

Sub-Mikron Boyutlarında Üleksit Mineralinin Asfalt Karışımların Suya Hassasiyetine Etkisinin İncelenmesi

Tuba KÜTÜK SERT *

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize

Geliş tarihi/Received 19.12.2016

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 17.04.2017

Kabul tarihi/Accepted 25.04.2017

Öz

Yol kaplamalarında görülen erken bozulmalar ve deformasyonlar genellikle bitümlü kaplamaların maruz kaldıkları suyun varlığından kaynaklı bozulmalardır. Gerçekleştirilmiş olan bu çalışma sayesinde ülkemizde rezervi bulunan ve önemli bir bor minerali olan Üleksitin asfalt karışımlarındaki etkinliği araştırılmıştır. Bu çalışmada asıl üzerinde durulan husus, üleksit minerallerinin ticari olarak bulunabilen boyutlarıyla değil de nano partikül öğütücü değirmen ile öğütülerek küçük boyutlara getirilmiş halinin de çalışmaya dahil edilmiş olmasıdır. Bu bağlamda 25 mikron altı (U-25 µm) ve 53 mikron üstü (U+53 µm) şeklinde iki farklı boyutta üleksit mineralleri analiz edilmiştir. Özellikle U-25 malzemesinde nano boyutların yoğun olduğu görülmüştür. Bu minerallerin, bağlayıcı miktarının kütlece % 5'i ve %10'u mertebelerinde bitümlü karışımlara ilave edilerek hazırlanmış olan karışımlara suya hassasiyet testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; bor minerali katkısı karışımların suya karşı dirençlerini artırmıştır. Katkısız (referans) numunelerde koşullandırma ile mukavemet kaybı yaklaşık % 15 iken üleksit katkılı numunelerde yaklaşık %3-%4'ler mertebesinde olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Nano Partikül Öğütme, Suya Hassasiyet, Üleksit

Investigation of the Effect of Ulexite Mineral with Sub-Micron Sizes on Asphalt Mixtures Moisture Susceptibility

Abstract

Early deterioration and deformations in road pavements with bituminous mixtures are usually caused by the presence of water. Thanks to this study, the effect of ulexite which is a major boron mineral with reserves in our country, has been investigated in asphalt mixtures. The main point in this study is that the small sized ulexite minerals are included in the study obtained by the nano particle grinding mill, not the commercially available sizes. In this regard, ulexite mineral with two different sizes as lower than 25 microns (U-25 µm) and upper than 53 micron (U+53 µm) was analyzed in this study. Particularly, in U-25 material, nano dimensions are seen to be dense. Moisture susceptibility tests were applied to the asphalt samples prepared by adding 5% and 10% ulexite minerals by the weight of bitumen in mixture. The results showed that the boron mineral additive in hot-mix asphalt mixtures improved the resistance of asphalt mixtures' moisture susceptibility. The loss of strength was found to be about 15% with the conditioning on the untreated (reference) samples, while it was found that the ulexite-added samples were in the range of about 3-4%.

Keywords: Nano Particle Milling, Moisture Susceptibility, Ulexite

* Tuba KÜTÜK-SERT, tuba.kutuk@erdogan.edu.tr, Tel: (0464) 223 57 18

1. Giriş

Türkiye’de dünyada ki toplam rezervinin büyük bir kısmı bulunan bor, askeri alandan/savunma sistemlerinden sağlık alanına, bilgisayar sistemlerinden ilaç endüstrisine, otomotivden inşaat sektörüne kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Türkiye, 803 milyon ton rezervi ile dünya bor rezervlerinin yaklaşık % 63’üne sahiptir. (Boncukcuoğlu vd., 2003).

