

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİÜRETAN ESASLI ÜRÜNLERDE GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT
KATKISI İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİN VE SES
YALITKANLIĞININ İNCELENMESİ

CEM YİĞİT

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİÜRETAN ESASLI ÜRÜNLERDE GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT
KATKISI İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİN VE SES
YALITKANLIĞININ İNCELENMESİ

CEM YİĞİT

Doç. Dr. Onur ÇOBAN
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Mustafa Özgür BORA
Tez Jürisi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Ekrem ALTUNCU
Tez Jürisi, Sakarya Uyg. Bil. Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 19.01.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı, beyan ederim.

☒ Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Cem YİĞİT

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izimle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir

Cem YİĞİT

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında geliştirilmiş perlit ve zeolit dolgularının elastomer poliüretan sistemlerde viskozite, yoğunluk, mekanik ve akustik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Samimiyet, içtenlik ve şeffaflıkla tüm bilgi birikimini benimle paylaşan, değerli zamanını bana ayırıp ne zaman danışsam ya da arasam sabırla fayda sağlamak adına elinden gelen çabayı sarf eden, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden rahatlıkla gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve bundan sonraki mesleki hayatımda verdiği bilgilerinden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Onur Çoban'a teşekkür ederim.

2 yıllık yüksek lisans dönemim boyunca üzerimde emeği olan ve bilgilerinden faydalandığım tüm hocalarıma, yüksek lisans yapmama olanak sağlayan ve Pimsa Otomotiv A.Ş. olanaklarını kullanmama müsaade eden Emre İncekara'ya, yüksek lisans yapmam için beni teşvik ve motive eden ayrıca yol gösteren Ömür Seyman'a teşekkürü borç bilirim.

Bu tezin oluşmasında bana koşulsuz yardımcı ve destek olan çok değerli ekip arkadaşlarım başta Aykut Aykaç, Tuçe Fidan, Fatih Demir olmak üzere Furkan Kasap, Mehmet Günay, Ethem Gökhan Özçelik, Deniz Varsavaş, Ümmü Önder ve Zehra Betül Ahi'ye, bugünlere gelmemde en büyük destekçim olan babama, anneme ve motivasyon kaynağım kızıma, değerli ilkokul öğretmenim Canan Ünsal'a ve az ya da çok aklıma gelmeyip yazamadığım tüm paydaşlara teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak-2023

Cem YİĞİT

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLOLAR DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİ	2
2.1. Poliüretanın Tarihi.....	2
2.2. Poliüretan.....	3
2.2.1. Sert Poliüretan.....	6
2.2.2. Esnek Poliüretan	6
2.3. Polioller	7
2.4. İzosiyanatlar	8
2.5. Şişirici Ajanlar.....	8
2.6. Poliüretanların Ses Yalıtkanlığı.....	9
2.7. Dolgu Malzemeleri (Katkı Malzemeleri)	10
2.8. Perlit ve Özellikleri	11
2.9. Literatür Taraması	13
3. MALZEME YÖNTEM VE KARAKTERİZASYON.....	16
3.1. Malzemeler.....	16
3.2. Deneysel Prosedür.....	16
3.3. Karakterizasyon.....	20
3.3.1. Mekanik Özellikler.....	20
3.3.1.1. Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi	20
3.3.1.2. Shore-A Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi	21
3.3.2. Ses Yutum Katsayısı ve İletim Kaybı Ölçümü	22
3.3.3. Yoğunluk Testi.....	22
3.3.4. Viskozite Ölçümü.....	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
4.1. Genleştirilmiş Perlit Miktarının Etkisi	25
4.1.1. Viskozite Sonuçları.....	25
4.1.2. Yoğunluk Sonuçları	26
4.1.3. Sertlik Sonuçları	27
4.1.4. Mekanik Test Sonuçları	28
4.1.5. Akustik Özellikler.....	30
4.1.5.1. Ses Yutum Katsayısı Sonuçları.....	30
4.1.5.2. Ses İletim Kaybı Sonuçları	32
4.2. Zeolit Miktarının Etkisi	34
4.2.1. Sertlik Sonuçları.....	34
4.2.2. Mekanik Test Sonuçları.....	35
4.2.3. Akustik Özellikler	37
4.2.3.1. Ses Yutum Katsayısı Sonuçları	37

4.2.3.2. Ses İletim Kaybı Sonuçları.....	38
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR.....	45
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	49



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Poliüretan uygulamaları	3
Şekil 2.2.	Gözenekli yapı elde etme yöntemleri	9
Şekil 3.1.	IKA mekanik karıştırıcı	17
Şekil 3.2.	Zeolit oranını optimize etmek için yapılan bardak dökümler	17
Şekil 3.3.	Plaka dökümlerinde kullanılan ısıtmalı kalıp	18
Şekil 3.4.	Numune hazırlama adımları	20
Şekil 3.5.	Standartlara uygun kesilen, solda kopma numuneleri, sağda yırtılma testi numuneleri	21
Şekil 3.6.	Instron 3366 Çekme Cihazı	21
Şekil 3.7.	Tronic Durometer Model PD800 Shore A cihazı	22
Şekil 3.8.	Testsens Impedance Tube cihazı	22
Şekil 3.9.	Precisa XB220A yoğunluk test cihazı	23
Şekil 3.10.	Brookfield Viscometer DV2T viskozimetre cihazı	23
Şekil 3.11.	Mettler Toledo TGA cihazı	24
Şekil 3.12.	Mettler Toledo DSC cihazı	24
Şekil 4.1.	Viskozite sonuçları	25
Şekil 4.2.	Kalıptan çıkan parçalar	26
Şekil 4.3.	Yoğunluk ölçüm sonuçları	26
Şekil 4.4.	Sertlik ölçüm sonuçları	27
Şekil 4.5.	Kopma dayanımı ölçüm sonuçları	28
Şekil 4.6.	Yüzde uzama ölçüm sonuçları	29
Şekil 4.7.	Yırtılma dayanımı ölçüm sonuçları	29
Şekil 4.8.	Frekansa bağlı ses yutum katsayısı sonuçları	31
Şekil 4.9.	Maksimum ses yutum katsayısı sonuçları	31
Şekil 4.10.	Optik mikroskop görüntüleri	32
Şekil 4.11.	Frekansa bağlı Ses İletim Kaybı değerleri	33
Şekil 4.12.	Maksimum Ses İletim Kaybı değerleri	33
Şekil 4.13.	Zeolit oranının değişimine göre sertlik ölçüm sonuçları	34
Şekil 4.14.	Zeolit oranının değişimine göre kopma dayanımı sonuçları	35
Şekil 4.15.	Zeolit oranının değişimine göre uzama sonuçları	36
Şekil 4.16.	Zeolit oranının değişimine göre yırtılma dayanımı sonuçları	36
Şekil 4.17.	Optik mikroskop resimleri	37
Şekil 4.18.	Zeolit oranına göre frekansa bağlı ses yutum katsayıları	38
Şekil 4.19.	Frekansa bağlı ses iletim kaybı değerleri	39
Şekil 4.20.	Zeolit, perlit ve çeşitli zeolit ve genleştirilmiş perlit oranlarına sahip numunelerin TGA sonuçları	40
Şekil 4.21.	Zeolit ve perlit DSC sonuçları	41
Şekil 4.22.	Çeşitli zeolit ve genleştirilmiş perlit oranlarına sahip numunelerin DSC sonuçları	42

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	Poliüretanın özellikleri	5
Tablo 2.2.	Perlitin yapısal bileşenleri	12
Tablo 3.1.	Genleştirilmiş Perlit ve zeolit fiziksel özellikleri.....	16
Tablo 3.2.	Poliol ve İzosiyanatın kimyasal özellikleri	16
Tablo 3.3.	Dökülen numuneler ve kompozisyonları	19
Tablo 4.1	Viskozite sonuçları ve standart sapmaları.....	25
Tablo 4.2.	Yoğunluk sonuçları ve standart sapmaları	27
Tablo 4.3.	Sertlik sonuçları ve standart sapmaları.....	28
Tablo 4.4.	Mekanik testlerin sonuçları ve standart sapmaları.	29
Tablo 4.5.	Maksimum ses yutumu katsayısı ve frekans sonuçları	31
Tablo 4.6.	Maksimum Ses İletim Kaybı değerleri ve frekansları.....	33
Tablo 4.7.	Zeolit oranının değişimi sonucu sertlik ölçüm sonuçları ve standart sapmaları.....	35
Tablo 4.8.	Zeolit oranı değişimine göre mekanik test sonuçları ve standart sapmaları	36
Tablo 4.9.	Zeolit oranına göre maksimum ses yutumu katsayısı ve frekans sonuçları	38
Tablo 4.10.	Maksimum iletim kaybı değerleri ve frekansları	39
Tablo 4.11.	Farklı oranlarda perlit ve zeolit içeren numunelerin uçucu miktarı, bozunma pik sıcaklıkları ve kalan miktar %.....	41
Tablo 4.12.	Farklı oranlarda perlit ve zeolit içeren numunelerin camsı geçiş sıcaklığı	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μm	: Mikrometre
Al(OH)_3	: Alüminyum hidroksit
AO	: Alkil oksit
CO_2	: Karbon dioksit
cP	: Santipoise
dk	: Dakika
H_2O	: Hidrojen dioksit
HDI	: Heksametilen diizosiyanat
Hz	: Hertz
m.Pa.s	: Milipaskal - saniye
Moh's	: Mohs sertlik skalası
mPa	: Megapaskal
N_2	: Azot
-NCO	: Siyanat
NCO/OH	: Siyanat / Hidroksit oranı
-OH	: Hidroksit
pH	: Potential of hydrogen (Hidrojen potansiyeli)
rpm	: Revolutions per Minute (Dakikadaki devir sayısı)
SiO_2	: Silisyum dioksit

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test Materyalleri Topluluğu)
DSC	: Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)
MDI	: Metilen difenil diizosiyanat
PTMEG	: Politetrahidrofuran
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinil klorür
RIM	: Reaction Injection Molding (Reaksiyon enjeksiyonlu kalıplama)
TDI	: Toluen diizosiyanat
TGA	: Thermogravimetric Analysis (Termogravimetrik Analiz)
UV	: Ultraviyole

POLİÜRETAN ESASLI ÜRÜNLERDE GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT KATKISI İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİN VE SES YALITKANLIĞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Poliüretan sahip olduğu mekanik, akustik, termal ve korozyona dayanıklılık özellikleri sayesinde başta otomotiv, inşaat ve ayakkabı sektörleri olmak üzere çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle elastomerlerde barit, kalsit, kaolin, talk ve zeolit gibi çeşitli doğal inorganik mineraller dolgu malzemesi olarak kullanılarak hem özelliklerin iyileştirilmesi hem de maliyetin düşürülmesi sağlanabilmektedir. Doğal inorganik mineral olan genleştirilmiş perlit gözeneklilik, hafiflik, ısı ve ses yalıtımı ve yanmazlık özelliklerinden dolayı dolgu malzemesi olmaya uygundur. Bu çalışmada, genleştirilmiş perlit elastomer poliüretan sistemlerde dolgu malzemesi olarak %1, %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında kullanılmış ve viskozite, yoğunluk, mekanik ve akustik özelliklere etkisi incelenmiştir. Nem tutma özelliğinden dolayı zeolit ile beraber kullanılmış olup, ideal perlit oranı %5 olarak belirlendikten sonra akustik özelliklerin iyileştirilmesi için zeolit etkisi %5, %10, %15, %20 oranları için çalışılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, ideal mekanik ve akustik özellikleri sağlayan numune %5 perlit ve %5 zeolit içeren numune olarak belirlenmiştir. Standart numune ile karşılaştırıldığında kopma dayanımı %50, yırtılma dayanımı %38, uzama miktarı ise %44 artmıştır. Akustik performansa bakıldığında ise maksimum ses yutum katsayısı %58 artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akustik, Elastomer, Genleştirilmiş Perlit, Poliüretan.

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND SOUND INSULATION WITH EXPANDED PERLITE ADDITIVE IN POLYURETHANE BASED PRODUCTS

ABSTRACT

Polyurethane with mechanical, acoustic, thermal and corrosion resistance properties is used in various areas especially in automotive, construction and footwear industries. Natural inorganic minerals such as barite, calcite, kaolin, talc and zeolite can be used as filling material for improving the properties and reducing the cost in elastomeric polyurethane. Expanded perlite, natural inorganic mineral, is suitable for being filling material with porosity, lightness, heat and sound insulation and non-flammability properties. In this study, expanded perlite was used as a filling material in elastomer polyurethane systems with 1%, 2%, 3%, 4%, 5% and 6% ratios and its effects on viscosity, density, mechanical and acoustic properties were investigated. Expanded perlite used with zeolite due to moisture retention feature of zeolite, and after the ideal perlite ratio was determined as 5%, the zeolite effect was studied for 5%, 10%, 15%, and 20% ratios to improve the acoustic properties. As a result, the sample providing ideal mechanical and acoustic properties was determined as 5% perlite and 5% zeolite containing sample. The breaking strength 50%, the tear strength %38, and the elongation 44% increased, compared to standard sample. Considering the acoustic performance, the maximum sound absorption coefficient %58 improved.

Keywords: Acoustic, Elastomer, Expanded Perlite, Polyurethane.

1. GİRİŞ

Poliüretan günümüzde geniş ürün yelpazesine hitap edebilmesinden ve korozyona karşı dirençli olması, ısı ve ses yalıtımı ve şekil alabilir özelliklerinden dolayı sıklıkla otomotiv, inşaat, ayakkabı gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Poliüretanın sahip olduğu özellikler poliöl/izosiyanat oranı, üretim metodu ve eklenen katkı malzemelerine göre değişmektedir. Eklenen katkı malzemelerinden, katalizörler, zincir uzatıcılar, çapraz bağlayıcılar, dolgular ve nem tutucular hem yoğunluk, viskozite, gözenekli yapı özelliklerini etkilerken hem de buna bağlı olarak mekanik, termal, akustik özellikleri etkilemektedir.

PU'lerin kullanım alanına göre düşük ısı kararlılık ve düşük mekanik dayanım gibi bazı dezavantajları olabilmektedir. Bu dezavantajların giderilmesi için günümüzde çeşitli katkılar ve ajanlar kullanılmaktadır. Barit, kalsit, kaolin, talk ve zeolit kullanılan bu dolgulara örnek olarak verilebilir.

