): %20 boraks 150 g/m²

Orta Enerji (1173 keV): %20 kolemanit 160 g/m²

Yüksek Enerji (1333 keV): %20 Boraks 160 g/m²

Bu öneriler, farklı enerji seviyelerinde en verimli zayıflatma performansını sağlamak için idealdir. Sonraki çalışmalarda bu materyalleri kullanarak, radyasyonun etkili bir şekilde zayıflatılması sağlanabilir.

Alçı malzeme X ışınlarına karşı oldukça başarılı olmuştur. 3 cm kalınlıkta %72.8 oranında X ışınlarını durdurabilmiş, Kobalt-60'da % 15.9, Sezyum-137'de % 13.75 oranında gama ışınımını azaltabilmiştir. Alçı malzemenin radyasyon tutuculuk kabiliyetinin azımsanmayacak derecede önemli olduğu gözlemlenmiştir (Doğan, 2017). Alçı levhalar alt ve üst olarak iki kez kağıt ile kaplandığı ve alçı levhanın ortalama kalınlığının 12.5 mm olduğu düşünüldüğünde, bu çalışma sonucu ortaya çıkan kağıtlarla üretilen alçı levhaların radyasyon soğurma özellikli olarak amaca uygun mekanlarda kullanımına uygun olacaktır. Maliyet çalışması göz önüne alınarak katma değer ve kalite hedefleri göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli husustur.

Bu öneriler, dolgu seçimi ve radyasyon soğurma konusunda araştırmacılara ve endüstri profesyonellerine yapacakları çalışmalarda faydalı bir rehber sağlayabilir.

Sonuç olarak, atık kağıtların, atık ofis kağıtlarının ve atık magazin kağıtlarının geri dönüştürülerek alçı levha kağıt ve karton üretiminde kullanılması, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli faydalar sağlamaktadır. Bu süreç, kaynakların verimli kullanımı ve doğal kaynakların korunması açısından büyük bir adım olup, enerji tasarrufu ve atık yönetimi maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, çalışmamızda bu geri dönüştürülmüş kağıt ve kartonlara radyasyon soğurma özelliği kazandırılarak, ürünlerin sadece yapı malzemesi olarak değil, aynı zamanda tıbbi, endüstriyel ve nükleer alanlarda da kullanılabilmesi sağlanmıştır. Bu özellik, ürünlerin katma değerini önemli ölçüde artırmaktadır. Dolayısıyla, atık kağıtların bu şekilde değerlendirilmesi, yüksek katma değerli ürünler elde edilmesi açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, farklı atık kağıt türlerinin ve çeşitli dolgu maddelerinin etkilerinin daha detaylı incelenmesi ve bu süreçlerin optimizasyonu üzerine çalışmalar yapılması önerilmektedir. Radyasyon soğurma özelliği kazandırılmış kağıt ve kartonların farklı sektörlerdeki uygulama alanlarının genişletilmesi ve bu ürünlerin performansının artırılması yönünde çalışmaların devam ettirilmesi büyük önem taşımaktadır.

6.6. Maliyet Analizi

Aşağıda Çizelge 6.1’de bu çalışmadaki yöntemler kullanılarak atık kağıttan üst ve alt kağıtlar üretilerek birleştirilmesi yöntemiyle alçı levha kağıt ve kartonu üretimi için belirlenmiş yaklaşık maliyet değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.1 Çalışmadaki yöntemlerin kullanılması ile üretilecek 1 ton alçı levha kağıt ve kartonunun yaklaşık üretim maliyetleri

		Üretimdeki Payı (%)	Birim Fiyat (ton/TL)
Hammadde Türü	Atık oluklu mukavva kağıt ve kartonları	35	3800
	Atık beyaz ofis ve magazin kağıtları	10	1400
Dolgu Tipi	Boraks	1	1100
	Kolemanit		1150
	Uçucu kül		0
	Kimyasal	11	1320
	Su ve enerji	9	1080
	İşçilik	13	1560
	Genel yönetim giderleri	12	1440
	Finansman ve amortisman	9	1080
	Toplam	100	Boraks: 12780, Kolemanit: 12830, Uçucu Kül: 11680,
	Güncel piyasa alçı levha kağıt ve kartonu satış fiyatı		16000,