Ülkemizde her yıl işletilen bor cevheri ise yaklaşık 1,3 milyon ton’dur. (Kutuk-Sert ve Kutuk, 2013) ve yine bor madeni ülkemizde, Balıkesir, Bursa, Eskişehir, Kütahya illerine dağılmış durumdadır. Türkiye’de bor rezervi bu kadar fazla olmasına karşı büyük bir kısmı ihraç edilmektedir. Bu çalışmada kullanılmış olan üleksit ise $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ formülüne sahip olup bünyesinde 16 mol su ihtiva eden önemli bir bor mineralidir. Üleksit, kernit, probertit ve szyabelit ticari açıdan önemlidir. Ticari açıdan önem arz eden bu mineraller içinde fazla miktarda bulunan yine üleksittir. Günümüzde Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından ham cevher ve konsantreleri (kolemanit, üleksit, tinkal) ile rafine bor ürünleri/türevleri (boraks dekahidrat, boraks, pentahidrat, borik asit, sodyum perborat) üretilmektedir (Bulutcu, 1996).

Çoruh vd. (2013) borojipsin alttemel tabakasında stabilizasyon malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Bor atığı ile alttemel malzemesinin farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen numuneler üzerinde serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır. Bor atığı kullanımının üstyapıda kullanılan toplam agrega miktarını %43, yol yapım maliyetini ise %12 azalttığı görülmüştür. Ayrıca üstyapıda kullanılacak doğal agrega miktarı azalacak böylece kısıtlı doğal kaynakların daha verimli kullanılması mümkün olacaktır (Motor, 2007). Morova ve Terzi (2015) yapmış oldukları çalışmada kolemanitin sıcak karışım asfalt betonunda agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Dört farklı agrega grubu kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışmada,

kolemanit atıklarının fazlaca olduğu alanlarda, taşıma maliyetlerinin de uygun olması durumunda asfalt betonunda kireçtaşı agregası yerine kullanılabilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Ülkemizin milli kaynaklarından olan bor minerallerinden üleksit kullanılarak hazırlanmış olan bu çalışmada farklı sub-mikron boyutlu üleksitin asfalt karışımların suya hassasiyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda nano ve mikron altı boyutlardaki malzemeler, yapılarındaki kararlı davranış ve yapı malzemesi olarak adersanı iyileştirmeleri gibi hususlardan dolayı son yıllarda literatürde de kendine geniş yer bulmuştur.

Partl vd. (2010) asfalt kaplamalarda nano bilim ve nano teknolojinin kullanımıyla ilgili yapmış oldukları araştırmada bitüm içerisinde düzgün bir dağılım sergileyen nano-fiberlerin herhangi bir fiziksel etki olmaksızın bitümle agrega arasında adeta bir yapıştırıcı rolü üstlendiğini, yani adezyonu iyileştirdiğini öngörmüşlerdir. Parviz (2011) nano malzemelerin asfalt ve katranda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Nano boyuta inildiği zaman malzemenin, erime sıcaklığı, manyetik özellikleri ve rengi gibi bir takım davranışları değişmektedir. Nano teknolojinin bu kullanımı asfalt ve katranın çeşitli özelliklerini iyileştirmektedir. Nanokil ile modifiye edilmiş bitümün adezyon ve kayma mukavemeti artmakta, deformasyonlara gösterdiği direnci iyileşmektedir. Buna ek olarak, nano kil katkısı düşük sıcaklıklarda yorulmaları da azaltmaktadır. Çalışmanın düşük sıcaklıklarla ilgili bu sonucundan yola çıkılarak, nano katkıların ılık karışım asfalt betonunda da iyi bir performans göstereceği düşünülmektedir.