Otomobillerde kullanılan polimer kökenli yapı parçalarında kullanılmak üzere, genleştirilmiş perlitin sahip olduğu düşük ısı iletim katsayısı, düşük yoğunluk, yanmazlık ve yüksek ses emme kabiliyeti gibi özelliklerinden faydalanarak poliüretan bazlı kompozit yapıda elastomerin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. TEORİ

2.1. Poliüretanın Tarihi

1937 yılında Otto Bayer tarafından keşfedilen poliüretan geniş bir özellik yelpazesine sahiptir. Otto Bayer naylonun yerine geçebilecek polimer fiberler üretirken tesadüf eseri ilk poliüretan fiberleri üretmiştir. Ürettiği malzeme polimer kimyası alanında çığır açsa da çalıştığı yerdeki (I.G. Farbenindustrie) yöneticileri bunun kullanılamaz olduğunu söyleyerek üretimini engellemiştir. Almanya, 1913 yılında polivinil klorit (PVC) fiberlerinin keşfiyle başlayarak 20 yıldan fazla bir süre yapay fiber teknolojileri alanında lider konumda olmuştur. (Szycher, 2012)

1935 yılında ABD’de bulunan Carothers’ın naylonu keşfetmesiyle DuPont firması naylon fiberlerin üretimine başlamış, patentler ile korumuştur. Böylece Almanya fiber teknolojileri alanındaki üstünlüğünü yitirmiştir. Bunun üzerine Bayer, DuPont’un patentlerinde yer almayan kimyasallardan oluşan benzer polimerlerle aynı ürünleri yapma çalışmalarına başlamıştır. (Szycher, 2012)

Ocak 1938’in sonlarında Rinke ve arkadaşları alifatik 1,8-oktan diizosiyanat ve 1,4-butanediol kimyasallarını başarıyla tepkimeye sokarak düşük viskoziteli ergiyik elde etmiştir. Bu ergiyikten başarıyla fiber üretimi yapılmıştır. Ürettikleri karışım şu anda bilinen poliüretandır. Rinke ve arkadaşları 1938 yılında poliüretanlar hakkında ilk ABD patentini almışlardır. (Szycher, 2012)

I.G. Farbenindustrie firmasının ürettiği ilk poliüretan 185°C ergime sıcaklığına sahiptir ve endüstride yapay kumaşlar için “İgamid U”, yapay ipek ve tüyler için ise “Perlon U” koduyla kullanılmaktadır. Daha yumuşak bir versiyonu ise “İgamid UL” koduyla kullanılmaktadır. Hidroksil sonlu polyesterlerin varlığında izosiyanatlara su eklenerek karbonamidler oluşturulmuş, CO₂ ise gaz yapıcı ajan olarak yapıdan uzaklaşmıştır. Bu köpükler ise “Troporit M” olarak bilinmektedir ve uçak pervanelerinde ve flaplerde kullanılmıştır. (Szycher, 2012)

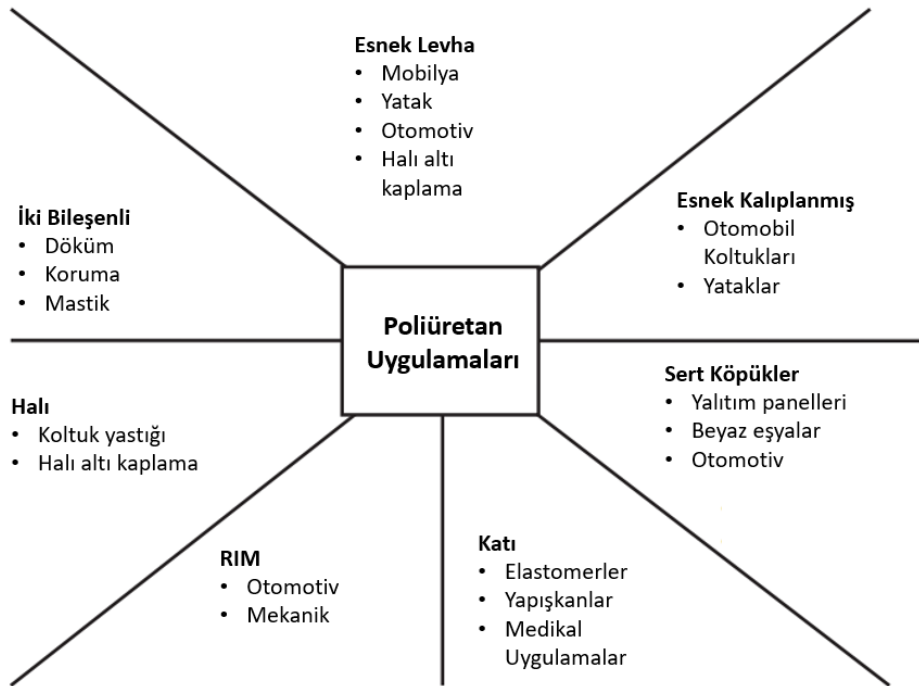
1940’lı yıllarda DuPont ve ICI poliüretanın elastomerik özelliklerini keşfederek endüstriyel üretime başlamıştır. Zincir uzatıcı olarak su ve diizosiyanat olarak da naftalin-1,5-diizosiyanat (NDI) kullanılmıştır. (Szycher, 2012)

DuPont ABD’de poliüretan teknolojisinin başını çekmeye devam etmiştir. 1942 yılında aldığı patentler ile diizosiyanatların glikol, diaminler ve poliesterler ile reaksiyonlarını patentlemiştir. Böylece poliüretanın endüstrideki yeri iyice sağlamlaştı ve en çok kullanılan plastiklerden biri olmuştur. (Szycher, 2012)

2.2. Poliüretan

Poliüretan en önemli polimerlerden biridir. Tipik bir poliüretan üretan bağlarının yanı sıra alifatik ve aromatik hidrokarbonları, esterleri, eterleri, amidleri, üreleri ve izosiyanat gruplarını da içerebilmektedir.

Yumuşak elastomerik polimerlerden sert elastoplastiklere kadar uzanan bu özellik aralığı sayesinde otomotiv endüstrisinde, inşaat malzemelerinde, kaplamalarda, yapıştırıcılarda ve mastiklerde kullanılmaktadır. Poliüretan termoplastik, termoset ve sıcaklık veya UV altında kürlenebilir olarak üretilmektedir. (Szycher, 2012) Poliüretan malzemelerin uygulama alanları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Poliüretan uygulamaları

Organik izosiyanatların aktif hidrojen bulunduran gruplar ile belirli oranlarda karıştırılarak tepkimeye sokulması sonucunda katı veya esnek köpükler, elastomerler, kaplamalar ve mastikler oluşmaktadır. Bunlar polimer şeklindedir. Bir izosiyanat grubunun, poliolün hidroksil grupları ile tekrarlayan üretan grubu oluşturması Denklem 2.1’de gösterilmiştir.



Poliüretan kimyasal yapı olarak termoplastik veya termoset olabilmekte, fiziksel yapı olarak ise katı, yumuşak elastomer veya köpük halinde bulunabilmektedir. Poliüretanın sağladığı avantajlar aşağıdaki gibidir:

- Düşük sıcaklıklarda yüksek darbe mukavemeti
- Köpük yapılabiliyor olması
- Aşınma direnci
- Yırtık ilerleme direnci
- Ozon direnci
- Oksidasyon direnci
- Mantar direnci
- Nem direnci

Ayrıca termoplastik poliüretan alifatik hidrokarbonlara, seyreltilmiş asitlere ve bazlara karşı da dirençlidir. Termoplastik poliüretan için kullanımın tavsiye edildiği en yüksek sıcaklık 104°C’dir. Bu özelliği yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılamaz kılmaktadır.

Poliüretanın kimyasal özellikleri katı bir şekilde belirli değildir. Polioller, polimer zincirine yüksek esneklik sağlarken izosiyanat grubu ise zincirlere sertlik vermektedir. Poliüretan polimer zinciri yumuşak segmentler ve sert segmentlerin bir arada bulunmasıyla oluşmakta ve bu tür esnek bir segment matrisi içinde dağılmış sert alanlar segmentleri içeren poliüretanın morfolojik yapısı tüm fiziksel ve mekanik özellikleri etkilemektedir. Monomer moleküllerinin kimyasal yapısına ve oranlarına göre de moleküler ağırlık, kaynama noktası, erime noktası, kristallinitesi, yoğunluk (köpüklü

veya katı), hücresel yapı, hidrofiliklik veya hidrofobiklik gibi özellikleri de değiştirilebilmektedir. Poliüretanın kimyasal özellikleri genel olarak Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Poliüretanın özellikleri

İşleme Sıcaklığı	196–232°C
Lineer Kalıp Çekmesi	0.004–0.014 cm/cm
Yoğunluk	1.12–1.24 g/cm ³
Çekme Dayanımı, akma	3.4–24.6 kg/cm ³ × 10 ³
Çekme Dayanımı, kırılma	3.4–24.6 kg/cm ³ × 10 ²
Kopma Uzaması	100.0–500.0%
Çekme Modülü	0.4–31.6 kg/cm ³ × 10 ⁴
Flexural Strength, akma	4.2–42.2 kg/cm ³ × 10 ²
Eğme Modülü	0.0–0.2 kg/cm ³ × 10 ⁴
Basma Kuvveti	0.8–20.7 kg/cm ² × 10 ²
Izod Çentigi, Oda Sıcaklığı	8.1 kg/cm/cm
Sertlik	A55–A95 Rockwell
Isı İletkenlik Katsayısı	0.25–0.33 W/m°-K
Linear Termal Genleşme	3.2–15.1 cm/cm-°C × 10 ⁵
Sönüm Sıcaklığı, 264 psi	38–166°C
Sönüm Sıcaklığı, 66 psi	46–188°C
Sürekli Servis Sıcaklığı	82–104°C
Dielektrik Kuvveti	1.7–2.9 V/mm × 10 ⁴
Dielektrik Sabiti, 1 MHz	4.4–51
Enerji Kayıp Faktörü, 1 MHz	0.060–0.100
Su Çekme Kapasitesi, 24 sa	0.10–0.60%

Poliüretan çeşitlerinden olan poliüretan köpüklerin izolatör malzemeleri, ses izolatörleri, buzdolabı ve dondurucu izolatörleri, mobilya, ayakkabı, otomotiv malzemeleri, kaplama ve yapıştırıcılar ve diğer uygulamalar gibi birçok uygulama alanı mevcuttur. (Ateş ve diğ., 2022)

2.2.1. Sert Poliüretan

Poliüretanın en çok kullanıldığı yerlerden biri buzdolaplarıdır. Poliüretan sert köpükler buzdolaplarında yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Gaz yapıcı ajan olarak kullanılan florokarbon bazlı köpükler sayesinde yüksek yalıtım özelliğine sahip köpükler üretilmektedir. Böylece daha ince yalıtım tabakası yapılırken, buzdolaplarının iç hacmi artmaktadır. Soğuk ürün taşıyan kamyonların kasalarında da yalıtım malzemesi olarak sert köpükler kullanılmaktadır.

Sert köpükler için en büyük pazar inşaat sektörüdür. Sert poliüretan ve poliizosiyanat köpükler inşaat sektöründe en popüler, enerji dostu ve çok amaçlı kullanılan malzemelerdir. Ayrıca sert köpüklerin denizcilik uygulamalarında da kullanımına yer verilmektedir. Birçok yeni teknede sert köpükler kullanılarak teknenin suyun üstünde kalması sağlanmakta ve büyük gemilerde de sert köpükler aynı amaç için kullanılmaktadır. Sert köpüklerin ana uygulama alanları aşağıdaki gibidir:

- Bina izolasyonları
- Araç izolasyonları
- Paketleme

2.2.2. Esnek Poliüretan

Esnek köpüklerin önemli kullanım alanlarından biri de otomotiv endüstrisindedir. Esnek köpükler otomobillerde koltuklarda, gösterge panellerinde, kolçaklarda, paspaslarda, güneşliklerde, tavan izolasyonlarında ve hava filtreleri gibi parçalarda kullanılmaktadır. 1995 model arabalarda ortalama olarak 13,6 kg köpük kullanıldığı tahmin edilmektedir. Esnek poliüretan köpüklerin ilk kullanımı uçak koltuklarında olmuştur. Çeşitli alanlarda yaygın kullanımı, yüksek hava geçirgenliğine sahip olması ve optimum basınç tahliyesi için sıcaklığa duyarlı olması esnek poliüretan köpüğün avantajlarındandır.

Esnek köpük pazarı genellikle aşağıdaki uygulamalardan oluşur:

- Otomotiv koltukları
- Araçlarda darbe emici
- Halılarda altlık ve yastıklar
- Yataklar

2.3. Polioller

Reaktif maddeler olan polioller genellikle sıvı halde bulunurlar ve tek bir moleküle bağlı iki tane izosiyanat ile tepkimeye girecek grup içerirler. Polioller çeşitli kategorilere ayrılabilir ancak en genel iki kategori olarak hidroksil sonlu veya amino sonlu olarak ayrılabilir.

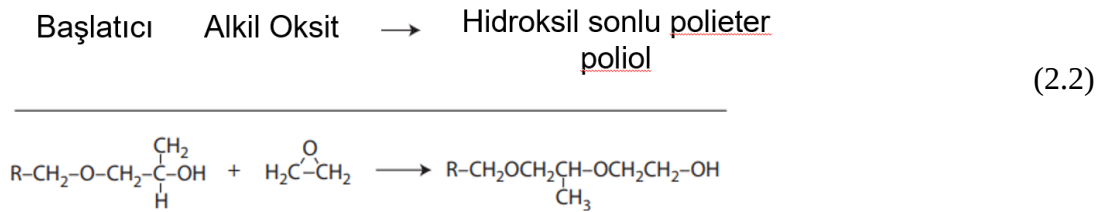
Polioller (makroglikoller) poliüretan üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Polimerlerin özellikleri genelde üretan bağıyla ilişkilendirilse de poliolün yapısı da poliüretanı işlemede ve en son özelliklerinde de direkt etkiye sahiptir. Aslında poliüretanda bulunan bağların çoğunluğu poliol bağlarından gelmektedir.

Kullanılan poliolün baz kimyasalına göre poliüretanın ismi ve özellikleri de değişmektedir. Eğer polieter bazlı veya poliester bazlı poliol kullanılırsa ortaya çıkan poliüretan polieter bazlı poliüretan veya poliester bazlı poliüretan olmaktadır.

2.3.1. Sınıflandırma

İzosiyanat aktif polioller poliüretan ve poliüretan üre hazırlamak için kullanılır. Bu polioller dört farklı sınıfta incelenmektedir.

1. Polieter polioller: Bu malzemeler etilen glikol, propilen glikol, gliserin gibi başlatıcılar ve alkil oksitlerin tepkimesi ile hidroksil sonlu polieter bazlı polioller oluşturulur. Denklem 2.2’de tepkime gösterilmiştir. Oluşan polieterin fonksiyonallitesi, seçilen başlatıcının fonksiyonallitesine bağlıdır. Başlatıcı eğer diol ise oluşan poliolde iki fonksiyonalliteye sahip olacaktır. Eğer başlatıcı triol ise oluşan poliol üç fonksiyonalliteye sahip olacaktır.



Polieter bazlı polioller ile oldukça kaliteli poliüretan köpükler ve elastomerler üretilebilir. En önemli polieter poliollerden bazılarını poli-BD, PTMEG, polipropilen oksit glikol ve polibütlen oksit glikol örnek verilebilir.

2. Amin sonlu polieterler: Bu polioller polieter bazlıdır. Hidroksil sonlu gruplar birincil veya ikincil aminolar ile değiştirilmiştir.
3. Poliester polioller: Bu gruptakiler polibütillen tereftalat (adipat) veya kaprolakton polyesterler gibi polialkil glikol esterlerden oluşmaktadır.
4. Polikarbonatlar: Poli(1,6-hekzandiol) gibi karbonatlar fosgen veya alkil glikol karbonatların yoğunlaşmasıyla oluşur. Ester kimyasında olduğu gibi burada da bu yapı kimya ile kontrol edilerek hidroksil sonlu gruplar içerdiğinden emin olunur.

2.4. İzosiyanatlar

En yaygın kullanılan diizosiyanatlar tolüen diizosiyanat (TDI) ve metilen bis difenilizosiyanattır. (MDI). UV ışığa ve hava durumuna karşı direnç sağlamak için ise HDI ve HMDI gibi alifatik poliizosiyanatlar kullanılabilir.

Diizosiyanat, uzun zincirli bir poliol ve düşük moleküler ağırlığa sahip zincir uzatıcı reaksiyona girdiği zaman elastomer oluşturmaktadır. Elastomerlerin özellikleri genellikle zincir yapısıyla belirlenmektedir. NCO/OH oranı optimum mekanik özellikler için genellikle 1,0-1,1 arasında olmalıdır. Oran 1,0 altına düşmeye başladığı zaman mekanik özellikler düşerken, uzama ve sıkışma özellikleri çok keskin bir şekilde artmaktadır.

2.5. Şişirici Ajanlar

Poliüretan oluşurken, poliolde bulunan (-OH) ve izosiyanatta bulunan (-NCO) birleşerek malzemeye sertlik sağlayan kısım olan üre ve gözenekli yapı oluşturarak düşük yoğunluk sağlayan CO₂ gazını oluşturmaktadır. Daha gözenekli yapı ve düşük yoğunluk elde edilmek istenen durumlarda şişirici ajanlardan yararlanılabilmektedir.

Şişirici ajanlar, fiziksel ve kimyasal olarak iki ana başlıkta incelenebilir. Gözenekli yapı, fiziksel şişirici ajanlar kullanılarak reaksiyon sıcaklığında üretilen gazlar ile elde edilirken, kimyasal şişirici ajanlarla ise kimyasal reaksiyon sonucunda üretilen gazlar sayesinde elde edilir. Genel olarak Şekil 2.2’de açıklanmıştır.

Fiziksel şişirici ajanların basınç altında karıştırılması ya da düşük sıcaklıkta eklenmesi gerektiğinden kullanım yaygınlığı kimyasal şişirici ajanlara göre daha azdır. Fakat kimyasal şişirici ajan kullanıldığında reaksiyonun geri dönüşümlü değildir.