Yukarıda Çizelge 6.1’de alçı levha kağıt ve kartonu üretiminin maliyet yapısını ve farklı dolgu malzemelerinin toplam maliyet üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Uçucu kül Kahramanmaraş Kağıt Sanayi A.Ş.’de atık olarak elde edildiğinden kullanımı en düşük maliyetli üretim yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, her üç dolgu malzemesi ile üretilen alçı levha kağıt ve kartonlarının güncel satış fiyatı 16000 TL olarak belirlenmiştir. Bu durum, uçucu kül kullanımı ile elde edilen ürünün daha yüksek karlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Bu maliyet analizi, hammadde ve dolgu malzemesi seçiminde ekonomik açıdan en uygun olanın belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca, farklı maliyet kalemlerinin üretim maliyetine katkıları, verimlilik ve karlılık değerlendirmeleri için kritiktir. Üretim sürecinin optimizasyonu ve maliyetlerin düşürülmesi için bu tür analizlerin düzenli olarak yapılması gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Abdel-Aziz, M., Gwaily, S., Makarious, A., & Abdo, A. (1995). Ethylene-propylene diene rubber/low density polyethylene/boron carbide composites as neutron shields. *Polymer Degradation and Stability*, 50, 235-240. [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(95\)00177-8](https://doi.org/10.1016/0141-3910(95)00177-8).
- Abualroos, N. J., Yaacob, K. A., & Zainon, R. (2023). Radiation attenuation effectiveness of polymer-based radiation shielding materials for gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111070>.
- Ackermann, C., (2000). Bleaching of Deinking Pulp, In *Recycled Fibre and Deinking*, Edited by Göttching, Fapet Oy Pulb., Helsinki, p306-355.
- Açık, C., & Tutuş, A., (2021). İşyeri-Konut İç Mimarisinde Kullanılan Lif Levhaların Radyasyon ve Elektrik Yalıtımının İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (1), 42-52.
- AFAD., (2023). Radyasyon Dozaları ve Etkileri. <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-dozlari-ve-etkileri>. (Erişim tarihi: 22.03.2023)
- Akkurt, I., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2004). The photon attenuation coefficients of barite, marble and limra. *Annals of Nuclear Energy*, 31, 577-582. <https://doi.org/10.1016/J.ANUCENE.2003.07.002>.
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S. ve Mavi, B. (2005). The shielding of c-rays by concretes produced with barite. *Progress in Nuclear Energy*, 46 (1), 1–11.
- Akkurt, I. ve Akyildirim, H. (2012). Radiation transmission of concrete including pumice for 662, 1173 and 1332 keV gamma rays. *Nucl. Eng. Des.* 252, 163-166.
- Akkurt, İ., Akarslan, F., Günoğlu, K., Kılınçarslan, Ş., Üncü, İ. S., & Demiralay, H. (2013). Bazı Kumaş Türlerinin Nötron Zırhlama Özelliklerinin İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 63-65.
- Akkurt, İ., Şükriye, A. R. D. A., & Günoğlu, K. (2014). NaI (Tl) Detektörü için Enerji Çözünürlüğünün Elde Edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 52-54.
- Akpınar, S., Evcin, A. and Ozdemir, Y. (2017). Effect of calcined colemanite additions on properties of hard porcelain body. *Ceramics International*, 43(11), 8364–8371. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.03.178>
- Alçıbay. (2024). Alçıbay Ekopan W. URL: <https://www.alcibay.com/tr/paneller/alcibay-ekopan-w-3>. (Erişim tarihi: 21.07.2024)
- Algüneş, Ç. (2002). Radyasyon Biyofiziği. *Trakya Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları* No:51, Edirne, s: 134.
- Al-Sarray, E., Akkurt, İ., Günoğlu, K., Evcin, A., & Bezir, N. (2017). Radiation shielding properties of some composite panel. *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 490-492.

- Ambalaj Sanayicileri Derneği (ASD) (2022). “Ambalaj Sektörü İhracatta Hız Kesmiyor-Basın Bülteni”. <https://ambalaj.org.tr/tr/ambalaj-sektoru-ihracatta-hiz-kesmiyor-basin-bulteni>. (Erişim tarihi: 11 Nisan 2023)
- Anonim, (1986). Understanding Radiation. U.S. Department of Energy Office of Nuclear Energy, Booklet DOE/NE-0076, (1986), pp. 17.
- Anonim, (1992). TAPPI Test Methods 1992-1993, Tappi Press, Atlanta, Georgia, USA.
- Anonim, (2001). T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı-Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Kimya sanayi Hammaddeleri Cilt II (Bor tuzları-Trona-Kaya tuzu-Sodyum sülfat-Stronsiyum), Çalışma Grubu Raporu, (DPT: 2608 - ÖİK: 619), Ankara, s: 172.
- ASTM. (2020). ASTM E313-20: Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates. ASTM. International.
- Bajpai, P., (2010). Environmentally Friendly Production of Pulp and Paper. A John Wiley & Sons, Inc., Publication, Canada.
- Bashter, I. (1997). Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes. Annals of Nuclear Energy, vol. 24, no. 17, pp. 1389–1401.
- Binici, H., Küçükönder, A., Sevinç, A. H., Eken, M., & Tüfenk, N. (2013). Atık kâğıt ve mukavvaların yalıtım malzemesi ve radyasyon tutucu materyal olarak üretiminde kullanılması. Çukurova üniversitesi mühendislik-mimarlık fakültesi dergisi, 28(1), 21-29ss.
- Bircan, H., Manisa, K., Atan, A. S., & Erdoğan, M. (2017). Gama ve X-Işını Radyasyonu Yarı Değer Kalınlık Değerinin Hesaplanması için Yeni Bir Denklem. Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science, 12(1), 23-29.
- Bootjomchai, C., Laopaiboon, J., Yenchai, C., & Laopaiboon, R. (2012). Gamma-ray shielding and structural properties of barium–bismuth–borosilicate glasses. Radiation Physics and Chemistry, 81(7), 785-790.
- Bora, H., (2001). Radyasyon Güvenliği. Ankara Üniversitesi SHMYO Yıllığı Cilt 2 Sayı 1.
- Cantavalle, S. (2019). Kağıdın Tarihi: kökeninden günümüze. <http://bilkentistan.blogspot.com.tr/2010/03/intihal-suc-mu.html>. (erişim tarihi: 14.12.2023).
- Cao, D., Yang, G., Bourham, M., & Moneghan, D. (2020). Gamma radiation shielding properties of poly (methyl methacrylate) / Bi₂O₃ composites. Nuclear Engineering and Technology, 52(11). <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.04.026>.
- Carter, H. (1996). The Chemistry of Paper Preservation: Part 2. The Yellowing of Paper and Conservation Bleaching. Journal of Chemical Education, 73, 1068-1073. <https://doi.org/10.1021/ED073P1068>.