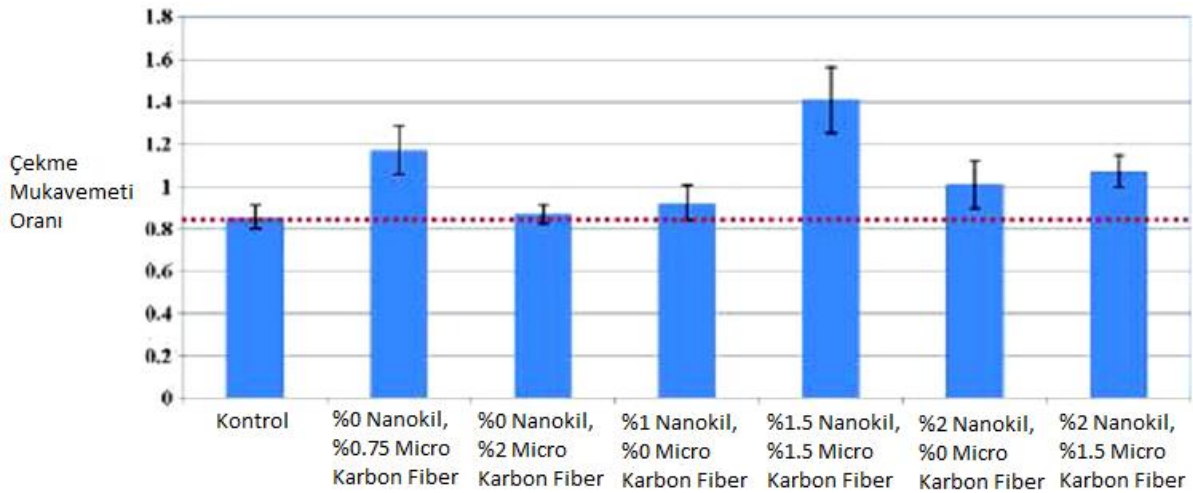
Hao vd. (2012) nano kalsiyum karbonat katkılı asfalt betonunun performansını araştırmışlardır. % 6 nano kalsiyum katkısı karışımların dinamik stabilitesini artırmaktadır. Xiao vd. (2011) nano teknolojinin inşaat mühendisliğindeki uygulamalarının oldukça yeni olduğunu vurgulamış ve yapmış olduğu çalışmada bitümlü karışımın % 0 - % 0,5 - % 1 ve % 1,5 oranlarında karbon nano partikül içeren asfalt

karışımların performansını test etmişlerdir. Nano partikül katkısıyla karışımların deformasyon direncinin arttığını ortaya koymuştur.

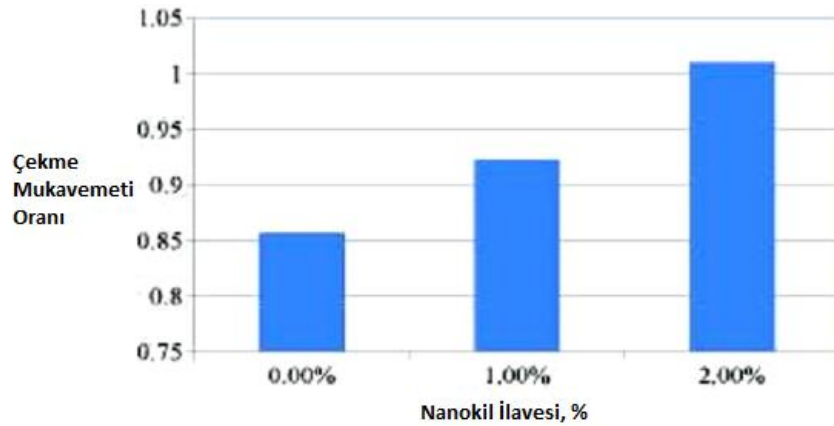
Goh vd. (2011) nano kil ve karbon mikro fiber katkılarının asfalt karışımların nem hassasiyeti performansını artırdığını ve pek çok durum için nem hasarı potansiyelini düşürdüğünü ortaya koymuşlardır. Optimum asfalt içeriği % 5,2 olarak seçilen çalışmada ağırlıkça bitümün % 2' sine kadar artan oranlarda nano kil ve karbon mikro fiber katkıları geleneksel sıcak karışıma ilave edilmiştir. Bazı örnekler su ve çeşitli çözücülerle koşullandırılmış bazıları ise kuru tutulmuştur. Sonuçta, nano partikül kullanımının nem hassasiyeti üzerinde olumlu etkileri gözlenmiştir. Aşağıdaki

grafikten görülebildiği gibi, çekme mukavemetini artırması bakımından karışıma % 1,5 nano kil ve % 1,5 karbon mikro fiber katkısı ideal sonuçları vermektedir (Şekil 1).