Fiziksel şişirici ajan olarak, ucuz olmalarından dolayı CO₂ ve N₂ gazları büyük hacimli üretimlerde tercih edilmektedir. Fakat istenen köpük yapısında elde edilmesinde yeterli gelmedikleri için, propan, bütan ve pentan gibi daha maliyetli şişirici ajanların kullanımına başvurulmaktadır. Pentanlı sistemler özellikle rijit poliüretanlarda ısı katsayısını düzenlemek adına sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. Gözenekli yapı elde etme yöntemleri

2.6. Poliüretanların Ses Yalıtkanlığı

Poliüretanları ses yalıtkan özellikleri, yoğunluk, cilt, gözenek boyutu, açıklık-kapalılık özellikleri kontrol edilerek geliştirilebilmektedir. Malzemenin ses yalıtkanlığı özelliğinin artması için uygun yoğunluğa sahip olması gereklidir. Yoğunluk yeteri kadar yüksekse ses sönümlenir, yeteri kadar düşük olması durumunda ise ses soğurulur. Çok yüksek olması durumunda ses yüzeyden yansır, çok düşük olması durumunda ise, ses dalgaları malzeme içerisinden geçer. Gözeneklilik ise ses sönümlemesi için avantaj iken ses yalıtkanlığı için dezavantajdır. Buna bağlı olarak hücre boyutu da ses yalıtkanlığında önemli etkiye sahiptir. Malzemenin hücre boyutu, sesin sönümlemesi veya soğurulması için sesin dalga boyundan daha düşük olmalıdır. Ayrıca açık hücre dağılımı, kapalı hücre dağılımından daha iyi ses soğurulma özelliğine sahiptir.

Poliüretan otomotiv sektöründe trim parçaları olarak çeşitli parçalarda kullanılır. Akustik köpükler ilk olarak 1970'li yılların ortasında kullanılmaya başlanılmıştır. Sıkışan gaz boşluklarının etkisi olarak genellikle açık hücrelere sahiptir, bu tür köpüklerden hava kolayca geçebilmektedir.

Özellikle yüksek frekanslı ses dalgalarında etkili olmakla beraber, düşük frekanslı ses dalgalarında yeterli kalınlıkta kullanıldığında performans alınabilmektedir. Sahip olunan gözenekli yapı akustik yansımayı azaltırken, düşük yoğunluğa sahip olduğu için, ses enerjisinin iletilmesine olanak sağlamaktadır.

Sesin sönümlenme özelliği, ses iletim kaybı ölçümü ile anlaşılırken sesin soğurulma özelliği ise ses yutunun katsayısı ile bağlantılıdır.

2.7. Dolgu Malzemeleri (Katkı Malzemeleri)

Katkı malzemelerinin kullanım amacı genel olarak, reaksiyonu kontrol etmek, reaksiyon şartlarını değiştirmek ve son ürünü bitirmek olarak listelenebilir. Katkı malzemeleri, katalizörler, zincir uzatıcılar, çapraz bağlayıcılar, dolgular, nem tutucular ve renklendiricilerdir.

Günümüzde birçok poliüretan sistemi ile üretim gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerden bazıları elastomerler, köpükler, integraller, semi integraller, RIM (reaction injection molding), rijit malzemeler, yüksek ısıya dayanım sağlayan su bazlı integral sistemler vb. özellikle elastomerlerde iş makineleri özelinde yüksek yoğunluklu ürünler istenildiği için baryum sülfat, kalsit gibi dolgu malzemeleri sıklıkla literatürde karşımıza çıkmaktadırlar. Ayrıca yanmazlık katkısı olarak kullanılan $Al(OH)_3$ gibi dolgu malzemeleri de bulunmaktadır. Bunu yanı sıra talk, grafen, nanotüp gibi dolgu ürünleri de ısı dayanımı ve mekanik değerlerde iyileştirme sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak bahsi geçen sistemlerin rijit hariç diğerlerinde geliştirilmiş perlit kullanımı ön görülmemiştir.

Baryum sülfat, kalsiyum karbonat, kaolin ve kuartz dolgularının dökme poliüretan üzerindeki mekanik, kimyasal ve morfolojik etkileri Shahzamani ve diğ. tarafından çalışmıştır. (Shahzamani ve diğ., 2012)

Barit: Baryum sülfat ($BaSO_4$) olarak da bilinen barit, metalik olmayan elementlerin en ağırlarından biridir. Yoğunluğu yüksek ($4,45\text{gr/cm}^3$) ve az aşındırıcıdır (Moh's 3-3,5). Yüksek sıcaklık altında kimyasal sabitliğini koruduğu için ve uygun maliyete sahip olması nedeni ile, boya, kağıt, plastik, kauçuk, cam, ve seramik sektörlerde hem maliyet azaltıcı hem de dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde çok sayıda barit cevheri yatağı bulunmaktadır. (URL-1)

Kalsit: Kalsiyum karbonat (CaCO_3) olarak da bilinen kalsit, karbonatlı kayaçları oluşturur. Karbonatlı mineraller olan kireçtaşı, mermer, tebeşirin ana mineralidir. Yoğunluğu 2,6-2,7 ve sertliği Moh's 3'dür. Öğütüldüğünde beyaz renkli bir toz elde edilir. Yüksek beyazlık derecesinden dolayı boyada ve plastikte titanyum dioksit ve kağıtta optik beyazlatıcı tasarrufu sağlamaktadır. Rengi, saflığı, ucuzluğu gibi çeşitli etkenlerden dolayı plastik sektöründe dolgu olarak kullanılmaktadır. (URL-1)

Kaolin: Bir tür kil olup alüminyum hidrosilikat bileşimine sahiptir. Genel olarak kağıt sanayisinde dolgu malzemesi olarak kullanılmakla beraber, izolasyon için, kataliz olarak ve ilaç sektöründe kullanımları da mevcuttur. Plastiklerde, güçlendirici ve maliyet düşürücü katkı malzemesi olarak kullanılabilir. En önemli kullanım alan PVC kaplanmış teller ve kablolardır. (URL-1)

Talk: Sulu bir silikat olan genel olarak silisyum, magnezyum ve oksijenden oluşmaktadır. Yoğunluğu 2.6-2.8 gr/cm³ ve sertliği Moh's 1-1.5'dir. Isı ve elektrik iletkenliği zayıfken, ateşe dayanımı yüksektir. (URL-1)

Dolomit: Kalsitten ayrı bir mineral olup, kimyasal formülü $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 'dir. Kimyasal olarak teorik birleşimi; CaCO_3 : % 54,35, CaO : % 30,4, MgCO_3 : % 45,65, MgO : % 21,7 ve CO_2 : % 47,9'dir. Kireç taşlarındaki CaO 'nin yerini MgO 'un alması ile oluşmaktadır. En çok kullanıldığı alanlar, cam ve soda, refrakter ve demir-çelik sanayidir. (URL-1)

Zeolit: Alkali ve toprak alkali elementleri içeren sulu alümino silikatlar olarak bilinmektedir. Düşük yoğunluğa (1,91-2,30 g/cm³) sahiptir. Isıtıldığında patlayarak küçük parçalara ayrılmasından dolayı "kaynayan taş" anlamına gelen "zeolit" adı verilmiştir. Doğal zeolitlerin iyon değiştirme ve absorplama kapasiteleri yüksek olmasından dolayı genel olarak kirlilik kontrolünde kullanılmaktadır. (URL-1) (Demir ve Yalçın, 2014)

2.8. Perlit ve Özellikleri

Asidik karakterli volkanik bir cam olan perlitin ismi inci anlamına gelen "perle" kelimesinden gelmektedir. Bazı perlit türlerinden inci parlaklığında küçük küreler elde edilmektedir. Perlit, %70-75 silikon dioksit SiO_2 ve %2-5 su H_2O içermektedir. pH aralığı 6.6-8 arasında olduğu için inert bir maddedir ve gıda, ilaç ve kimyasal madde üretiminde de kullanılmaktadır. Çeşitli perlit türleri vardır, bunlar renk ve yapı olarak birbirinden

farklılık gösterirler. Perlitin ham hali renk olarak saydam açık griden parlak siyaha kadar çeşitlenebilmektedir. Perlitin ısıyla genleşme özelliği vardır ve genleştiğinde hafif ve gözenekli bir hale gelir. Perlit isimlendirmesi hem ham ürün hem de genleştirilme ile elde edilen ürün için kullanılır. Ani olarak 1000 °C civarlarında ısıtıldığında hacmi ciddi miktarda (yaklaşık 30 kat) artabilmektedir, bu ürüne genleştirilmiş perlit denilir. Ham perlit 1.1 g/cm³ civarında yoğunluğa sahipken, genleştirilmiş perlit yaklaşık 0.03-0.150 g/cm³ bir yoğunluğa sahiptir.

Perlitteki hidrasyona uğramış camsı silika %2,5 civarında bileşik halinde su içermektedir. Yapıda bulunan bu su perlitin kararlılığını sağlamak için önemli bir özelliktir. Perlitin yapısal bileşenleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Perlitin yapısal bileşenleri (Turp, 2018)

Bileşik İsmi	Oranı (%)
SiO ₂	71,0-75,0
Al ₂ O ₃	12,5-18,0
Na ₂ O	2,9-4,0
K ₂ O	4,0-5,0
CaO	0,2-0,5
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5
MgO	0,03-0,5

Genleştirilmiş perlitin özellikleri temel olarak tane-granül büyüklüğü, hafiflik, mukavemet, ses yutuculuğu, suya ve neme karşı dayanım, ateşe karşı dayanım ve ısı geçirgenliği başlıkları altında değerlendirilebilir. Genleştirilmiş perlitin tane-granül büyüklüğü, perlitin genleşmesi, patlama koşulları ile ham perlitin içindeki suya ve bazı elementlerin oranına bağlı olarak değişmektedir. Hafif bir malzeme olmakla beraber, genleşmiş perlitin ağırlığı 80-240 kg/m³ arasında değişmektedir. Mukavemet özelliklerinde bahsedecek olursak, perlitli betonun basınç mukavemeti, normal betonun 10 da 1’i kadar düşüktür. Bu durum, sadece perlit agregası ile yapılmış betonun taşıyıcı özelliği olmayacağını göstermektedir. Ses yutma katsayısına bakıldığında, 125 Hz’de sesin 0,18’ini, 400 Hz’ de 0,90’ını yutmaktadır. Ortalama olarak bu katsayı 0,6 alınabilmektedir. Su emmesi ağırlıkça %10-30 arasındadır. Ayrıca gözenekli yapısından dolayı nem çekme özelliğine sahiptir.

Ayrıca fiziksel esnekliği ve kimyasal sabitliği mevcuttur. Bu özelliklerinden dolayı ticari değeri yüksek olmakla beraber, endüstride yüksek sıcaklık izolasyonu gereken alanlarda kullanılabilir. Önemli özelliklerinden birisi yanmazlıktır. Belli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında bir değişim göstermez. 840 °C'yi geçince yumuşamaya başlar ve 1200-1300 °C'de ise eriyik haline geçmesine rağmen hala akışkanlığı az bir malzemedir. Yangın sonucu açığa çıkacak zehirli gaz tehlikelerinden uzak olduğu için güvenli ve çevrecidir. Isı geçirgenlik katsayısı da oldukça düşüktür.

Dünyadaki ortalama 7700 milyon ton perlit rezervinin yaklaşık % 74'ü olan yaklaşık 5700 tonu Türkiye'den çıkarılmaktadır. İmalat ve inşaat alanlarından, hafif sıva ve harçlara, izolasyon ve tavan döşemelerine kadar çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Ham perlit daha çok kumlama, cüruf pıhtılaştırıcı veya silis kaynağı olarak kullanılırken ek olarak, dökümhane, çelik endüstrisi veya metal kaplama alanlarında da farklı uygulamaları vardır. Düşük yoğunluk ve maliyet özelliğiyle geliştirilmiş perlitin ise kullanım ve uygulama alanları çok daha fazladır. Genleştirilmiş perlit, hava ve su filtrasyon sistemleri, dondurucu kutular veya yüksek sıcaklık fırınları gibi farklı sıcaklık aralığına sahip uygulamalarda termal yalıtım sistemleri, tarımsal ve bahçecilik uygulamaları, akustik izolasyon uygulamaları, inşaat ve yapı malzemesi uygulamaları gibi çok farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe ısı yalıtım ve yük azaltıcı katkı malzemesi, tekstil sektöründe ağartıcı, tarımda ekonomik sulama, sanayide fırın izolasyon uygulamalarında kullanılabilir. Ayrıca bu avantajları ile günümüzde polimerik kompozit uygulamalarında dolgu ve/veya takviye malzemesi olarak popülerliği artmaktadır.

2.9. Literatür Taraması

Poliüretan malzemelerin özelliklerinin iyileştirilebilmesi için kalsit (Choe ve diğ., 2020), talk (Sung ve Kim, 2017), grafen oksit (Lee ve Jung, 2019), içi boş cam mikroküreler (Im ve diğ., 2011) gibi çeşitli dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. Bunlara alternatif olarak geliştirilmiş perlit çalışmalarına olan ilgili artmaktadır.

Bu çalışmada dünya rezervinin yaklaşık %74'ünün Türkiye'de bulunduğu volkanik perlit mineralinin özelliklerinin iyileştirilmiş formu olan geliştirilmiş perlit kullanılarak, otomobillerde olan polimer kökenli yapı parçalarında kullanılmak üzere, geliştirilmiş perlitin sahip olduğu düşük ısı iletim katsayısı, düşük yoğunluk, yanmazlık ve yüksek ses

emme kabiliyeti gibi özelliklerinden faydalanarak poliüretan bazlı kompozit yapıda (elastomer) iyi bir ses yalıtım malzemesi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Volkanik aktivitelerden sonra oluşan malzemeler kaya parçaları veya kül olarak ortaya çıkabilirler. Oluşum türlerine göre değişik isimleri olabilmektedir. Bu volkanik malzemelere volkanik ponzataşı, volkanik cüruf, kül, volkanik tüf ve genleştirilmiş perlit örnek verilebilir. (Çoban ve Yılmaz, 2022) Volkanik malzemelerin polimer malzemelerde dolgu olarak kullanımına ait birçok çalışma bulunmuştur.

Bir çalışmada tribolojik özellikleri incelemek amacıyla fenolik bazlı kompozitlere perlit ilavesi yapılmıştır. %5 perlit ilavesiyle en yüksek sürtünme katsayısı ve sonuçlarda en düşük değişkenlik elde edilmiştir. Ancak perlit oranının daha da artması ile aşınma oranında artış görülmüştür. (Singh, 2021) İşlem görmüş perlit ve işlem görmemiş nano perlit parçacıklarının LDPE (Düşük yoğunluklu polietilen) matrisine etkisi ise başka bir çalışmada incelenmiştir. Perlit oranının arttıkça bükülme mukavemeti ve modülüsünün arttığını görmüşlerdir. Perlit parçacıklarının yüksek modülüsünün bu sonuca neden olduğu düşünülmektedir. (Sahraeian ve diğ., 2012) Farklı boyutlara ve yüzey özelliklerine sahip volkanik dolgu malzemeleri bulunmaktadır. Bu özellikler dolgu ve matris arasında stres transferini etkileyebilirler. Parçacıkların sahip olduğu yüksek sertlikler, polimer matrisin de sertliğini ve modülüsünü arttırabilirler. Stres transferi polimer kompozitin mukavemetini büyük ölçüde etkilemektedir. (Fu ve diğ., 2008) Perlit parçacıklarının ABS (akrilonitril bütadien stiren) yapısına etkisi incelenmiş ve perlit katkısının çekme mukavemetini arttırdığı görülmüştür. Ancak bir noktadan sonra yapının perlite doyduğu ve perlit parçacıklarının birleşerek topaklanmaya yol açtığı, bu topakların da stres konsantrasyonunu arttıran bölgeler yarattığı ve çekme mukavemetini düşürdüğü görülmüştür. (Alghadi ve diğ., 2020) İnorganik parçacıkların çizilme sertliğine etkisi HDPE (Yüksek yoğunluklu polietilen)'ye CaCO_3 eklenmesi ile bir çalışmada (Bora ve diğ., 2019) incelenmiştir. Çizilme sertliğini arttırdığı görülmüş, parçacıkların yüzeyde birikerek sert bir malzeme olarak davranmasına yol açtığı görülmüştür. Benzer bir çalışma (Sahin ve diğ., 2019) genleştirilmiş perlit katkılı PPS (polifenilen sülfid) kompozitlerinde denenmiştir. Özelliklerdeki bu artış genleştirilmiş perlitin PPS matrisinden daha sert ve rijit olmasına bağlanmıştır. İncelenen bu çalışmaların ışığında poliüretan sistemlerde genleştirilmiş perlit çalışılmasına karar verilmiştir.