- Casey, J.P. (1960). Pulp and Paper Vol:3, Interscience Publisher Inc., Newyork.
- Catenacci, M. J., Luckarift, H. R., Friedman, R. J., Male, A., & Owens, J. R. (2021). Effect of fly ash composition and component quantities on the gamma radiation shielding properties of geopolymer. *Progress in Nuclear Energy*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103889>.
- Chidiac, S. E., El-Samrah, M. G., Reda, M. A., & Abdel-Rahman, M. A. E. (2021). Mechanical and radiation shielding properties of concrete containing commercial boron carbide powder. *Construction and Building Materials*, 313. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125466>.
- Clark, J.A. (1978). Pulp Technology, Mille Freeman Publications, Inc. California.
- Cleveland, F.C. (1993). Pulping of Secondary Fibre. In: *Secondary Fibre Recycling*, Edited by Spangenberg. Tappi Press, Atlanta, 91-100.
- Coşkun, A. (2010). Ağır betonlarda barit agregasının kullanımı ve beton özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar. 65s.
- Çalık A., Akkurt İ., & Akyıldırım H. (2009). Borun Radyasyon Zırh Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye.
- Çiçekler, M., (2019). Birincil ve İkincil Lif Karışımlarının Yazı Tabı, Oluklu Mukavva ve Gazete Kağıdı Üretiminde Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi. KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kahramanmaraş.150s.
- Çiçekler, M., & Tutuş, A. (2019). Atık Gazete Kağıtlarının Geri Dönüşümü Üzerine Bir Araştırma. In *Congress on AGRIFOR* (pp. 125-135).
- Dafchahi, M. N., Resalati, H., Zabihzadeh, S. M., Nazarnezhad, N., Asadpour, G., & Pirayesh, H. (2021). Novel calcium carbonate filler for cellulose industry. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 36(3), 536-547. <https://doi.org/10.1515/npprj-2021-0018>.
- Demir D., & Keleş G. (2006). Radiation Transmission of Concrete Including Boron Waste for 59.54 and 80.99 keV Gamma Rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 245, pp501-504.
- Demir F. (2010). Determination of mass attenuation coefficients of some boron ores at 59.54 keV by using scintillation detector, *Applied Radiation and Isotops*, Vol. 68, 175-179.
- Dence, C.W., & Reeves, D.W. (1996). Pulp Bleaching-Principles and Practice, Vol:1. Tappi Press, Atlanta, 512 p.
- Doğan, A. (2017). Bor Türevi Bileşikler İçeren Bazı Yapı Malzemelerinin Radyasyon Tutuculuk Özellikleri, *Hazır Beton Kongresi, İstanbul, Kasım-Aralık 2022*, s.76.

- Đurovič, M., & Zelinger, J. (1993). Chemical Processes in the Bleaching of Paper in Library and Archival Collections., 14, 101- 78. <https://doi.org/10.1515/rest.1993.14.2.78>.
- El-Sakhawy, M. (2005). Effect of bleaching sequence on paper ageing. Polymer Degradation and Stability, 87, 419-423. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2004.10.002>.
- EPA. (2019). Radiation Basics. <https://www.epa.gov/radiation/radiation-basics>. (Erişim tarihi: 15.10.2021)
- Erdoğan, F. (2020). Yüksek Radyoaktif Maddelerin Taşınmasında İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulaması: Hata Ağacı Model Önerisi ile Risk Analizi (Doctoral dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Eroğlu, H. (2003). Kağıt ve Kağıt Fiziği Ders Notları, 144s. Trabzon.
- Eroğlu, H. ve Usta, M. (2004). Kağıt ve Karton Üretim Teknolojisi, I. Cilt, Selüloz ve Kağıt Sanayii Vakfı, Trabzon.
- Erol, A., Pocań, I., Yanbay, E., Ersoz, O., & Lambrecht, F. (2016). Radiation shielding of polymer composite materials with wolfram carbide and boron carbide. Radiation Protection and Environment, 39, 3 - 6. <https://doi.org/10.4103/0972-0464.185147>.
- Esen, Y. ve Yılmaz, B., (2011). An investigation of X-ray and radio isotope energy absorption of heavyweight concretes containing barite. Bull. Mater. Sci., Vol.: 34, No: 1, February 2011, pp. 169–175.
- Eti Maden İşlemleri Genel Müdürlüğü (2013). Faaliyet Raporu: Bor kullanım alanları. Erişim adresi http://www.sp.gov.tr/upload/xSPRapor/files/DnB8S+Eti_Maden_13_FR.pdf.
- Eti Maden, (2022) "Tinkal". <https://www.etimaden.gov.tr/tinkal>. (Erişim tarihi: 10 Nisan 2022)
- European Paper Recycling Council, Monitoring Report (EPRC). (2020). "European Declaration on Paper Recycling 2016-2020.
- Fallon, K.C., (1994). In situ formation of formamidine sulfinic acid: an oxidative/reductive bleaching process for recycled fiber. In: TAPPI Pulping Conf. Proceedings, San Diego, p. 263.
- Fallows, J.D., (1995). Pulper and Pulper Screens. In Deinking Short Course, Atlanta, Tappi Press, pp 39-72.
- Fellers, C., Östlund, S., & Mäkelä, P. (2012). Evaluation of the Scott bond test method. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 27, 231 - 236. <https://doi.org/10.3183/npprj-2012-27-02-p231-236>.
- Forsberg, P.M. ve Genco, J.M., (1994). Bleaching Mixed Office Waste to High Brightness, Tappi Journal, 77(3) p253-259.