Ghasemi vd. (2012) nano SiO₂ ile modifiye edilmiş taş mastik asfaltın modifikasyonunu araştırmışlardır. SiO₂ ortalama boyutu 15 nm olan partiküller halinde öğütülmüştür (Şekil 2). Farklı oranlarda SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) ile Nano SiO₂ kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. En iyi sonuç % 5 SBS ve % 2 Nano SiO₂ katkısıyla elde edilmiştir. SBS/Nano SiO₂ modifiyeli karışımlar kontrol karışımına kıyasla daha yüksek stabilite (Şekil 3) ve çekme mukavemeti değeri göstermiş olup, SBS/Nano SiO₂ katkısı karışımların adezyon ve kohezyonunu artırmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1. (a) Çeşitli oranlarda nano kil ve karbon mikro fiber katkılarının çekme mukavemetine etkileri (b) Nano kil katkısıyla çekme mukavemetinin iyileştirilmesi (Goh vd., 2011).

Çap (nm)	Yüzeysel hacim oranı (m ² /gr)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Safılık (%)
15±3	160±12	<0.14	>99.9

Şekil 2. Nano boyuta indirgenmiş olan SiO₂' nin fiziksel özellikleri (Ghasemi vd., 2012)

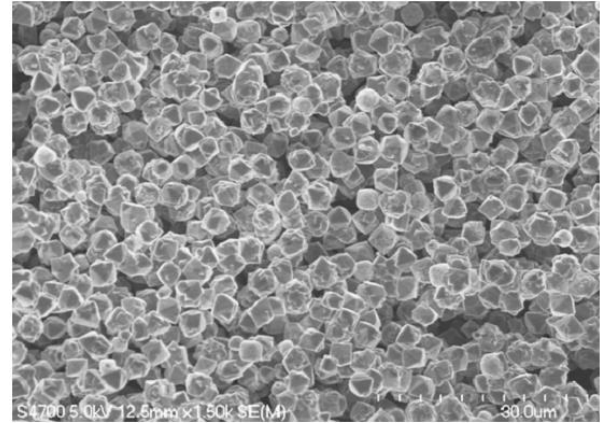
Örnek No	Karışım Tipi	BSG	VTM (%)	VMA(%)	VFB(%)	Stabilite (kN)	Akma (mm)
1	60/70 binder	2345	4.33	14.92	70.11	6.42	3.4
2	5%SBS +0.0% nano	2333	4.93	17.38	71.65	7.00	3.13
3	5%SBS +0.5% nano	2328	5.85	18.56	68.50	8.86	3.33
4	5%SBS +1.0% nano	2325	5.17	17.83	70.97	10.13	2.90
5	5%SBS +1.5% nano	2302	5.81	18.75	69.01	11.20	3.35
6	5%SBS +2.0% nano	2299	5.70	18.24	68.75	11.74	2.85

Şekil 3. Kontrol karışımı ile farklı oranlarda SBS ve Nano SiO₂ kullanılarak hazırlanan karışımların Marshall test sonuçları (Ghasemi vd., 2012).

You (2013) çeşitli nano malzemelerin asfalt kaplamalardaki kullanımını araştırmıştır. Nano killerle ilgili yapmış olduğu araştırmada asfalt karışıma % 2 nanokil katkısının kayma modülünü % 184 artırdığını ve yine tekerlek izi (rutting) direncini ise iyileştirdiğini gözlemlemiştir. Polimer modifiyeli nanokil ilavesinde ise asfalt bağlayıcının viskozitesi düşmekte, işlenebilirliği artmakta, ılık karışım asfalt için bu modifiyenin faydalı olacağı görüşü ortaya çıkmaktadır. Yine nanotüp, nanosilika gibi malzemelerin asfalt bağlayıcı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı Şekil. 4' de görülmektedir. Homojen dağılım, asfalt molekülleri ile nano malzemenin sıkı bir şekilde bağlandığını göstermektedir. Bu da agrega ile asfalt arasındaki adezyonun iyi bir şekilde iyileştirildiğini göstermektedir. You (2013)' ün çalışmasından elde edilen bir diğer önemli bulgu ise asfaltın ağırlıkça % 2~ % 4' ü kadar nano malzemenin karışıma ilavesinin asfalt kaplamanın tekerlek izi derinliğini kontrol karışımlarına kıyasla yarı yarıya azalttığı sonucudur.