Literatür de yapılan çalışmalara bakıldığında farklı oranlardaki perlit tozu poliüretan kaplama malzemesine eklenerek, akustik özelliklere etkisine bakılmış ve perlit tozu konsantrasyonu arttıkça kaplama kalınlığının artmasının da etkisiyle ses yutum katsayısının arttığını göstermiştir. (Eyupoğlu ve diğ., 2018) Ayrıca poliester kumaşlara yapılan perlit katkısının perlit içermeyen kumaşa göre 1500 Hz'den sonra belirgin bir şekilde daha yüksek ses yutum katsayısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. (Karaca ve diğ., 2015)

Çevresel olarak sürdürülebilir çimento kompozitleri (Petrella ve diğ., 2022) hafif polipropilen kompozitlere alternatif malzeme olarak (Raji ve diğ., 2019) ve cam kompozitlerin termal ve akustik özelliklerinin iyileştirilmesi (Lesovik ve diğ., 2018) gibi çeşitli alanlarda kullanımı için çalışmalar yapılmıştır. Perlit-çimento plakaların nem oranının arttırılarak akustik özelliklerine bakıldığında ses yutum katsayısında düşüş olduğu görülmüştür. (Yılmaz ve Ozdeniz, 2002)

Ham perlit $1,1 \text{ g/cm}^3$ civarında yoğunluğa sahipken, genişletilmiş perlit yaklaşık $0,03-0,150 \text{ g/cm}^3$ bir yoğunluğa sahiptir. Sahip olduğu düşük yoğunluğu nedeniyle, genişletilmiş perlit ağırlıklı olarak yapı malzemeleri teknolojisinde dolgu maddesi olarak, hafif kompozitlerde termal, akustik, yanmazlık sağlamak için ve bunun yanı sıra bahçecilik ve tarım olmak üzere pek çok farklı alanda kullanılmaktadır.

Poliüretan sistemlere dolgu olarak perlit kullanılması ile ilgili literatürde bazı çalışmalar bulunmakta olup genel olarak rijit (sert köpük) sistemlerde ses ve ısı yalıtım özelliklerini geliştirmek için kullanılmıştır. (Ai ve diğ., 2012) (Li ve diğ., 2015) Li ve diğ., 2015 poliüretan köpük sistemlerde vermikülit ve perlit dolgularının ses yalıtımına etkilerini çalışarak 1000 Hz'de 0,87 ses yutum katsayısı değeri elde etmişlerdir.

Yapılan araştırmalarda elastomer poliüretanlara perlit dolgusun çalışmadığı gözlemlenmiş ve elastomer sistemlerde kullanılan barit, kalsit, kaolin, kuartz gibi (Shahzamani ve diğ., 2012) doğal inorganik mineral dolgu malzemelerine alternatif olabileceği değerlendirilmiştir.

Bu tezde elastomer poliüretandaki şişmenin engellenmesi için uygun zeolit miktarı belirlenip, farklı oranlardaki perlit dolgusunun mekanik ve akustik özelliklere etkisi çalışılmıştır.

3. MALZEME YÖNTEM VE KARAKTERİZASYON

3.1. Malzemeler

Bu çalışmada dolgu olarak kullanılan genleştirilmiş perlit, GENPER firmasından tedarik edilmiştir. Kullanılan zeolit ve genleştirilmiş perlitin özellikleri Tablo 3.1’te verilmiştir.

Tablo 3.1. Genleştirilmiş Perlit ve zeolitın fiziksel özellikleri

Dolgu	Yoğunluk (kg/m ³)	Tane Boyutu (μm)
Genleştirilmiş Perlit	65 – 100	45 – 250
Zeolit	500 – 700	20 – 30

Poliüretan yapımında kullanılan poliöl ve izosiyanat ise DOW firmasından tedarik edilmiştir. Poliölün ve izosiyanatın kimyasal özellikleri Tablo 3.2’te verilmiştir.

Tablo 3.2. Poliöl ve İzosiyanatın kimyasal özellikleri

Kimyasal	Viskozite (mPa.s)	NCO Oranı (%)	Özgöl Ağırlık
Piöl	280 – 330	-	1,01 ± 0,03
İzosiyanat	39	29	1,01 ± 0,03

3.2. DeneySEL Prosedür

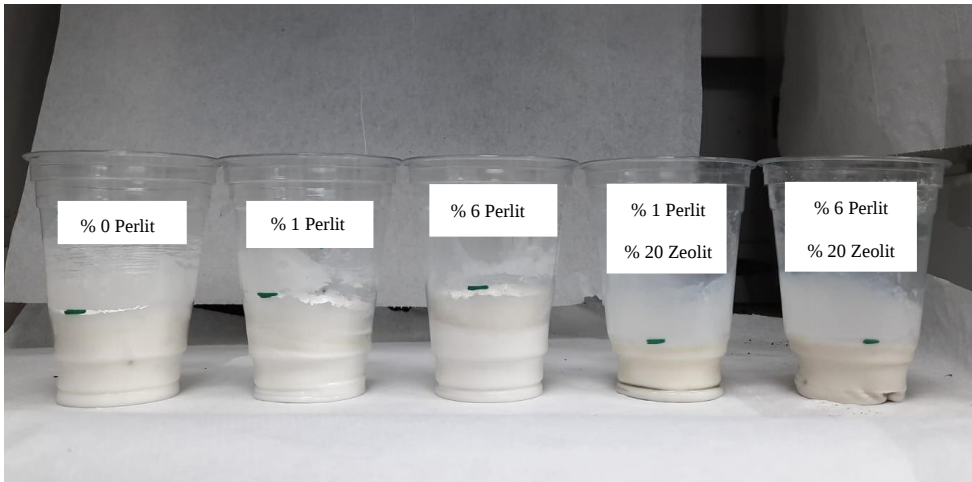
Bu çalışmanın amacına uygun olarak öncelikle poliüretana genleştirilmiş perlit eklenerek poliüretanın şişme performansına etkisi incelenmiştir. Bu incelemeyi yapabilmek amacıyla ilk olarak bardak dökümler yapılmıştır. İlk aşamada sadece poliöl üzerine %40 oranında izosiyanat eklenerek karıştırılıp dökülmüştür. Poliölün içindeki nem, izosiyanat ile tepkimeye girerek CO₂ çıkışına sebep olmaktadır. Bu yüzden de poliüretan sistemlerde şişme görülebilmektedir. Bu etki yapılan standart dökümde görülmüştür. Daha sonra genleştirilmiş perlitin etkisini görmek için %1 genleştirilmiş perlit ve %6 genleştirilmiş perlit eklenmiştir. Genleştirilmiş perlitin gözenekli yapısı, içinde su tutabilmesine olanak vermektedir. Ancak genleştirilmiş perlit, normal perlitin çok yüksek sıcaklıklara ısıtılmasıyla oluştuğundan dolayı yapıda fazla su kalmamaktadır. Genleştirilmiş perlitin bu etkisi de %1 ve %6’lık dökümlerde gözlemlenmiştir. (Şekil 3.2)

Bardak ve plaka dökümlerinin hepsinde karışım hazırlama safhasında IKA EUROSTAR 20 mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. (Şekil 3.1) Tüm karışımlar 2500 rpm hızda yapılmıştır.



Şekil 3.1. IKA mekanik karıştırıcı

Bu çalışmada elastomer sistemler amaçlandığından dolayı şişme en aza indirgenmek istenmiştir. Bu yüzden, zaten birçok sektörde de nem alıcı olarak kullanılan zeolit denenmiştir. Karışımlara %20 zeolit eklenmesi ile şişmelerin ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Böylece şişme için kullanılacak zeolit oranının optimizasyonu tamamlanmıştır. Şekil 3.2’te şişme etkisini ortadan kaldırmak için yapılan çalışmaların bardak dökümleri görülmektedir.



Şekil 3.2. Zeolit oranını optimize etmek için yapılan bardak dökümleri

Şişme etkisi ortadan kaldırıldıktan sonra plaka dökümüne geçilmiştir. Plaka dökümünde kullanılan ısıtmalı kalıp Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Plaka dökümlerinde kullanılan ısıtmalı kalıp.

Plaka dökümlerinin ilk aşaması olarak karışımın hazırlanmasına başlanmıştır. Poliol ve zeolit belirlenmiş oranlarda (Poliol 500 gram, Zeolit %20) bir kaptta tartılarak 2500 rpm hızda 2 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışıma eklenen poliol miktarının %1, %2, %3, %4, %5, ve %6 oranlarında genişleştirilmiş perlit eklenmiştir. %6'tan fazla eklendiğinde malzemede bozulma görüldüğü için bu oranın üzerine çıkılmamıştır. Zeolitın nem tutucu özelliği vardır. Hem zeolit hem de perlit doğada bulunan minerallerdir. Zeolit kullanılarak kontrolsüz şişme ortadan kaldırılmıştır. Belirlenmiş oranlardaki genişleştirilmiş perlit eklenmesinden sonra tekrar mekanik karıştırıcıda 2500 rpm hızda 2 dakika boyunca karıştırılmıştır. Bu adımdan sonra izosiyanat eklenmeden önce viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Bölüm 3.3.4'de verilmiştir. İzosiyanat eklenmeden ölçülmesinin iki ana sebebi vardır.

- 1) Kullanılan izosiyanatın viskozitesi çok düşük olduğundan dolayı sisteme eklenmesi viskozitede artışa sebep olmamaktadır.
- 2) Viskozite ölçümleri homojen bir karışımdan yapılmalıdır. İzosiyanat eklendikten sonra eğer karıştırılırsa poliol ile tepkimeye girecektir ve bu durumda poliüretan oluşacak, viskozite ölçümü mümkün olmayacaktır. Bu yüzden izosiyanat eklenmeden önce viskozite ölçümü yapılmıştır.

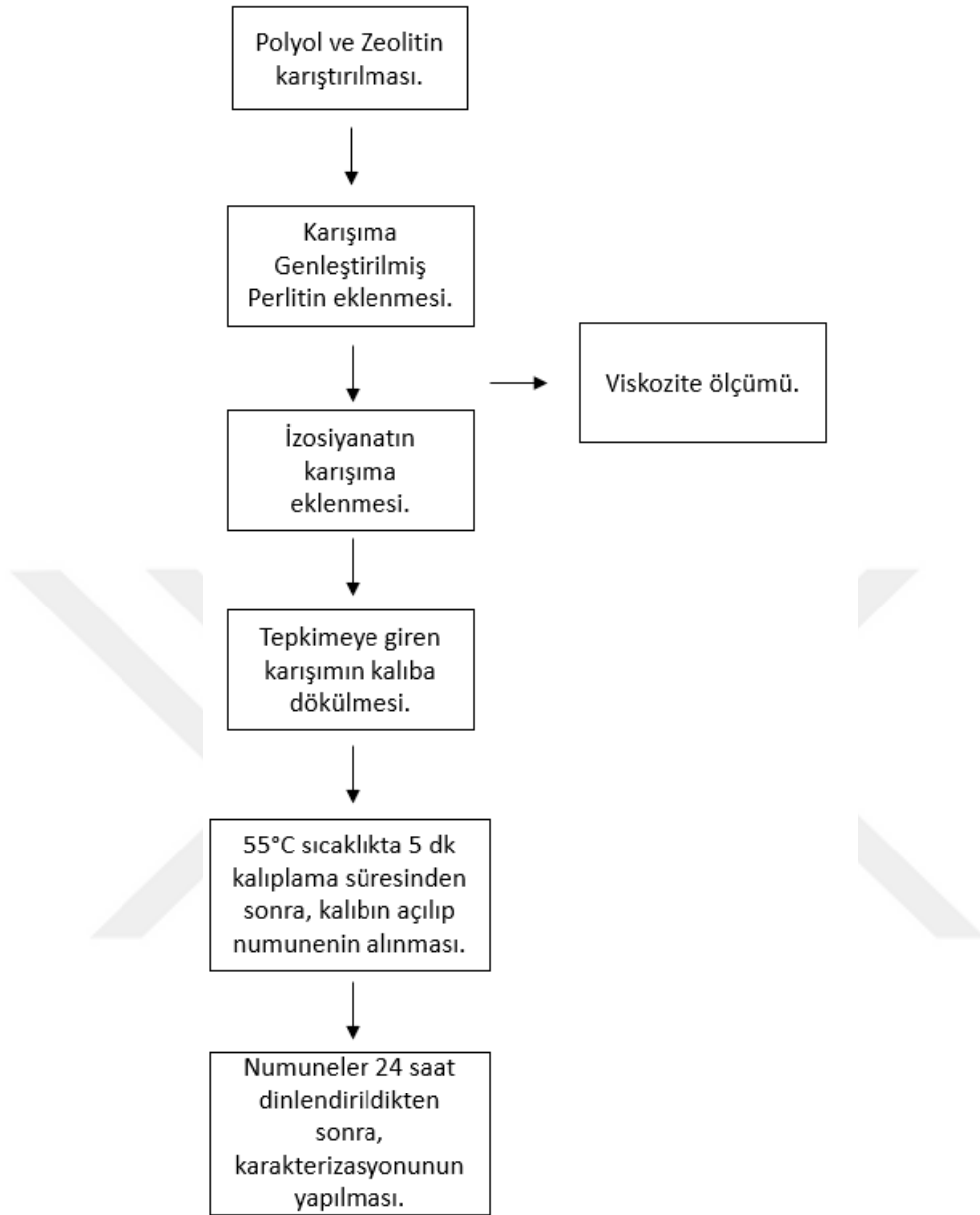
Viskozite ölçümünden sonra toplam karışımın %40'ı oranında izosiyanat eklenmiştir. 2500 rpm'de yaklaşık 30 saniye karıştırılmıştır. Karıştırıldıktan sonra 55°C'ye ısıtılmış olan kalıba dökülmüş ve kalıp hemen kapatılmıştır. 5 dakika sonra kalıp açılmış ve test plakası kalıp içerisinden alınmıştır. Numune hazırlama adımları Şekil 3.4'da verilmiştir.

Zeolit oranının, şişme olayına etkisi bilinmektedir. Ayrıca zeolitin mekanik ve akustik özelliklere etkisinin incelenmesi için zeolit oranı değiştirilerek tekrar dökümler yapılmıştır. Değişken sayısını teke indirmek için genişletilmiş perlit oranı sabit tutulmuştur. Oran olarak en iyi mekanik özellikleri veren %5 genişletilmiş perlit oranı seçilmiştir. Normalde kullanılan %20 zeolit oranı kademeli olarak azaltılarak %15, %10 ve %5 zeolit oranlarında dökümler yapılmıştır.

Dökümlere poliol ve zeolitin 2500 rpm hızda 2 dakika süre ile karıştırılması ile başlanmıştır. 250 g poliol içine %15, %10 ve %5 zeolit ayrı ayrı ilave edilmiştir. Daha sonra poliolün %5'i kadar genişletilmiş perlit eklenerek 2500 rpm hızda 2 dakika boyunca karıştırılmıştır. En son adımda %40 oranında izosiyanat eklenerek, 2500 rpm hızda 30 saniye karıştırma işleminden 55°C sıcaklığındaki kalıba dökülmüş ve 5 dakika sonra kalıp açılarak test plakaları çıkarılmıştır. Dökülen numuneler ve kompozisyonları Tablo 3.3'te verilmiştir, tabloda verilen oranlar ağırlıkçaadır.