- Geffertova, J., Geffert, A., & Deliiski, N. (2016). The Effect of Light on the Changes of White Office Paper. *Key Engineering Materials*, 688, 104–111. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.688.104>.
- Gehr, V., (1997). Bleaching of Secondary Fibre Stocks-What Can the White Magic Achieve?, *Papier*. 51(11) p580-585.
- Gençel, O., (2009). Hamile Ratlarda Oksidatif Strese Neden Olan Radyasyona Karşı Kolemanitli Betonun Koruyucu Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Geri Dönüşüm Ekonomisi Dergisi (GDED). (2023). “Dünyada Karton Kutu Kullanımında Düşüş Var”. *Geri Dönüşüm Ekonomisi Dergisi*. <https://geridonusumekonomisi.com.tr/dunyada-karton-kutu-kullaniminda-dususvar.html#:~:text=Bloomberg%20Intelligence%20analisti%20Ryan%20Fox,bu%20yana%20ilk%20kez%20d%C3%BC%C5%9F%C3%BCyor>. (Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023)
- Gill, R. A. (1995). Fillers for papermaking. İçinde C. O. Au & I. Thorn (Ed.), *Applications of Wet-End Paper Chemistry* (ss. 54-75). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0756-5_4.
- Günther, K., Giebing, C., Askani, A., Leisegang, T., Krieg, M., Kyosev, Y., Weide, T., & Mahltig, B. (2015). Cellulose/inorganic-composite fibers for producing textile fabrics of high X-ray absorption properties. *Materials Chemistry and Physics*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.10.019>.
- Göksel, A.S. (1973). Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması. İTÜ-Nükleer Enerji Enstitüsü. No:9. İstanbul.
- Hache, M., & Joachimides, T., (1992). The Influence Bleaching on Colour in of Deinked Pulps, *Tappi Journal*, Vol:75, No:7, p187-192.
- Hache, M., Munroe, D., & Teodorescu, G., (1994): The Colour Stripping of Office Wastepaper with Sodium Hyfrosulphite, *Pulp and Paper Canada*, Vol:95, No:12, p120-125.
- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (2011). *Fundamentals of Physics* (9. Baskı). USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Halonen, H., Larsson, P., & Iversen, T. (2013). Mercerized cellulose biocomposites: a study of influence of mercerization on cellulose supramolecular structure, water retention value and tensile properties. *Cellulose*, 20, 57-65. <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9801-6>.
- Herrera, E. L., Dadachova, E., Casadevall, A., & Zhang, Y. (2020). A biomimetic approach to shielding from ionizing radiation: The case of melanized fungi. *PLOS ONE*, 15(3), e0229921. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229921>.

- Holik, H., (2000). Unit operation and Equipment in Recycled Fibre Processing in Recycled Fibre and Deinking Edit by Göttsching, L., Fapet Oy Publishing, Helsinki, 91-205.
- International Association of the Deinking Industry (INGEDE). (2018). INGEDE Method 11p: Assessment of print product recyclability – Deinkability test. INGEDE. Munich, 04/2001.
- İçelli, O., Yalcın, Z., Okutan, M., Boncukcuoğlu, R., & Şen, A., (2011). The determination of the total mass attenuation coefficients and the effective atomic numbers for concentrated colemanite and Emet colemanite clay, *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 38, 2079-2085.
- İmamoğlu, S. (2002). Atık Kağıt Hamurlarının Formamidin Sülfonik Asit (FAS) ile Ağartılması. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi. İstanbul.
- İmamoğlu, S. & Peşman, E. (2012). Flotasyon süresinin mürekkep giderme işlemi ve hamur kalitesine etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 13(2):250-269.
- İ.T.Ü. (1977). Radyoaktivite ve radyasyonlar, Nükleer Enerji Enstitüsü Genel Yayınlar, No: 14.
- Kaplan, M. F. (1989). *Concrete Radiation Shielding*. Longman Scientific & Technical, USA. pp: 476.
- Karadoğan, Z. I., Özdemir, Y., & Kavaz, E. (2021). Ni Tabanlı Bazı Süperalaşımların Foton Etkileşim Özelliklerinin İncelenmesi. *El-Cezeri*, 8(2), 552-566.
- Kavun, Y., Uruş, S., Tutuş, A., Eken, S., & Özbek, R. (2019). Investigation of beta radiation absorption properties of tungstate and molybdate doped wallpapers. *Cumhuriyet Science Journal*, 40(4), 846-853.
- Kavun, Y. (2019). Examination of Radiation Absorption Properties of Pb(NO₃)₂ Doped Wallpapers, *BEU Journal of Science* 8 (Özel Sayı), 1-6.
- Kavun, Y., Eskalen, H., Kavgacı, M., Yaykaşlı, H., & Bahşi, M. (2024). A novel vanadium pentoxide doped glasses characterization for radiation shielding applications. *Applied Radiation and Isotopes*, 203, 111086.
- Ken j., (2022). “Nuclear radiation shielding protection and halving thickness” values. *Modern Survival Blog*. <https://modernsurvivalblog.com/nuclear-radiation-shielding-protection-and-halving-thickness-values/>. (Erişim tarihi: 02.06.2023)
- Kharita M.H., Alnassar M., & Yousef S., (2010). Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete. *Progress in Nuclear Energy*, 1-5.
- Kharita M.H., Yousef S., & Alnassar M. (2011). Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete. *Progress in Nuclear Energy*, 53, pp207-211.