Diab vd. (2013) nano hidrat kireçle modifiyeli ılık karışım asfaltın reolojik özelliklerini araştırmışlardır. Hidrat kireç 50 nm ve 100 nm boyutuna indirgenerek bu çalışmada kullanılmıştır. Asfalt bağlayıcının % 5, % 10 ve % 20 miktarında nano hidrat kireç ve % 3, % 4,5 ve % 6 miktarlarında da köpüklendirme katkısı ilave etmek suretiyle karışımlar hazırlanmış ve karışımlara tekerlek izi ve

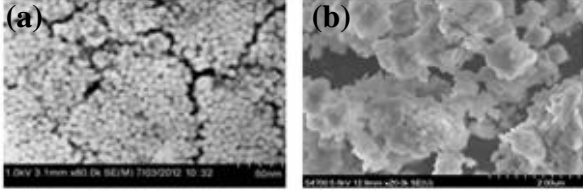
yorulma çatlaklarını belirleyen testler ile termal çatlakları belirleme testleri uygulanmıştır.



Şekil 4. Alan Taramalı Elektron Mikroskobu yardımıyla çekilmiş asfalt karışım içerisindeki nanosilika dağılımı (You, 2013).

Kullanılan hidrat kirecin nano boyuta indirgenmiş hali ile daha büyük boyutlarının SEM görüntüleri Şekil 5' de görülmektedir. Nano boyuta indirgenmiş mineralde yapıdaki homojen dağılım dikkat çekicidir. Elde edilen sonuçlara göre az miktarda nano hidrat kireç katkısının reolojik özellikleri iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Hidrat kireç katkısında nano yapıda partikül boyutu ne kadar küçülürse ve nano mineral miktarı ne kadar artırılırsa yorulma çatlakları ve tekerlek izi direnci ile sünme rijitliği o kadar artmaktadır. Tekerelek izi direnci değeri, nano mineral katkısı kullanılmış karışımlarda daha yüksek

çıktığından dolayı kullanılan köpüklendirme katkısıyla nano hidrat kireç arasında uyumlu etkileşim olduğu söylenebilir. % 3, % 4,5 ve % 6 miktarlarında köpüklendirme katkısı ilavesi araştırılmış, optimum oranın % 4,5 olduğu görülmüştür. Bu değerden daha az ya da daha fazla değerlerde katkının tekerlek izi direncini olumsuz etkilediği gözlenmiştir.



Şekil 5. SEM Görüntüleri (a) 50 nm boyutlarındaki hidrat kirece ait (b) Daha büyük boyutta ki hidrat kirece ait (Diab vd., 2013).

Yukarıda sözü edilen çalışmalardan da görülebileceği üzere, nano malzemelerin sahip oldukları kararlı yapıları sayesinde asfalt karışımları tekerlek izine karşı dirençli hale getirmeleri, yine karışımların pek çok özelliklerini iyileştirmeleri gibi özelliklerinden dolayı kullanımları faydalı görülmektedir. Ancak yapılmış olan bir çalışmada köpük asfalt uygulamalarının tümünde soyulmayı önlemek için amin kökenli katkı maddelerinin (DOP) kullanılması gerekli görülmüş, adezyonu sağlamak için karışımlara bu katkılardan ilave edilerek adezyonun iyileştiği gözlemlenmiş ancak bu sayede köpük asfalt uygulamalarında adezyon problemi görülmemiştir (Malkoç, 2013).