Tablo 3.3. Dökülen numuneler ve kompozisyonları

	Genleştirilmiş perlit	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
Zeolit	20%	x	x	x	x	x	x	x
	15%						x	
	10%						x	
	5%						x	



Şekil 3.4. Numune hazırlama adımları

3.3. Karakterizasyon

3.3.1. Mekanik Özellikler

3.3.1.1. Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi

Üretilen numunelerin, Kopma Dayanımı (MPa), Uzama Miktarı (%) ve Yırtılma Dayanımları (N/mm) belirlenmiştir. Bu amaç için INSTRON 3366 çekme cihazı

kullanılmıştır. Yapılan testler belirli standartlara göre yapılmıştır. Kopma Dayanımı ve Uzama Miktarı testleri ASTM D612 standardına göre, Yırtılma Dayanımı testi ise ASTM D624 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Standartlara göre numuneler kesme plakası ile hazırlanmıştır. Örnek numuneler Şekil 3.5’de görülebilir. Şekil 3.6’de INSTRON 3366 marka çekme cihazı verilmiştir.



Şekil 3.5. Standartlara uygun kesilen, solda kopma numuneleri, sağda yırtılma testi numuneleri



Şekil 3.6. Instron 3366 Çekme Cihazı

3.3.1.2. Shore-A Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi

Üretilen numuneler bir günlük dinlenmeye bırakıldıktan sonra sertlik ölçümleri, Shore A yöntemi ile yapılmıştır. Sertlik ölçümleri için TRONIC DUROMETER MODEL PD800 marka cihaz kullanılmıştır. Şekil 3.7’de, kullanılan Shore A cihazı verilmiştir.



Şekil 3.7. Tronic Durometer Model PD800 Shore A cihazı

3.3.2. Ses Yutum Katsayısı ve İletim Kaybı Ölçümü

Üretilen numunelerin akustik özelliklerini ölçebilmek için ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybı ölçümleri yapılmıştır. 30 mm çapında numuneler kesme kalıba ile kesilerek hazırlanmıştır. Testsens Impedance Tube cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda dört adet mikrofon bulunmaktadır ve 50 – 6400 Hz arası ölçebilmektedir. Şekil 3.8’de Testsens Impedance Tube cihazı verilmiştir.



Şekil 3.8. Testsens Impedance Tube cihazı

3.3.3. Yoğunluk Testi

Test numunelerinin yoğunluğuna bakmak için Precisa marka XB 220A model yoğunluk testi cihazı kullanılmıştır. Yoğunluk testleri numuneden yaklaşık 1cm² parça kesilerek yapılmış ve 3 ölçüm yapılarak grafikleri oluşturulmuştur. Yoğunluk test cihazı Şekil 3.9’de verilmiştir.

Katı ve su emilimi düşük parçaların yoğunlukları bu cihazda ölçülür. Malzemedan küçük bir parça kesilerek önce hava ortamında daha sonra saf suyun içerisinde kütle ölçümü yapılarak elde edilen verilerle cihaz tarafından yoğunluk hesaplanır. Amaç kalıplanmış yoğunluğa bakmaktır.



Şekil 3.9. Precisa XB220A yoğunluk test cihazı

3.3.4. Viskozite Ölçümü

Poliüretan içine konan dolguların viskoziteye olan etkisini görmek için viskozite ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler 90 rpm hızda ve 62 Spindle ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Brookfield Viscometer DV2T cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.10'de cihaz gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Brookfield Viscometer DV2T viskozimetre cihazı

3.3.5. Termal Özellikler

Üretilen parçaların termal özellikleri termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçümler için parçadan TGA için 10-25 mg ağırlığında, DSC için 10-15 mg ağırlığında parça kesilerek cihaza yerleştirilmiştir. TGA ölçümleri 25-650 °C arasında 10 C/dk ısıtma hızında azot (50 mL/dk) altında gerçekleştirilmiştir. DSC ölçümleri ise -90 ile 300 °C arasında 10 K/dk ısıtma hızında nitrojen (30 mL/dk) altında yapılmıştır. Ölçümler sonucunda numunelerin uçucu miktarı 25-150 °C aralığındaki kütle değişimi, bozunma pik sıcaklığı eğrinin birinci dereceden türevinin tepe noktasına göre ve % kalan miktar 600 °C'deki miktar baz alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.11. Mettler Toledo TGA cihazı



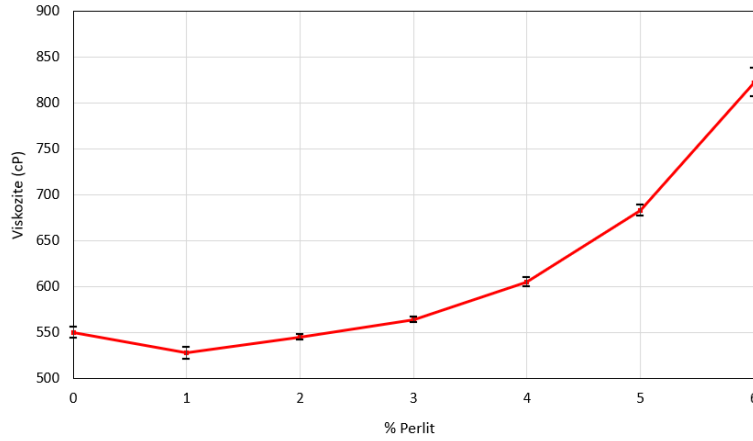
Şekil 3.12. Mettler Toledo DSC cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Genleştirilmiş Perlit Miktarının Etkisi

4.1.1. Viskozite Sonuçları

Poliol, zeolit ve genleştirilmiş perlit karışımı tüm oranlar için hazırlandıktan sonra viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümlerde karışım sıcaklığı 23°C olarak sabit tutulmuştur. Ayrıca viskozimetrenin dönme hızı da 90 rpm'e sabitlenmiştir. Viskozite sonuçları Şekil 4.1'de verilmiştir. Yapılan ölçümlerin sonuçları ve standart sapmaları Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Viskozite sonuçları

Tablo 4.1. Viskozite sonuçları ve standart sapmaları

% 20 Zeolit	Genleştirilmiş Perlit Oranı	Viskozite (cP)
	%0	549,67 ± 5,68
	%1	527,33 ± 6,43
	%2	545 ± 3
	%3	563,67 ± 2,51
	%4	604,33 ± 5,13
	%5	682,67 ± 6,11
	%6	822 ± 15,62

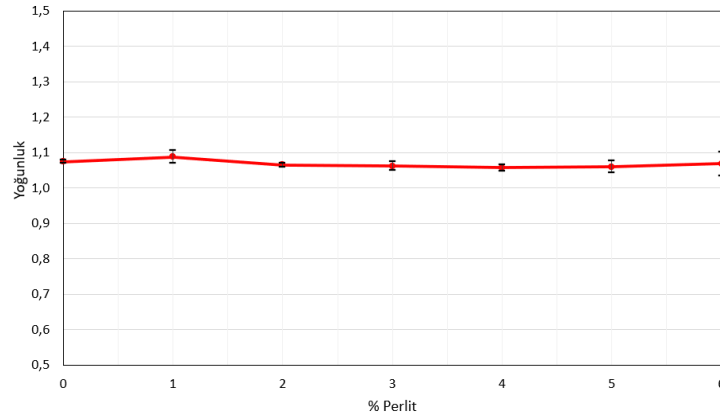
Karışıma genleştirilmiş perlit eklenmesi ile viskozite 549,67 cP'dan 822 cP değerine kadar yükselmiştir. Sıvı karışıma katı faz eklenmesi viskozite artışının ana sebebi olarak görülmüştür. Genleştirilmiş perlit oranı arttıkça, karıştırma işlemi ve kalıba döküm işlemi yüksek viskozite nedeniyle zorlaşmıştır. Bu yüzden kalıbı tam dolduramama gibi problemler görülmüştür (Şekil 4.2). Kürlenme hızı, karışımın akışkanlığından daha yüksek olduğu için kalıpta ilerleyemeden malzeme kürlenmeye başlamış böylece kalıp tam dolmamıştır.



Şekil 4.2. Kalıptan çıkan parçalar

4.1.2. Yoğunluk Sonuçları

Kalıptan çıkarılan numunelerden katı halde yoğunluk ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 4.3'de verilmiştir. Ölçümler ve standart sapmaları ise Tablo 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Yoğunluk ölçüm sonuçları

Tablo 4.2. Yoğunluk sonuçları ve standart sapmaları

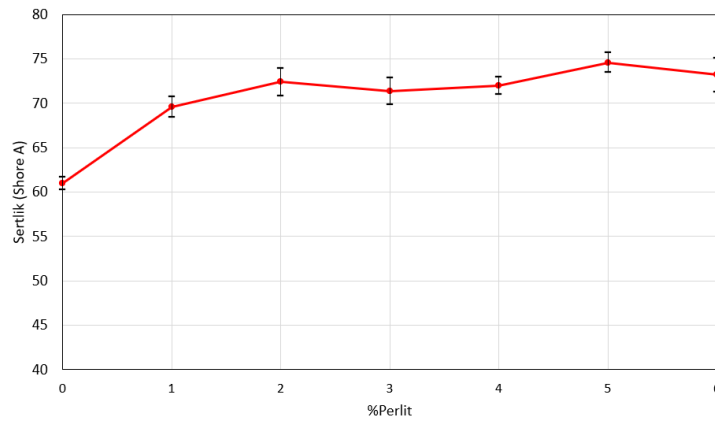
%20 Zeolit	Genleştirilmiş Perlit Oranı	Yoğunluk (g/cm ³)
	%0	1,075 ± 0,005
	%1	1,088 ± 0,018
	%2	1,065 ± 0,006
	%3	1,062 ± 0,013
	%4	1,057 ± 0,009
	%5	1,060 ± 0,016
	%6	1,068 ± 0,034

Genleştirilmiş perlit eklenmesiyle yoğunluklarda bir miktar azalma görülse de standart sapma içinde değerlendirilmiş olup anlamlı ve önemli bir değişim olarak görülmemiştir. Genleştirilmiş perlit düşük yoğunluğu ile bilinmektedir. Ancak zeolit'in yoğunluğu genleştirilmiş perlitten daha yüksektir. İkisi bir arada yapıya katıldığı zaman zeolit'in daha yüksek yoğunluğu, genleştirilmiş perlitin yoğunluk düşürücü özelliğini ortadan kaldırmıştır.

4.1.3. Sertlik Sonuçları

Kalıptan çıkarılan numunelere Shore A metodu ile sertlik ölçümleri yapılmıştır.

'te sertlik ölçüm sonuçları gösterilmiştir.



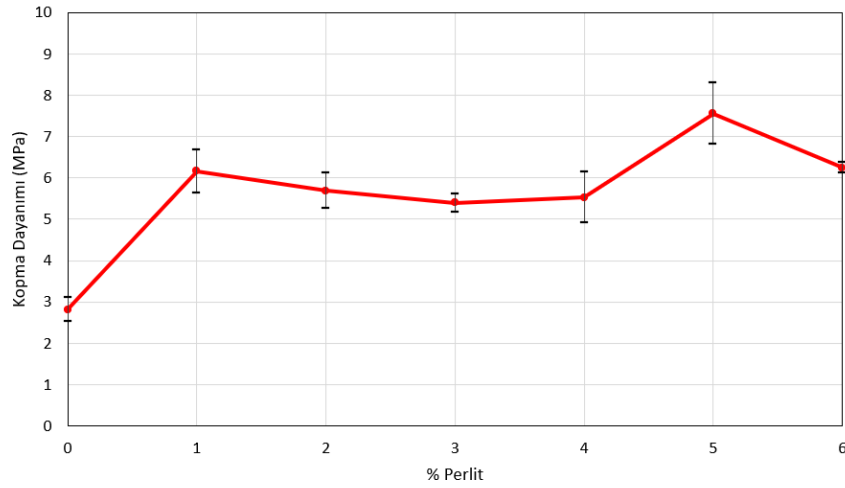
Şekil 4.4. Sertlik ölçüm sonuçları.

Tablo 4.3. Sertlik sonuçları ve standart sapmaları.

% 20 Zeolit	Genleştirilmiş Perlit Oranı	Sertlik (Shore A)
	%0	61 ± 0,70
	%1	69,6 ± 1,14
	%2	72,4 ± 1,51
	%3	71,4 ± 1,51
	%4	72 ± 1
	%5	74,6 ± 1,14
	%6	73,2 ± 1,92

4.1.4. Mekanik Test Sonuçları

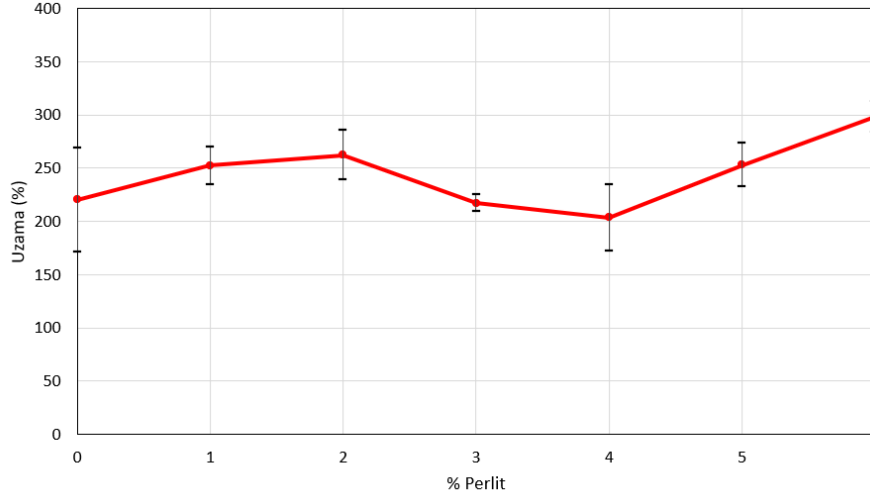
Standartlara uygun olarak kesilen numunelerden kopma dayanımı (MPa), uzama (%) ve yırtılma dayanımı (N/mm) gibi mekanik özellikler ölçülmüştür. Kopma dayanımı sonuçları Şekil 4.5’de, uzama (%) sonuçları Şekil 4.6’de ve yırtılma dayanımı sonuçları Şekil 4.7’de verilmiştir. Ölçümler ve standart sapmaları ise Tablo 4.4’de verilmiştir.



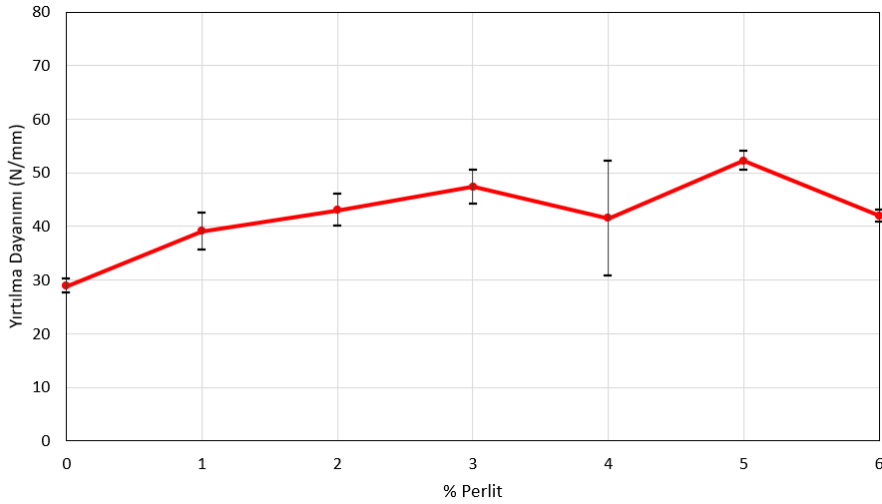
Şekil 4.5. Kopma dayanımı ölçüm sonuçları

Yapılan mekanik testler sonucunda mekanik özelliklerin genleştirilmiş perlit oranına göre değiştiği görülmüştür. Kopma dayanımı önce %1 oranına kadar artış göstermiş, daha

sonra %3 oranına kadar düşüş gösterdikten sonra %5 oranında maksimum değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.6. Yüzde uzama ölçüm sonuçları



Şekil 4.7. Yırtılma dayanımı ölçüm sonuçları

Uzama miktarı ise %2 oranına kadar arttıktan sonra düşmeye başlamış, % 4 oranına kadar düşüş gösterdikten sonra %6 oranında maksimum yapmıştır. Perlite miktarı artışıyla uzama değerlerindeki standart sapmalarda düşüş olmuştur. Bu durum, perlitin iç karıştırıcı olarak homojen karışıma katkı sağlaması ile açıklanabilir. Yırtılma dayanımı ise %5 oranına kadar artmış, %6 oranında ise düşmüştür.