- Kılınçarslan, Ş., Başığit, C., & Akkurt, İ. (2007). Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(2), 393-399.
- Kılınçarslan, Ş., & Seven, A. (2015). Baritli Hazır Sıva Kaplamalarının Radyasyon Zırh Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(3), 9-14.
- Kırcı, H., Peşman, E., & Kalyoncu, E.E. (2004). Kraft hamurunun oksijen delignifikasyonu kademesinin sodyum perborat monohidrat ile takviye edilmesi. 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, Sempozyumu, s:339-343, 23-25 Eylül, Eskişehir.
- Kim, S., Ahn, Y., Song, S. H., & Lee, D. (2022). Tungsten nanoparticle anchoring on boron nitride nanosheet-based polymer nanocomposites for complex radiation shielding. Composites Science and Technology, 221. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2022.109353>.
- Knauf. (2022). “Alçı levha”. https://www.knauf.com.tr/tr/ueruenler-ve-sistemler/ueruenler/kuru-yapi-alci-ueruenleri-sistem-tamamlayicilari/#showtab-tab1513843_3. (Erişim tarihi: 11.11.2022)
- Knoll, G.F. (1979). “Radiation Detection and Measurement”, 3rd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Knoll, G.F., (2002). Radiation Detection and Measurement. University of Michigan.
- Kocabey, Y., (2015) Otokopi Kağıtlarının Mürekkep Giderme Etkinliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Koçak, H. Ş. (2010). Kütahya Emet Borik Asit İşletmesi Bor Atıklarının Alçı Levha Üretiminde Kullanılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye.
- Korkut, T., Ün, A., Demir, F., Karabulut, A., Budak, G., Şahin, R. ve Oltulu, M. (2010). Neutron dose transmission measurements for several new concrete samples including colemanite. Annals of Nuclear Energy, 37: 996–998.
- Körpınar, B., Canbaz Öztürk, B., Çam, N. F., & Akat, H. (2020). Radiation shielding properties of Poly(hydroxyethyl methacrylate)/Tungsten(VI) oxide composites. Materials Chemistry and Physics, 239. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.121986>.
- Kronis, J.D. (1997). Optimum conditions play major role in recycled fiber bleaching with FAS. In: Patrick, K.L. (Ed.), Advances in Bleaching Technology. Miller Freeman Books, CA, p. 104.
- Krane, K.S., (1998). Introductory Nuclear Physics (1. Baskı). United States: John Wiley & Sons, Inc, 246-361.

- Kuluöztürk, Z. N., & Demir, N. (2019). Investigation Of The Collimator Effect On The 3''x3''nαι (T1) Detector System By The Fluka Code. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8, 30-36.
- Kutuk, S. (2017). Öğütölmüş nano boyutlu kolemanit mineralinin elementel ve kristal yapı özellikleri. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2), 303–313. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erzifbed/issue/32383/334656>.
- Kölekçi, G. (2021) 60Co Radyoaktif Nokta Kaynağı ile Uçucu K0l0n Gama Radyasyon Koruma Özellikleri, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (27), 145-151.
- Lamarsh, J. (2001). Introduction to Nuclear Engineering (3. Baskı). New Jersey: Prentice Hall, 52-57, 467-535, 549-595.
- Lee, J., Kim, C., Kim, E., & Park, T. (2016). Study on the Detachment of Fluorescent Whitening Agents from White Waster Papers. , 48, 5-12. <https://doi.org/10.7584/KTAPPI.2016.48.2.005>.
- Li, L., Lee, S., Lee, H., & Youn, H. (2011). Hydrogen Peroxide Bleaching of Hardwood Kraft Pulp with Adsorbed Birch Xylan and Its Effect on Paper Properties. Bioresources, 6(1): 721-736.
- Lourenço, A. F., Godinho, D., Gamelas, J. A. F., Sarmiento, P., & Ferreira, P. J. T. (2019). Carboxymethylated cellulose nanofibrils in papermaking: Influence on filler retention and paper properties. Cellulose, 26(5), 3489-3502. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02303-5>.
- Lozo, B., Knesarek, N., & Majnarić, I. (2002). Removal of Ink by Defibration: Colorimetric Properties of Recycled Paper. , 459-462. <https://doi.org/10.2352/cgiv.2002.1.1.art00097>.
- Mann, H., Brar, G., Mann, K., & Mudahar, G. (2016). Experimental Investigation of Clay Fly Ash Bricks for Gamma-Ray Shielding. Nuclear Engineering and Technology, 48, 1230-1236. <https://doi.org/10.1016/J.NET.2016.04.001>.
- McCool M.A. (1993). Flotation deinking in secondary fibre recycling. Spankgenberg, R.J. (ed.), Tappi Press, Atlanta.
- McKinney, R.W.J. (1995). Wastepaper Preperation and Contaminant Removal in Technology of Paper Recycling edit by McKinney, R.W.J., Blackie Academic & Professional Publ.
- Martin, J.E. (2013). Physics for Radiation Protection (2. Baskı). Weinheim: Willey-VCH, 29-77, 305-365, 675-735.
- Mortazavi, S. M. J., Mosleh-Shirazi, M. A., Roshan-Shomal, P., Raadpey, N., & Baradaran-Ghahfarokhi, M. (2010). High-performance heavy concrete as a multi-purpose shield. Radiation protection dosimetry, 142(2-4), 120-124.