Hamedi (2016), yapmış olduğu çalışmasında, kalsiyum karbonat ve nano çinko oksit katkılı asfaltın mekanik özelliklerini araştırmıştır. Asfalt binder modifiyeri olarak kullanılan malzemelerin sıcak karışım asfalt betonunun nem hassasiyeti üzerinde önemli etkileri olduğu gözlenmiştir. Buna göre, asfaltın nano malzemeler ile modifiyesi karışımın nem hassasiyetini azaltmıştır.

Mirzababaei (2016), ılık ve sıcak asfalt karışımlarda ki nem hassasiyeti üzerinde agrega gradasyonu etkilerinin fazla olduğunu göstermiştir. Ancak agrega türü olarak

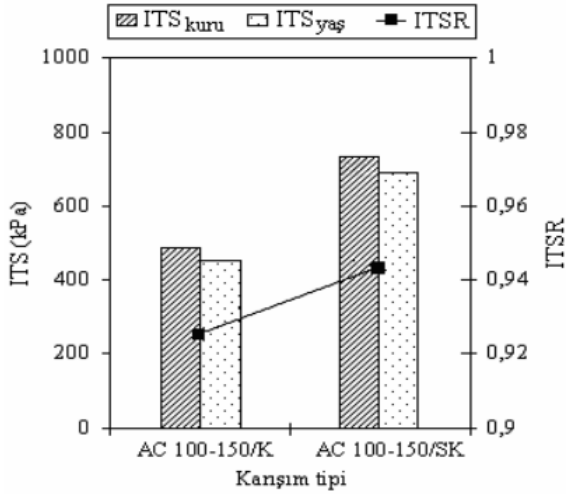
bakıldığında ise silis agregalar içeren ılık ve sıcak karışımların nem hassasiyetinin tayininde önemli olan çekme mukavemeti oranını (TSR) minimum %80 mertebesinde sağlamadığından kabul edilebilir görülmemiştir.

Nabiun ve Khabiri (2016) tarafından yapılmış olan çalışmada, filler olarak çeşitli oranlarda kullanılan ferrit malzemesinin asfalt karışımının nem hassasiyeti üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Çalışmaya göre %70 ve %100 ferrit filler içeren karışımlar en yüksek direnç göstermişlerdir. Aksine %35 ferrit katkılı karışımlarda ise tamamı kireçtaşı filler olan referans numunelerine göre düşük direnç değeriyle karşılaşılmıştır. Bu sonuç ferritin filler malzemesi olarak az oranlarda kullanımının etkisinin olmadığını göstermektedir.

Görkem ve Şengöz (2008) yapmış oldukları çalışmada, elastomerik (SBS) ve plastomerik (EVA) polimer modifiye bitümlerle (PMB) hazırlanan ve farklı agrega türleri (bazalt-kalker ile yalnız kalker agregası) içeren sıcak karışım asfaltların soyulma durumunu ve suya karşı duyarlılıklarını incelemişlerdir. Elastomerik ve plastomerik polimer modifikasyonların suyun asfalt karışımlar üzerindeki etkisini azalttıkları ve kaplamanın neme karşı direncini arttırdıkları göstermiştir. Ayrıca yine çalışmanın sonucuna göre, SBS PMB ile hazırlanan karışımların EVA PMB ile hazırlanan örneklere göre suya karşı bozulmalar üzerine etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Ahmedzade vd., (2007) yapmış oldukları çalışmada, siyah karbon katkısının asfalt karışımların mekanik ve su hassasiyeti özelliklerini incelemişlerdir. Kalker ve siyah karbon filler olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda standart test sıcaklığı olan 40 °C ve çok sıcak iklimler için 40 °C 'de, kontrol asfalt karışımlarına göre daha yüksek sünme rijitliği gösteren siyah karbon karışımlarının, kalıcı deformasyona karşı direncinde önemli derecede artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca filler olarak siyah karbonun asfalt karışımlarına ilave edilmesinin, karışımların ısı ve suya karşı

dirençlerini arttırdığını (Şekil 6) ve bitüm ile agrega arasındaki bağ özelliklerini iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır.