Tablo 4.4 Mekanik testlerin sonuçları ve standart sapmaları.

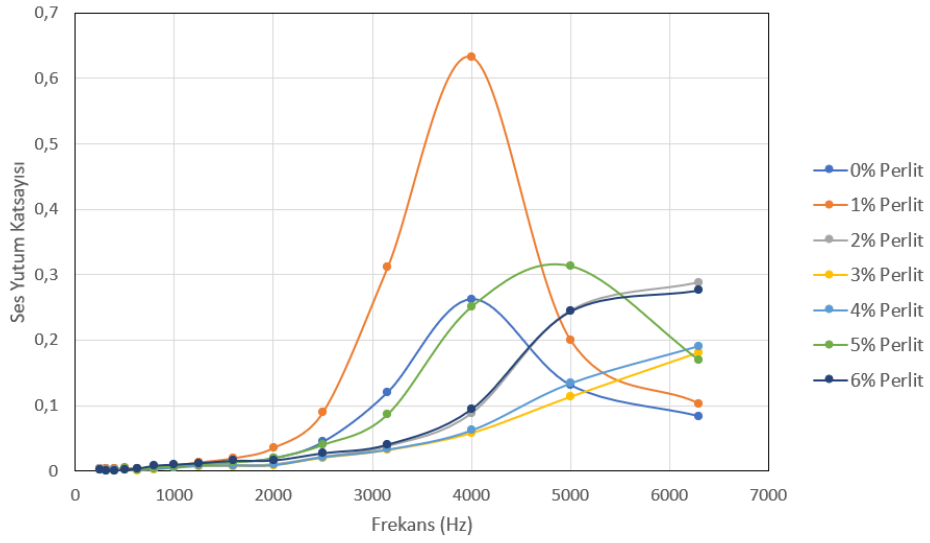
	Genleştirilmiş Perlit Oranı	Kopma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)	Yırtılma Dayanımı (N/mm)
%20 Zeolit	%0	2,82 ± 0,28	220,33 ± 49,08	28,92 ± 1,27
	%1	6,16 ± 0,52	252,52 ± 17,82	39,11 ± 3,48
	%2	5,69 ± 0,44	262,46 ± 22,94	43,06 ± 2,98
	%3	5,4 ± 0,22	217,32 ± 8,19	47,38 ± 3,19
	%4	5,53 ± 0,62	203,68 ± 31,14	41,53 ± 10,7
	%5	7,56 ± 0,75	253,15 ± 20,66	52,25 ± 1,79
	%6	6,25 ± 0,12	298,69 ± 14,44	41,97 ± 1,15

Genleştirilmiş perlit katkısı genel olarak mekanik özelliklere (kopma dayanımı, yırtılma dayanımı) artırıcı etki göstermiştir. Uzama miktarlarındaki yükseliş de buna bağlanmıştır. Mekanik özelliklerin tümü göz önüne alındığında en optimum özellik %5 katkılı numunede görülmüştür. Bu ölçümlerde zeolit oranı %20 olarak sabit tutulmuştur.

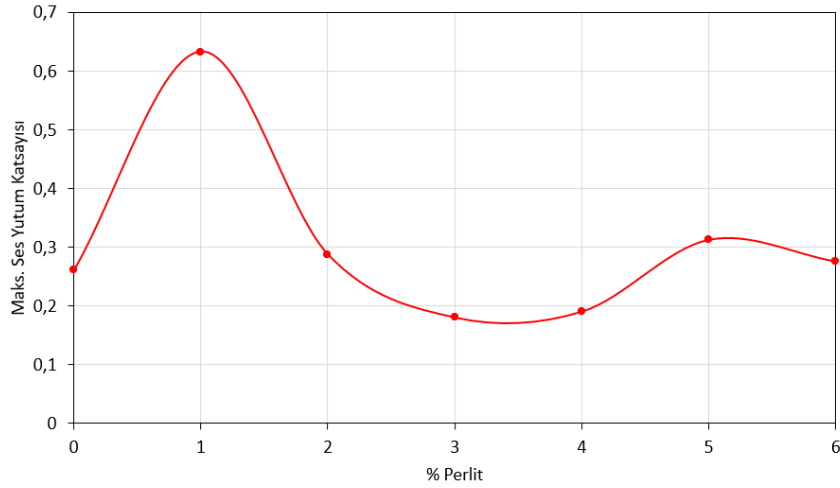
4.1.5. Akustik Özellikler

4.1.5.1. Ses Yutum Katsayısı Sonuçları

Üretilen numunelerden standartlara uygun şekilde 30 mm çapında, 5 mm kalınlığında numuneler kesme kalıbı ile kesilmiştir. Daha sonra numunelerin değişen genleştirilmiş perlit oranlarına göre ses yutum katsayısı ölçümleri alınmıştır. Frekansa bağlı ses yutum katsayısı sonuçları Şekil 4.8’de, frekansa bağlı olmayan maksimum ses yutum katsayısı sonuçları Şekil 4.9’de verilmiştir. Maksimum ses yutum katsayısı ve frekansları ise Tablo 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Frekansa bağlı ses yutum katsayısı sonuçları

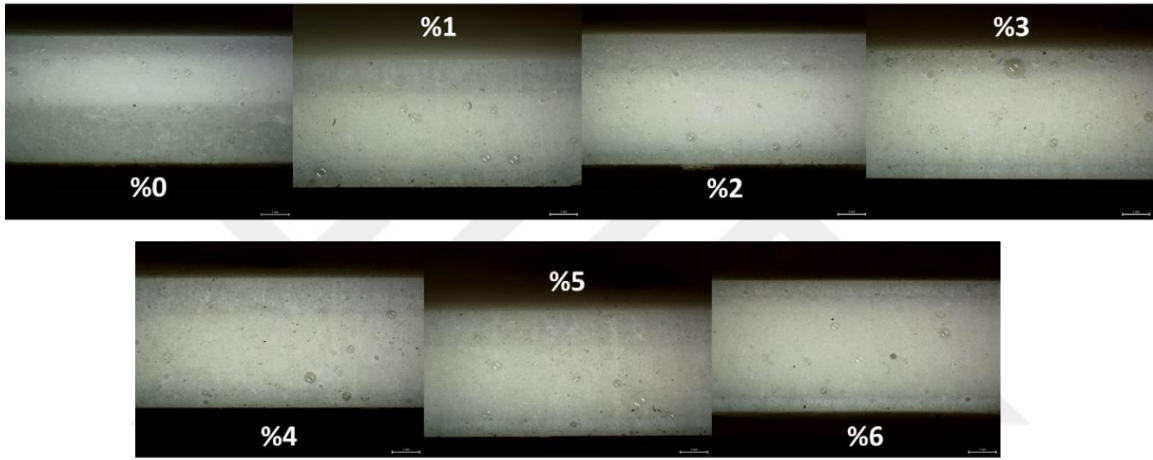


Şekil 4.9. Maksimum ses yutum katsayısı sonuçları

Tablo 4.5. Maksimum ses yutum katsayısı ve frekans sonuçları

	Genleştirilmiş Perlit Oranı	Maksimum Ses Yutum Katsayısı	Frekans (Hz)
%20 Zeolit	%0	0,262	4000
	%1	0,633	4000
	%2	0,288	6300
	%3	0,181	6300
	%4	0,191	6300
	%5	0,313	5000
	%6	0,276	6300

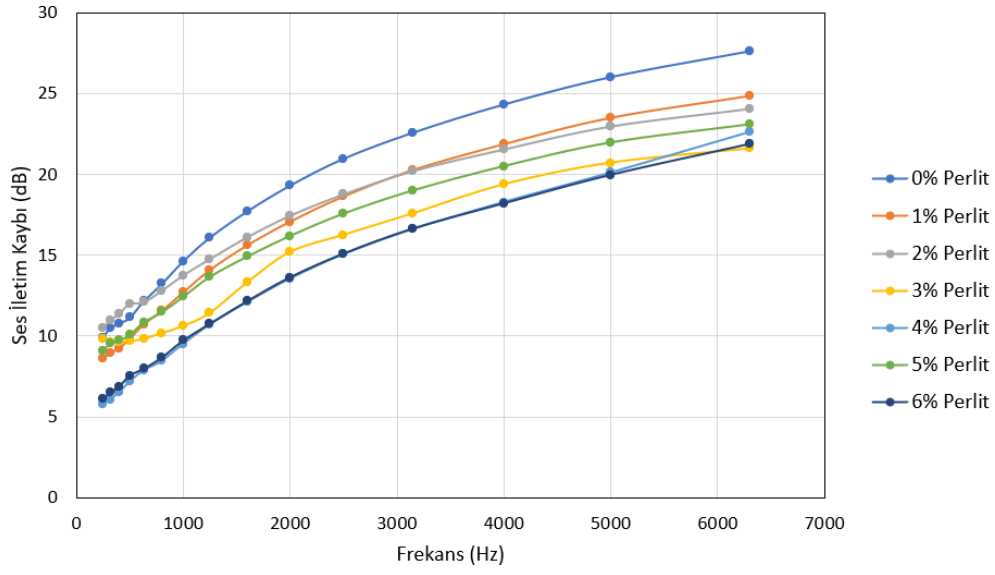
Yapılan ölçümler sonucunda en yüksek ses yutum katsayısı %1 oranında 4000 Hz frekansta 0,633 olarak ölçülmüştür. Daha sonra ise en yüksek ses yutum katsayısı %5 katkılı numunede 5000 Hz frekansta 0,313 olarak görülmüştür. 4000 Hz bölgesinde 40-100 dB ses şiddeti aralığında bulunan rüzgar sesi ve fırın gıcırtısını engelleme özelliğine sahiptir. Hava kaynaklı gürültünün hava molekülleri yardımıyla orta ve yüksek frekanslarda (500-8000 Hz) geçtiği bilinmektedir. (Zwinselman ve Bachmann, 2016) Elde ettiğimiz sonuçlarda düşük frekans değeri yüksek frekans değerlerinde yüksek ses yutum katsayısı Bu ölçümlerde zeolit oranı %20 olarak sabit tutulmuştur. Ölçümleri yapılan numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.10’da verilmiştir.



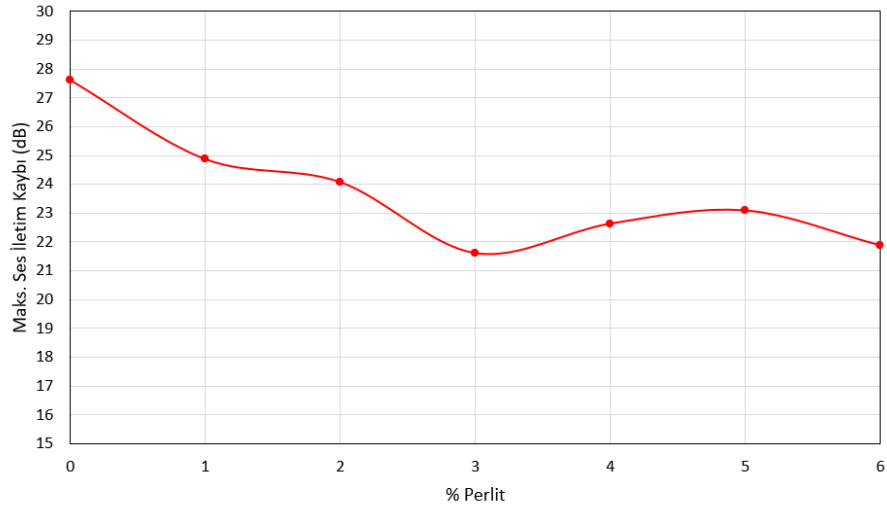
Şekil 4.10. Optik mikroskop görüntüleri

4.1.5.2. Ses İletim Kaybı Sonuçları

Üretilen numunelerden standartlara uygun şekilde 30 mm çapında numuneler kesme plakası ile hazırlanmıştır. Daha sonra bu numunelerin ses iletim kaybı değerleri dB cinsinden ölçülmüştür. Frekansa bağlı ses iletim kaybı değerleri Şekil 4.11’de, maksimum ses iletim kaybı değerleri Şekil 4.12’de, maksimum ses iletim kaybı değerleri ve frekansları ise Tablo 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.11. Frekansa bağlı Ses İletim Kaybı değerleri



Şekil 4.12. Maksimum Ses İletim Kaybı değerleri

Tablo 4.6. Maksimum Ses İletim Kaybı değerleri ve frekansları

	Genleştirilmiş Perlit Oranı	Maksimum Ses İletim Kaybı (dB)	Frekans (Hz)
%20 Zeolit	%0	27,61	6300
	%1	24,87	6300
	%2	24,07	6300
	%3	21,61	6300
	%4	22,63	6300
	%5	23,09	6300
	%6	21,88	6300

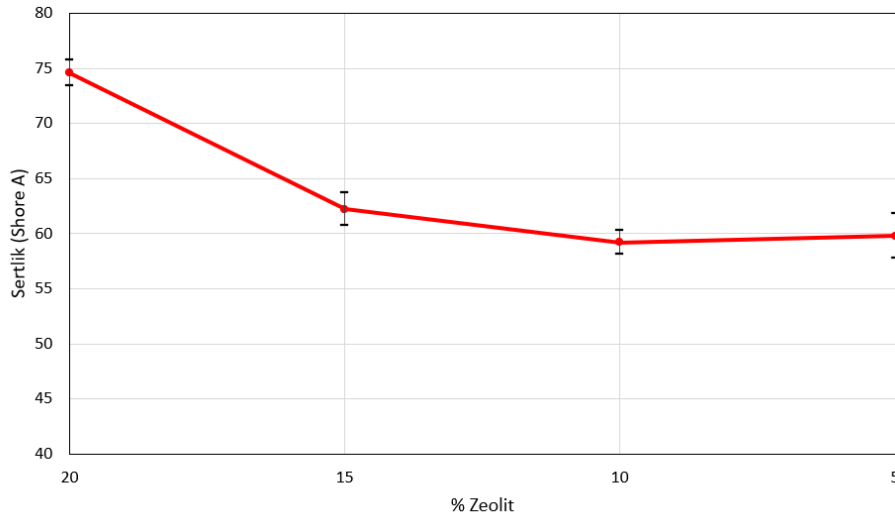
Genleştirilmiş perlit eklenmesi ile ses iletim kaybı değerlerinde düşüş görülmüştür. Poliüretana genleştirilmiş perlit ilavesi yapıldığında cildinin azaldığı tahmin edilmektedir. Cilt kalınlığının azalması ve genleştirilmiş perlitin gözenekli yapısı nedeniyle ses iletim kaybı değerlerinde düşüş görülmüştür.

4.2. Zeolit Miktarının Etkisi

Zeolit miktarının optimizasyonu için bir kompozisyon seçilerek zeolit oranı değiştirilmiştir. En iyi mekanik sonuçları veren %5 genleştirilmiş perlit seçilerek, zeolit oranı %20'den itibaren kademeli olarak %15, %10 ve %5 olacak şekilde değiştirilmiştir. Böylece akustik özellikler arttırılmaya çalışılmıştır. Sonuçları ileriki bölümlerde verilmiştir.

4.2.1. Sertlik Sonuçları

Genleştirilmiş perlit oranı %5'te sabit tutulup zeolit oranı %20'den %5'e kademeli olarak değiştirilmiş ve sertliğe olan etkisi incelenmiştir. Sertlik ölçüm sonuçları Şekil 4.13'de verilmiştir. Ölçüm sonuçları ve standart sapmaları ise Tablo 4.7'da verilmiştir.



Şekil 4.13. Zeolit oranının değişimine göre sertlik ölçüm sonuçları.

Sertlik sonuçları zeolit oranının değişimine göre incelendiği zaman sertliklerde düşüş görülmüştür. Bu düşüşün iki ana sebebi bulunmaktadır:

1) Zeolit miktarının azalmasıyla beraber yapıdaki sert faz miktarı azalmakta ve böylece sertlikte düşüş meydana gelmektedir.