- Hubbell, J. H. (1969). Photon cross sections, attenuation coefficients and energy absorption coefficients. National Bureau of Standards Report NSRDS-NBS29, Washington DC.
- Oğul, H., Polat, H., Akman, F., Kaçal, M. R., Dilsiz, K., Bulut, F., & Agar, O. (2022). Gamma and Neutron Shielding Parameters of Polyester-based composites reinforced with boron and tin nanopowders. *Radiation Physics and Chemistry*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110474>.
- Okuno, K. (2005). Neutron shielding material based on colemanite and epoxy resin. *Radiation protection dosimetry*, 115(1-4), 258-261.
- Oto, B., Gür, A., Kaçal, M.R., Doğan, B. ve Arasoğlu, A. (2013). Photon attenuation properties of some concretes containing barite and colemanite in different rates. *Annals of Nuclear Energy*, 51, 120–124.
- Önen, S. (1993). *Radyasyon Biyofiziği*. İ.Ü. Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul. s: 112.
- Peşman, E. (2010) Determination of ink removal and bleaching properties of old news and magazine papers, Doctoral dissertation, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey.
- Peşman, E., KIRCI, H., & Kalyoncu, E. E. (2011). The Effects of Short Wave UV Irradiation (254-366nm) on Color Values of Recycled and Bleached ONP/OMP Pulps. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(1), 57-67.
- Powsner R.A., & Powsner E.R. (2006). *Essential Nuclear Medicine Physics*. Blackwell Publishing, 2nd Ed, ISBN 1-4051-0484-8, Massachusetts.
- Putz, H.J. (2006). Recovered paper and recycled fibers, *Handbook of Pulp* (pp. 1147-1203). KGaA, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Raymond, L., Turcotte, R., & Gratton, R. (2004). The challenges of increasing filler in fine paper. *Paper technology*, 45(6), 34-40.
- Retulainen, E., & Keränen, J. (2017). Changing Quality of Recycled Fiber Material – Part II. Characterization of the Strength Potential with Fiber Integrity Value and its Relationship with the Strength Properties of Paper. *Bioresources*, 12, 6109-6121. <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.6109-6121>.
- Rhim, J., Lee, J., & Hong, S. (2006). Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards. *Lwt - Food Science and Technology*, 39, 806-813. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2005.05.008>.
- Rockwell, T. (1956). *Reactor shielding design manual* (No. TID-7004). United States Atomic Energy Commission, Washington, DC (United States).
- Rwashdi, Q. A. A. D., Waheed, F., Gunoglu, K., & Akkurt, İ. (2022). Experimental testing of the radiation shielding properties for steel. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 8(3), 74-76.

- Sakurai Y., Sasaki A., & Kobayashi T. (2004). Development of neutron shielding material using metathesis-polymer matrix. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 522, pp455-461.
- Schaeffer, T., Blyth-Hill, V., & Druzik, J. (1997). Aqueous Light Bleaching of Modern Rag Paper: An Effective Tool for Stain Removal., 21, 1-14. <https://doi.org/10.1080/03094227.1997.9638594>.
- Schimmerling, W. (2018). Interactions of Radiation with Matter. <https://three.jsc.nasa.gov/concepts/InteractionsMatter.pdf> . 2011. (erişim tarihi: 17.10.2019)
- Shapiro, J. (2002). Radiation protection: a guide for scientists, regulators, and physicians. La Editorial, ISBN: 0-674-00740-9, London, England, 227s.
- Shen, J., Song, Z., Qian, X., & Liu, W. (2009). MODIFICATION OF PAPERMAKING GRADE FILLERS: A BRIEF REVIEW. *BioResources*, 4(3).
- Shen, J., Song, Z., Qian, X., & Yang, F. (2010). Carboxymethyl cellulose/alum modified precipitated calcium carbonate fillers: Preparation and their use in papermaking. *Carbohydrate Polymers*, 81(3), 545-553.
- Shultis, J. K., & Faw, R. E. (2012). Radiation shielding. In *Nuclear Energy: Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (pp. 389-425). New York, NY: Springer New York.
- Singh K., Singh H., Sharma V., Nathuram R., Khanna A., Kumar R., Bhatti S.S., & Sahota H.S. (2002). Gamma ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, Vol. 194.
- Singh, C. Singh, G. S. Sidhu, J. Singh, P. S. Singh, and Mudahar, G. S. (2003). "Flyash: a radiation shielding material," *Indian Journal of Physics*, vol. 77A, pp. 41–45.
- SKSV, 2023. Selüloz ve Kağıt Sanayii Vakfı, Yıllık Sektör Raporları, İstanbul.
- Sözbir, T., & Çiçekler, M. (2022). A study on effect of modified calcite on filler retention and mechanical properties of fluting papers. *Scientific Mining Journal*, 61(1), Art. 1. <https://doi.org/10.30797/madencilik.994264>.
- Subramanian, R., Fordsmand, H., & Paulapuro, H. (2007). Precipitated calcium carbonate (PCC)-Cellulose composite fillers; effect of PCC particle structure on the production and properties of uncoated fine paper. *BioResources*, 2(1), 91-105.
- Sürücü, A. M., & Subaşı, S. (2021). Nanomateryallerin Kompozit Malzemelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *El-Cezeri*, 8(1), 182-194.
- Süss, H.U., & Krüger, H. (1983). Verfahren zur Herstellung von Kunststoffteilen. German Patent DE 3309956 C1.

- Syahida, S. N., Ismail-Fitry, M. R., Ainun, Z. M. A. A., & Hanani, Z. A. N. (2020). Effects of palm wax on the physical, mechanical and water barrier properties of fish gelatin films for food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*, 23, 100437. <http://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100437>.
- Şahin Y. (2006). *Kompozit Malzemelere Giriş*. Seçkin Yayıncılık, ISBN 975 02 0328 3, Ankara. 436s.
- Şeker, Ş. S., Çerezci, O. (1997). *Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri*. B.Ü. Matbaası, Yayın No:607, İstanbul, s: 468.
- TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu). (2010). *Radyasyondan Korunma*. <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/166-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/440-bolum-06-radyasyondan-korunma.html>. (Erişim tarihi: 05.01.2015)
- Talha, M. S. (2021). “Alçıpan Kullanımı-Alçıpan Nedir?. Sanal Şantiye” <https://www.sanalsantiye.com/alcipan-kullanimi-alcipan-nedir/>. (Erişim tarihi:19.04.2021)
- Taner, A. C. (2018). *Yeni Kuşak Radyasyon Teknolojileri Uygulamaları ve Kobalt-60 (Co-60) Gama Işınlama Tesisleri*. Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu [Date of access: 23 Şubat 2018, Available from: <http://www.fmo.org.tr/wp-content/belgeler/yenikusakguc.pdf>].
- Tanır, A. G., Bölükdemir, M. H., & Koç, K. (2013). *Radyasyon ve radyasyondan korunma fiziği*. Palme Yayıncılık, Ankara, 822s.
- The Confederation of European Paper Industries (CEPI). (2022). “Preliminary Statistics 2022”. https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2023/02/Cepi_Preliminary-statistics-2022_15022023.pdf. (Erişim tarihi: 21.03.2023)
- Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM). (2023). *Ağaç ve Orman Ürünleri Sektörü*. <https://tim.org.tr/tr/ihracat-rakamlari>. (Erişim tarihi 6 Ekim 2023)
- TÜİK. (2022). *Konularına Göre İstatistikler*.Türkiye İstatistik Kurumu. Ankara.
- Turan, M., & Kılıçkaya, T. (2016). *İstanbul Dış Cephe Sisteminde Alçı Esaslı Levha Bileşeninin Kullanımı*. 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 2– 3 Haziran 2016 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Turner, J.E. (2007). *Atoms, Radiation, and Radiation Protection* (3. Baskı) Germany: John Wiley & Sons, Inc, 62-232, 399-424.
- Turner, L.W., (Edited by Boyes, W) (2003). *Radiation* (Chapter 41). Instrumentation Reference Book. Elsevier.
- Tutuş, A. (1996). *Kimyasal Termomekanik Yöntemle Elde Edilen Kağıt Hamurunun (CTMP) Hidrojen Peroksit ile Ağartılması*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