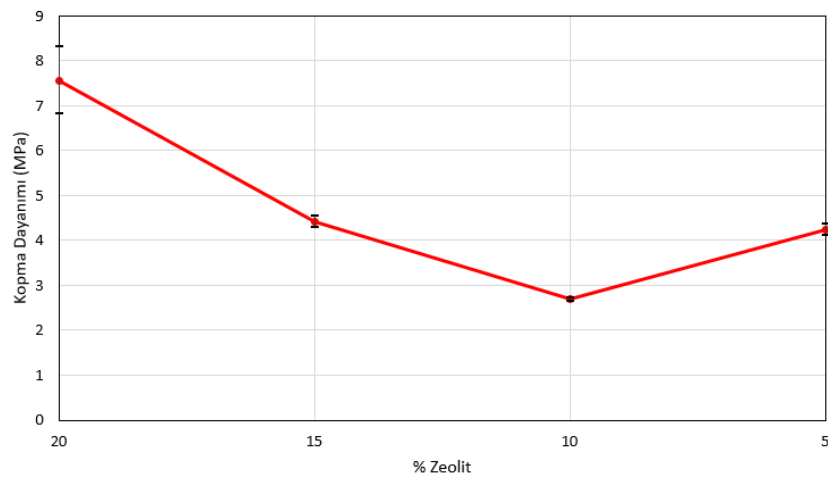
2) Zeolit miktarının düşmesiyle beraber poliüretanın nem tutma kapasitesi azalmaktadır. Böylece, zeolit miktarı düştükçe mikroyapı daha gözenekli bir hale gelmiş ve gözenekli yapı sertliğin düşmesine neden olmuş, daha esnek bir yapı elde edilmiştir.

Tablo 4.7. Zeolit oranının değişimi sonucu sertlik ölçüm sonuçları ve standart sapmaları

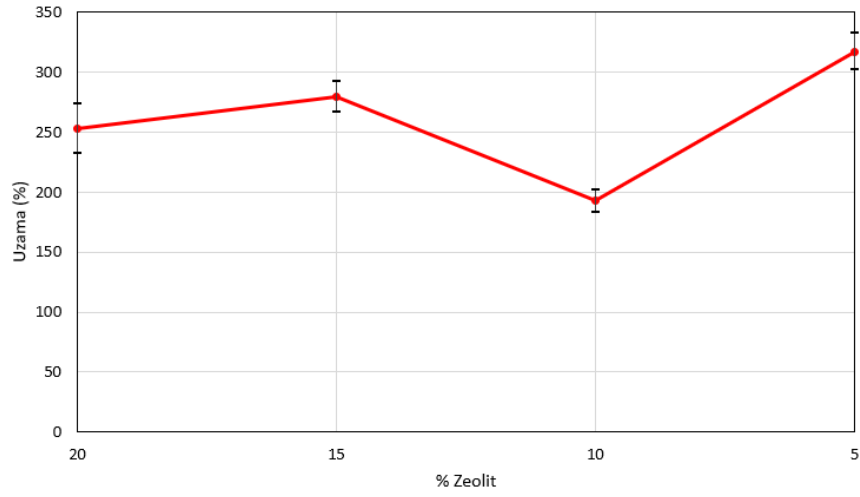
	Zeolit Oranı	Sertlik (Shore A)
%5 Genleştirilmiş perlit	%20	74,6 ± 1,14
	%15	62,2 ± 1,48
	%10	59,2 ± 1,09
	%5	59,8 ± 2,04

4.2.2. Mekanik Test Sonuçları

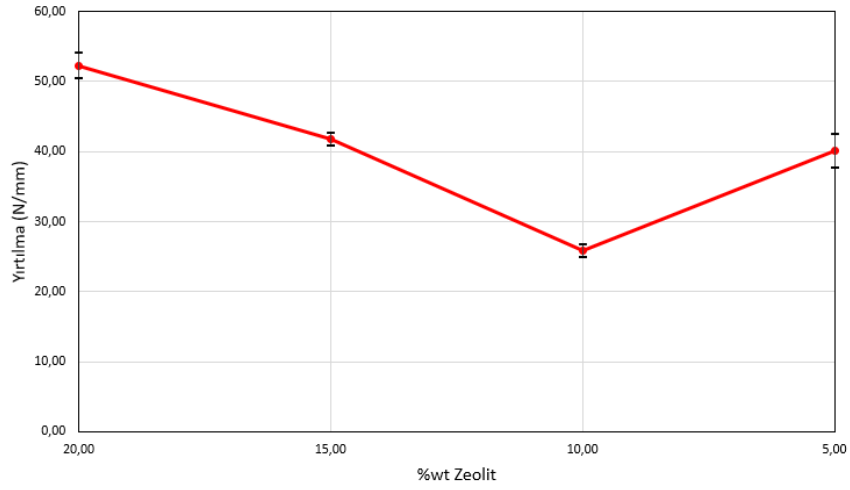
Zeolit oranının mekanik özelliklere etkisinin görülmesi amacıyla %5 katkılı numune, zeolit oranı %20'den %5'e kademeli olarak düşürülerek tekrar üretilmiş ve mekanik testler tekrarlanmıştır. Kopma dayanımı sonuçları Şekil 4.14'da, uzama miktarı sonuçları Şekil 4.15'de ve yırtılma dayanımı sonuçları ise Şekil 4.16'de verilmiştir. Sonuçlar ve standart sapmaları ise Tablo 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Zeolit oranının değişimine göre kopma dayanımı sonuçları



Şekil 4.15. Zeolit oranının değişimine göre uzama sonuçları



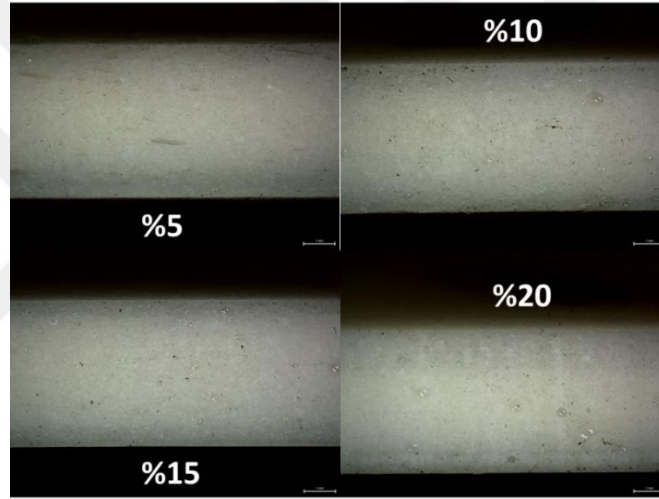
Şekil 4.16. Zeolit oranının değişimine göre yırtılma dayanımı sonuçları

Tablo 4.8. Zeolit oranı değişimine göre mekanik test sonuçları ve standart sapmaları

%5 Genleştirilmiş Perlit	Zeolit Oranı	Kopma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)	Yırtılma Dayanımı (N/mm)
	%20	7,56 ± 0,75	253,15 ± 20,66	52,25 ± 1,79
	%15	4,41 ± 0,13	279,9 ± 12,94	41,7 ± 0,91
	%10	2,69 ± 0,03	192,71 ± 9,50	25,8 ± 0,89
	%5	4,24 ± 0,12	317,33 ± 15,30	40,04 ± 2,36

Mekanik test sonuçları değişen zeolit oranlarına göre incelendiği zaman kopma dayanımı ve yırtılma dayanımında, zeolit oranı azaldıkça düşüş görülürken uzama miktarlarında artış görülmüştür. Farklı zeolit oranlarına sahip numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.17’de verilmiştir. Mekanik özellikler düşerken, uzama miktarlarında artış görülmesi sonuçların doğruluğunu onaylamaktadır. Bu olay iki ana sebep ile açıklanabilmektedir:

- 1) Zeolit oranının azalması poliüretanın daha çok şişmesine olanak sağlamaktadır. Böylece uzama değerleri artarken, mekanik özelliklerde düşüş görülmüştür.
- 2) Zeolit miktarının azalması yapıda bulunan sert fazı azaltmaktadır. Yapıda bulunan sert fazın azalmasıyla mekanik özellikler düşmüş, uzama miktarı artmıştır.

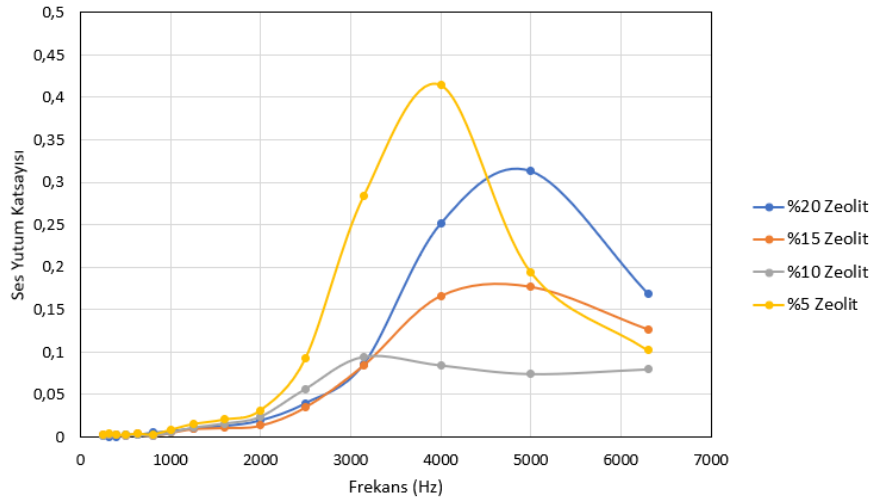


Şekil 4.17 Optik mikroskop resimleri

4.2.3. Akustik Özellikler

4.2.3.1. Ses Yutum Katsayısı Sonuçları

Zeolit oranının şişme performansına ve gözenek yapısına etkisi bilinmektedir. Bu yüzden zeolit oranları değiştirilerek tekrar numuneler üretilmiştir. Zeolit oranı %20’den %5’e kademeli olarak düşürülmüştür. Frekansa bağlı ses yutum katsayıları Şekil 4.18’te, maksimum ses yutum katsayıları ve frekansları ise Tablo 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Zeolit oranına göre frekansa bağlı ses yutum katsayıları.

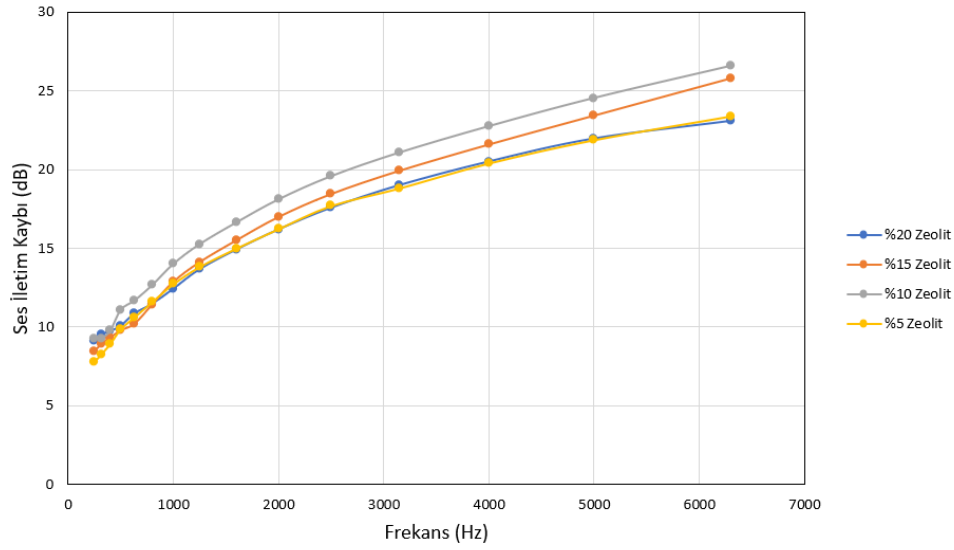
Tablo 4.9. Zeolit oranına göre maksimum ses yutum katsayısı ve frekans sonuçları

%5 Genleştirilmiş Perlit	Zeolit Oranı	Maksimum Ses Yutum Katsayısı	Frekans (Hz)
	%20	0,313	5000
	%15	0,177	5000
	%10	0,0846	4000
	%5	0,414	4000

Zeolit oranının düşmesi ile ses yutum katsayısında belirgin bir trend görülmemiştir. %20 Zeolit oranında 0,313 olan ses yutum katsayısı, %5 Zeolit oranında 0,414'e çıkmıştır. Bu sonuca bakılarak zeolit oranının azalması ile gözenekliliğin arttığı ve böylece ses yutum katsayısında artış görülmüştür. Zeolit azaldıkça gözenekliliğin artmasının nedeni poliüretanın şişmesidir. Zeolitin azalması ile yapıda daha çok nem kalmakta ve poliüretandan CO₂ gaz çıkışı olmaktadır. Bu durum gözenek yaratmaktadır.

4.2.3.2. Ses İletim Kaybı Sonuçları

Zeolitin ses iletim kaybına olan etkisini görmek için değişen zeolit oranlarında numuneler üretilmiştir. Zeolit oranları %20'den %5'e kadar kademeli olarak düşürülmüştür. Frekansa bağlı ses iletim kaybı değerleri Şekil 4.19'de, maksimum iletim kaybı değerleri ve frekansları ise Tablo 4.10'te verilmiştir.



Şekil 4.19. Frekansa bağlı ses iletim kaybı değerleri.

Tablo 4.10. Maksimum iletim kaybı değerleri ve frekansları

%5 Genleştirilmiş Perlit	Zeolit Oranı	Ses İletim Kaybı (dB)	Frekans (Hz)
	%20	23,09	6300
	%15	25,81	6300
	%10	26,58	6300
	%5	23,39	6300

Zeolit oranlarının değişimine göre ses iletim kaybı değerleri incelenmiştir. Zeolit oranının düşmesiyle beraber en yüksek ses iletim kaybı değeri %10 dolgulu numuneden ölçülmüştür. %5 dolgulu numunede ise ses iletim kaybında düşüş görülmesinin nedeninin poliüretanın şişmesi olduğu tahmin edilmektedir.

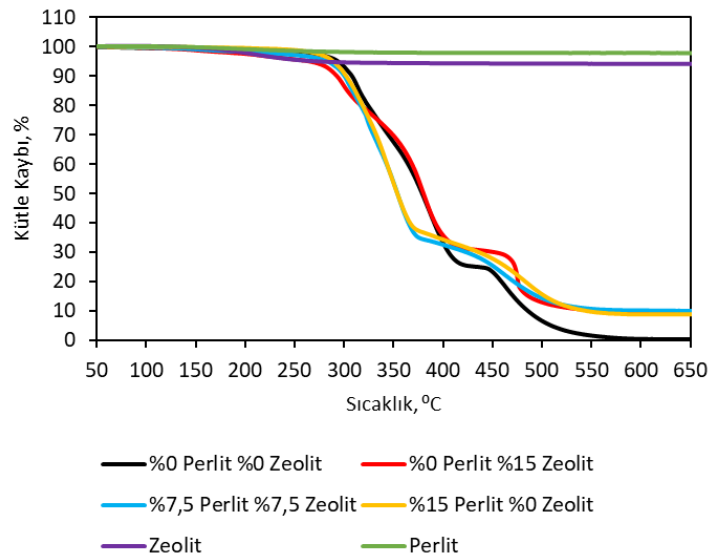
4.3. Termal Özellikler

Genleştirilmiş perlit ve zeolitin termal özelliklere etkisinin incelenmesi için %0 perlit %15 zeolit, %7,5 perlit %7,5 zeolit, %15 perlit %0 zeolit ve %15 perlit %0 zeolit içeren numunelerin TGA analizleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4.20)

Uçucu miktarları genel olarak benzerlik göstermekle beraber %1 civarında çıkmıştır. Dolgulu numuneler için toplam dolgu miktarı %15’de sabit tutulmuştur. Saf elastomer malzemenin de TGA ölçümü yapılarak karakteristik olarak iki aşamalı düşüş gösterdiği görülmüştür. Dolgulu eklendiğinde bu iki aşamalı düşüşün değişmediği gözlemlenmiştir.