- Tutuş, A. (2010). Kağıt Endüstrisinde Bentonit ile Birlikte Kullanılan Polimerlerin Tutunma ve Kağıt Özellikleri Üzerine Etkisi. *Ecological Life Sciences* , 5 (2) , 416-427 Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsaicolife/issue/19791/211832>.
- Tutuş, A., Kırıcı, H., Alma, M.H., Deniz, İ., & Karademir, A. (2009). Buğday Saplarından Kraft-Sodyumborhidrür Yöntemiyle Kağıt Hamuru Üretimi ve Oksijen-Sodyum Perborat Monohidrat vle Ağartılması. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Proje no: BOREN-2006-Ç-01.
- Tüfekçi, M. M., & Çakır, Ö. (2017). An Investigation On Mechanical and Physical Properties of Recycled Coarse Aggregate (RCA) Concrete with GGBFS. *International Journal of Civil Engineering*, 15, 549-563.
- Tüysüz, M. Z. (2004). Co-60 Teleterapi Kaynağı için Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı. (Bitirme Ödevi), Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Şanlıurfa.
- Un, A., and Demir, F. (2013). "Determination of Mass Attenuation Coefficients, Effective Atomic Numbers and Effective Electron Numbers for Heavy-Weight And Normal-Weight Concretes," *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 80, pp. 73–77.
- Uyar, O., & Gülsoy, U. K. (2003). Tıbbi Görüntüleme Fiziği. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, s: 618.
- Van Lierop, B., R., Berry, Audet, A., Roy, B., & Scackford, L. (1996). The PHT Process: High Temperature Alkaline PeroxideBrightening of Kraft Pulp. *International Pulp Bleaching*.
- Velho, J. L. (2002). "How Mineral Fillers Influence Paper Properties: Some Guidelines," in "Ibero-American Congress on Pulp and Paper Research (CIADICYP 2002)," October 10–12, Sao Paulo, ~ Brazil, pp. 18.
- Wood, J. I. (1982). *Computational Methods in Reactor Shielding*. Pergamon Pres, pp: 441.
- Yarar, Y., & Bayülken, A. (1994). Investigation of neutron shielding efficiency and radioactivity of concrete shields containing colemanite. *Journal of Nuclear Materials*, 1720-1723. [https://doi.org/10.1016/0022-3115\(94\)91120-7](https://doi.org/10.1016/0022-3115(94)91120-7).
- Yarar, Y. (1996). Activation characteristics of concrete shields containing colemanite. *Journal of Nuclear Materials*, 233, 1511-1515. [https://doi.org/10.1016/S0022-3115\(96\)00324-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3115(96)00324-8). Yaren H, Karayılanoğlu 2005., T. Radyasyon ve insan sağlığı-Etkileri. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni.; 4 (4): 199–208.
- Yasaka P., Pattanaboonmee N., Kim H.J., Limkitjaroenporn P., & Kaewkhao J. (2014). Gamma radation shielding and optical properties measurements of zinc bismuth borate glasses, *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 68, 4-9.
- Yıldırım, G. (2018). Atık kül dolgulu üretilen yapı panellerinin radyasyon sönümleme durumlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.Niğde. 63s.

- Yılmaz, E., Baltaş, H., Kırıs, E., Ustabaş, İ., Çevik, U. ve El-Khayatt, A.M. (2011). Gamma Ray and Neutron Shielding Properties of Some Concrete Materials. *Annals of Nuc. Energy*, 38: 2204-2212.
- Yiğit, Z. (1996). Endüstriyel Atık Malzemesi Olan Kağıt ile Bor Elementi Kullanılarak Nötron Zırhlamasında Etkili Bir Zırh Geliştirilmesi (Doctoral dissertation, Enerji Enstitüsü).
- Ying, W. (2009). Applications of the Kneading System to Waste Paper Dust Removal and Adhesive Dispersion. *Light Industry Machinery*. Guanghzou.
- Yue, F., Chen, K., & Fachuang, L. (2016). Low Temperature Soda-Oxygen Pulping of Bagasse. *Molecules*, 21(1):85-97.
- Yunlu, K. (2016). Bor Bileşikleri, Sentez Yöntemleri, Özellikleri, Uygulamaları (First ed.). Ankara: BOREN.
- TS EN ISO534. (2012). Kağıt ve Karton Kalınlık, Yoğunluk Ve Özgül Hacim Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO536. (2013). Kağıt ve Karton-Gramaj Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO638. (2010). Kağıt, Karton ve Kağıt Hamurları-Kuru Madde Tayini-Etüvde Kurutma Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO1924-2. (2013). Kağıt ve Karton-Çekme (Kopma) özelliklerinin tayini-Bölüm 2: Sabit hızda Uzama yöntemi (20mm/ min), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO1974. (2012). Kağıt-Yırtılma Dayanımı Tayini-Elmendorf Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO2758. (2015). Kağıt-Patlama Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO5267-1. (2001), Kağıt Hamurları-Süzülebilirlik Tayini-Bölüm 1: Schopper riegler Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS ISO 1762. (2016). Kağıt, Karton ve Kağıt Hamurlarında 525 °c'da Yakma Kalıntısı (Kül Tayini).
- TS ISO 2470-1. (2015). Kağıt, Karton ve Hamurları-Dağınık Mavi Yansıtma Faktörü Ölçümü-Bölüm 1: Açık Gün Işığı Koşulları (ISO Parlaklık).
- TS ISO 2470-2. (2015). Kağıt, Karton ve Hamurları-Dağınık Mavi Yansıtma Faktörü Ölçümü-Bölüm 2: Açık Gün Işığı Koşulları (D65 Parlaklık).
- TS ISO 2471. (2015). Kağıt ve Karton-Opaklık Tayini (Kağıdın Arka Vermesi) Yayılan Yansıtma Metodu.
- TS ISO 11475. (2014). Kağıt ve Karton-CIE Beyazlığı, D65/ 10° (Bina Dışı Gün Işığı) Tayini.

- Zhang, M., Song, S., Wang, J., Sun, J., Li, J. Z., Ni, Y., & Wei, X. (2013). Using A Novel Fly Ash Based Calcium Silicate As A Potential Paper Filler. *BioResources*, 8(2), Art. 2.
- Zhang, Z., Britt, I. J., & Tung, M. A. (2001). Permeation of oxygen and water vapor through EVOH films as influenced by relative humidity. *Journal of Applied Polymer Science*, 82(8), 1866-1872. <http://doi.org/10.1002/app.2030>.