Toz halinde bulunan genleştirilmiş perlit ve zeolit 600 °C’de sırasıyla %2,2 ve %5,8 kayıp göstermiştir. Bu kayıplar 600 °C’deki kalan dolgu miktarının eklenen dolgu miktarında daha düşük olmasını açıklamaktadır. Zeolit genleştirilmiş perlite göre daha düşük bozunma sıcaklığına sahiptir (200 °C) ve bu da zeolit dolgulu numunelerin daha erken bozunmaya başlaması ile paralellik gösterir. Bozunma pik sıcaklıklarına bakıldığında (Şekil 4.20) ilk olarak %0 Perlit %15 Zeolit oranlarına sahip numunenin daha düşük sıcaklıkta (278,38 °C) bozunmaya başladığı görülmüştür, buna karşın %15 Perlit %0 Zeolit oranlarına sahip numunenin bozunması görece yüksek sıcaklıkta (483,67 °C) tamamlanmıştır.

Genleştirilmiş perlit dolgulu numuneler için 350 °C civarlarında daha belirgin bir kütle kaybına sahiptir. %7,5 perlit %7,5 zeolit dolgu içeren numune daha çok %15 perlit %0 zeolit içeren numuneye benzer bir eğri göstermektedir. Ayrıca dolgulu numuneler yaklaşık %10’luk kalan kısma sahiptir ve dolgusuz ürün ile karşılaştırıldığında belirgin bir şekilde görülmektedir. Ölçüm sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.11’de detaylı olarak verilmiştir.

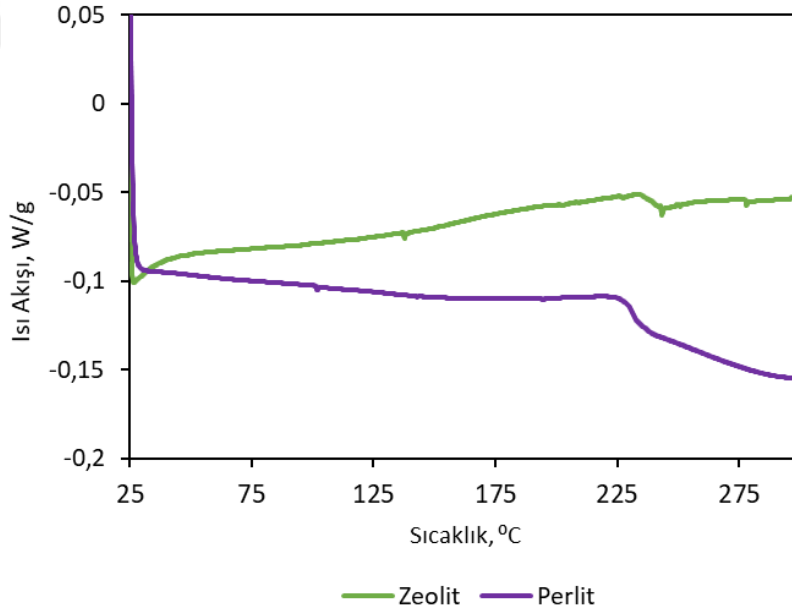


Şekil 4.20. Zeolit, perlit ve çeşitli zeolit ve genleştirilmiş perlit oranlarına sahip numunelerin TGA sonuçları

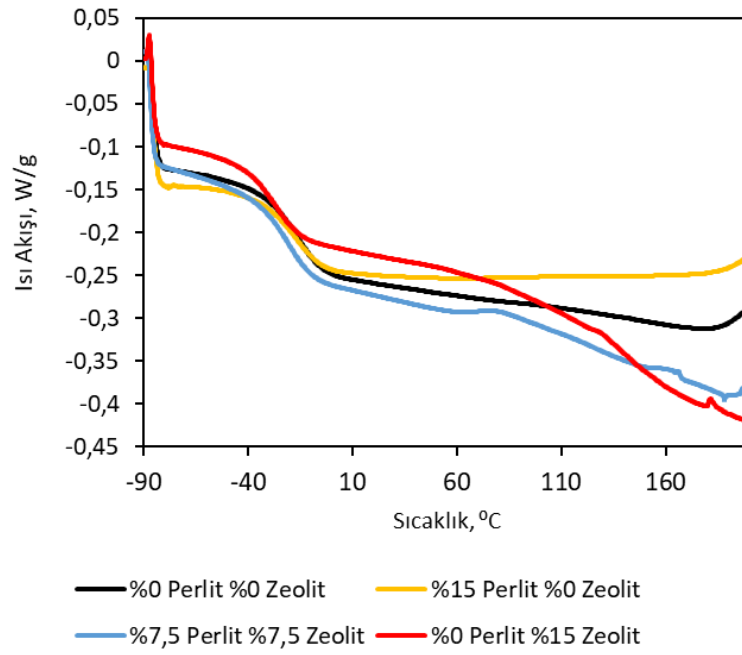
Tablo 4.11. Farklı oranlarda perlit ve zeolit içeren numunelerin uçucu miktarı, bozunma pik sıcaklıkları ve kalan miktar %

	Uçucu Miktarı % (150 °C)	Bozunma Pik Sıcaklığı °C	Kalan % (600 °C)
%0 Perlit %0 Zeolit	0,64	313,33 / 387,67 / 430,52	0,45
%15 Perlit %0 Zeolit	0,19	343,67 / 483,67	8,84
%7,5 Perlit %7,5 Zeolit	0,27	324,00 / 354,83 / 460,83	10,17
%0 Perlit %15 Zeolit	1,12	278,38 / 378,17 / 448,33	9,79

DSC sonuçlarına bakıldığında Şekil 4.22 numunelerin camsı geçiş sıcaklıklarında belirgin bir fark görülmemiş ve dolgunun camsı geçiş sıcaklığına etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Genleştirilmiş perlit ve zeolitin etkisini daha net anlaşılabilmesi için DSC ölçüleri alınmış, zeolitin 30-60 °C aralığında yukarı yönlü etkisinin olduğu, perlitin ise 30 °C’lerden sonra düz devam etme eğitiminde olduğu görülmüştür. Dolgulu numunelere bakıldığında genleştirilmiş perlit ve zeolitin benzer etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.21. Zeolit ve perlit DSC sonuçları



Şekil 4.22. Çeşitli zeolit ve genişletilmiş perlit oranlarına sahip numunelerin DSC sonuçları

Tablo 4.12. Farklı oranlarda perlit ve zeolit içeren numunelerin camsı geçiş sıcaklığı

	Camsı geçiş sıcaklığı °C
%0 Perlit %0 Zeolit	-47,20
%15 Perlit %0 Zeolit	-47,49
%7,5 Perlit %7,5 Zeolit	-46,65
%0 Perlit %15 Zeolit	-46,74

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elastomer poliüretan sistemlere genişletilmiş perlit ve zeolit etkisi çalışılmış, genişletilmiş perlit oranı değiştirilerek %1, %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında çalışılarak viskozite, yoğunluk, mekanik ve akustik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Zeolitin nem tutucu özelliği sayesinde şişme engellenmiş ve optimum zeolit miktarı %20 olarak belirlenmiştir.

Genleştirilmiş perlit miktarı arttırıldığında viskozite ve sertliğin arttığı yoğunluğun ise değişmediği gözlemlenmiştir. Kopma dayanımında %5 genişletilmiş perlit katkısına kadar artış görülmüş sonrasında düşmüştür. Uzama ve yırtılma testleri de yapılmış, genel olarak mekanik özelliklere bakıldığında %5 genişletilmiş perlitte en iyi sonuç görülmüştür.

Akustik özellikleri incelendiğinde ses yutum katsayısında en yüksek değer %1 genişletilmiş perlitli numunede görülürken, genişletilmiş perlit oranı artırıldığında ses iletim kat sayısında düşüş görülmüştür. Akustik özellikleri iyileştirmek amacıyla en iyi mekanik özelliklere sahip olan %5 genişletilmiş perlit katkılı numune için, farklı zeolit miktarları kademeli azaltılarak mekanik ve akustik testleri tekrarlanmıştır. Beklenildiği gibi, zeolit oranı azaltıldığında mekanik özelliklerde düşme görülürken, akustik özelliklerde iyileşme görülmüştür. Tüm sonuçlar göz önüne alındığında %5 perlit ve %5 zeolit katkılı numunenin en optimum sonuçları verdiği görülmüştür. %5 perlit ve %20 zeolit katkılı numune ile karşılaştırıldığında kopma dayanımında $7,56 \pm 0,75$ MPa'dan $4,24 \pm 0,12$ MPa'ya, yırtılma dayanımında $52,25 \pm 1,79$ N/mm'den $40,04 \pm 2,36$ N/mm'ye düşmüştür. Uzama miktarı ise $253,15 \pm 20,66$ 'dan $317,33 \pm 15,30$ 'e yükselmiştir. Akustik performansa bakıldığında ise maksimum ses yutum katsayısı 0,313'den 0,414'e çıkmış, maksimum ses iletim kaybında önemli değişim görülmemiş, %5 perlit ve %20 zeolit için 23,06 dB elde edilirken %5 perlit ve %5 zeolit için 23,39 dB elde edilmiştir.

Ayrıca genişletilmiş perlit ve zeolitin termal özelliklere etkisi çalışılarak toplam %15 dolgu miktarına sahip farklı genişletilmiş perlit ve zeolitin oranlarına sahip numuneler dolgusuz elastomer ile karşılaştırılmıştır.

İlerleyen çalışmalar için elle kalıba döküm yerine, poliüretan makinesi kullanarak daha homojen döküm yapılması sağlanabilir. Ayrıca farklı boyutlardaki genişletilmiş

perlitlerle ve %1 perlit oranına sahip numune için farklı zeolit oranlarının etkisi çalışılabilir. Dolguların homojen dağılımını sağlamak için, karışıma eklemekten önce yüzey işlemlerine tabi tutulabilir.



KAYNAKLAR

- Ai, M. X., Cao, L. Q., Guo, X. Y., Zhao, X. L. (2012). Research On Flame Retarded Of Polyurethane Rigid Foam/Expanded Perlite Thermal Insulation Composites. *Advanced Materials Research*, 427, 133–138.
- Alghadi, A.M., Tirkes S., Tayfun U. (2020) Mechanical, thermo-mechanical and morphological characterization of ABS based composites loaded with perlite mineral. *Mater Res Express* 7:015301
- ASTM Standard D412-16, (2021), “Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, DOI: 10.1520/D0612-88R17, <https://www.astm.org/>
- ASTM Standard D624-00, (2020), “Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, DOI: 10.1520/D0624-00R20, <https://www.astm.org/>
- Ates, M., Karadag, S., Eker, A. A., Eker, B. (2022). Polyurethane foam materials and their industrial applications. *Polymer International*, 71(10), 1157-1163.
- Bideci, Ö. S., Bideci A., Gültekin A. H., Oymael S., Yıldırım H. (2014) Polymer coated pumice aggregates and their properties. *Composites* 67:239–243
- Bora M. Ö., Çoban O., Kutluk T., Akagündüz E. (2019) The use of volcanic particles in HDPE offers alternative filling material against CaCO₃. Part II—scratch properties. *Polym Compos* 40:2564–2572
- Choe, H., Lee, J. H., Kim, J. H. (2020). Polyurethane composite foams including CaCO₃ fillers for enhanced sound absorption and compression properties. *Composites Science and Technology*, 194, 108153.
- Çoban, O., Yilmaz, T. Volcanic particle materials in polymer composites: a review. *J Mater Sci* 57, 16989–17020 (2022).
- Demir, E., Yalçın, H. (2014). Adsorbentler: sınıflandırma, özellikler, kullanım ve öngörüler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 70-79.
- Eyupoglu, S., Dayioglu, H., Merdan, N., Kilinc, M. (2018). The effects of perlite concentration and coating thickness of the polyester nonwoven structures on thermal and acoustic insulation and also electromagnetic radiation properties. *Materials Science*, 24(1), 100-103.
- Fu, S. Y., Feng X. Q., Lauke B, Mai Y. W. (2008) Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites. *Composites Part B* 39:933–961

- Im, H., Roh, S. C., Kim, C. K. (2011). Fabrication of novel polyurethane elastomer composites containing hollow glass microspheres and their underwater applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(12), 7305-7312.
- Karaca, E., Omeroglu, S., Akcam, O. (2016). Investigation of the effects of perlite additive on some comfort and acoustical properties of polyester fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(16).
- Kurt, Albayrak Z. N, Gencer G. (2020) The usability of clay/pumice mixtures modified with biopolymer as an impermeable liner. *KSCE J Civil Eng*, pISSN 1226–7988
- Lee, J., Jung, I. (2019). Tuning sound absorbing properties of open cell polyurethane foam by impregnating graphene oxide. *Applied Acoustics*, 151, 10-21.
- Lesovik, V. S., Bessonov, I. V., Bulgakov, B. I., Larsen, O. A., Puchka, O. V., Vaysera, S. S. (2018, December). Approach on improving the performance of thermal insulating and acoustic glass composites. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 463, No. 4, p. 042030). IOP Publishing.
- Li, T.-T., Chuang, Y.-C., Huang, C.-H., Lou, C.-W., Lin, J.-H. (2015). Applying Vermiculite And Perlite Fillers To Sound-Absorbing/Thermal-Insulating Resilient Pu Foam Composites. *Fibers And Polymers*, 16(3), 691–698.
- Petrella, A., De Gisi, S., Di Clemente, M. E., Todaro, F., Ayr, U., Liuzzi, S., Notarnicola, M. (2022). Experimental investigation on environmentally sustainable cement composites based on wheat straw and perlite. *Materials*, 15(2), 453.
- Raji, M., Nekhlaoui, S., El Hassani, I. E. E. A., Essassi, E. M., Essabir, H., Rodrigue, D., Bouhfid, R. (2019). Utilization of volcanic amorphous aluminosilicate rocks (perlite) as alternative materials in lightweight composites. *Composites Part B: Engineering*, 165, 47-54.
- Sahin, A. E., Cetin B., Sinmazcelik T. (2021) Investigation of mechanical and tribological behaviour of expanded perlite particle reinforced polyphenylene sulphide. *Proc ImechE Part L: J Mater: Design Appl* 235:2356–2367
- Sahraeian, R., Hashemi S. A., Esfandeh M., Ghasemi I. (2012) Preparation of nanocomposites based on LDPE/Perlite: mechanical and morphological studies. *Polym Polym Compos* 20:639–646
- Sariisik, A., Sariisik G. (2012) New production process for insulation blocks composed of EPS and lightweight concrete containing pumice aggregate. *Mater Struct* 45:1345–1357
- Shahzamani, M., Rezaeian, I., Loghmani, M. S., Zahedi, P., Rezaeian, A. (2012). Effects of BaSO₄, CaCO₃, kaolin and quartz fillers on mechanical, chemical and morphological properties of cast polyurethane. *Plastics, rubber and composites*, 41(6), 263-269.

- Singh, T. (2021). Tribological performance of volcanic rock (perlite)-filled phenolic-based brake friction composites. *J King Saud Univ - Eng Sci*, (In Press), 2021
- Sung, G., Kim, J. H. (2017). Influence of filler surface characteristics on morphological, physical, acoustic properties of polyurethane composite foams filled with inorganic fillers. *Composites Science and Technology*, 146, 147-154.
- Turp, S. (2018). Mn²⁺ and Cu²⁺ adsorption with a natural adsorbent: Expanded perlite. *Applied Ecology and Environmental Research*. 16. 5047-5057
- URL-1: <https://www.mta.gov.tr>, (Ziyaret tarihi: 23 Aralık 2022)
- Yilmazer, S., Ozdeniz, M. B. (2005). The effect of moisture content on sound absorption of expanded perlite plates. *Building and Environment*, 40(3), 311-318.
- Zwinselman, J. J., Bachmann, W. D. (1988). Polyurethane foams for sound and vibration dampening in automotive applications. *Journal of cellular plastics*, 24(3), 274-283.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Yiğit C., Demir F., Günay M., Aykaç A., Çoban O., (2022) The Effect of Expanded Perlite on the Mechanical Properties of PU Products, *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi*, Kocaeli.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1994 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği Bölümü'nden 1998 yılında mezun oldu. 1999 – 2006 yılları arasında Deteks Kimya A.Ş.'de çalışmış, 2006 yılından bu yana Pimsa Otomotiv A.Ş.'de, 2016 yılından beri ise Ar-Ge Müdürü olarak çalışmaktadır. 2020 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Programı Yüksek Lisans öğrenimine başlamış ve halen devam etmektedir.