Şekil 6. Kontrol ve siyah karbon içeren asfalt karışımlarının dolaylı çekme mukavemeti oranları (Ahmedzade vd., 2007).

Su hassasiyeti direncinin ve buna bağlı olarak bitüm agrega arası aderansın iyileştiğini gösteren sonuç bu çalışmayı da destekler niteliktedir.

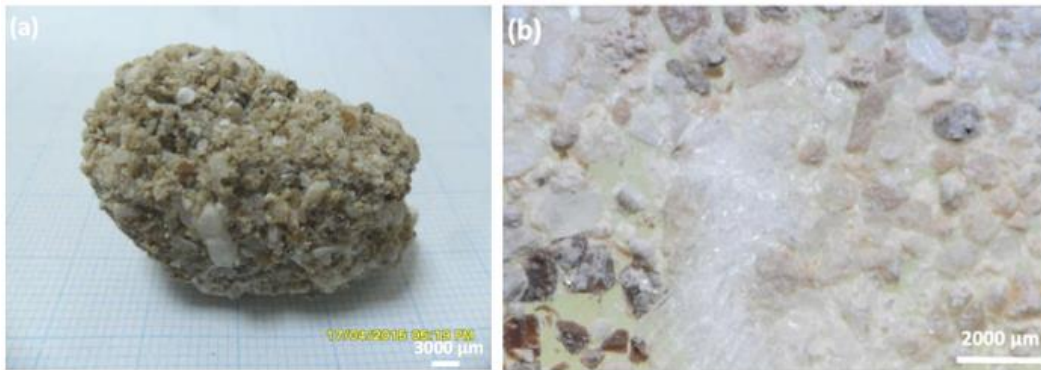
Bu çalışmada özellikle odaklanılan konu ise asfalt betonu için suyun zararlı etkilerinin varlığından dolayı nem hassasiyeti/suya hassasiyet olarak belirtilen husustur. Üleksit minerallerinin küçük boyut etkisinin asfalt karışımların su hassasiyetini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Nem, asfalt karışımlarda, bağlayıcı ve agregalar arasındaki bağa, soyulmalar ortaya çıkararak zarar vermektedir. Yağış vb. sebeplere kaplama yüzeyinde bulunan sular yüzeyden alt

tabakalara doğru kılcal şekillerde sızarak adezyon kuvvetlerini zayıflatmakta, bu durumda zaman içerisinde kaplamanın kullanım ömrünü düşürmektedir (Mirzababaei, 2016). Bu bağlamda asfalt kaplamalarda suya hassasiyet çok önem arz etmektedir.

2. Materyal ve Metot

Ticari ham üleksit minerali Şekil 7'de görülmektedir. Bu üleksit minerali Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor Madeni'nden temin edilmiştir. Bor madeninden çıkarılan üleksit minerali -3 mm (iri toz boyutu, U-3m) ve -75 µm (ince toz boyutu, U-75µ) olacak şekilde ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına sahip eleklerle elenmiştir ve bu çalışmada başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Recep Tayyip Erdoğan Üniversite'sinde bulunan Nano Partikül Öğütücü Değirmende U-3m minerali öğütülmüştür ve elenmiştir. 25 µm elek altı malzeme U-25 ve 53 µm elek üstü malzeme ise U+53 olarak adlandırılmıştır (Kutuk, 2016) (Şekil 7).

Aşınma tabakası Tip 1 (AC16 Aşınma 50/70) için karışım hesabı yapılmıştır. Karışımın fiziksel özelliklerinin dizayna uygunluğunun ve sıkışmasının kontrolünde referans olarak Tablo 1 üretilmiştir. Bitümlü karışım hazırlanırken kullanılmış olan agreganın elek analizi ve gronülometri eğrisi Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 7. Üleksit mineralinin (a) öğütülmemiş ilk halinin görüntüsü, (b) ×15 Stereo Optik Mikroskopta görüntüsü (Kutuk, 2016).

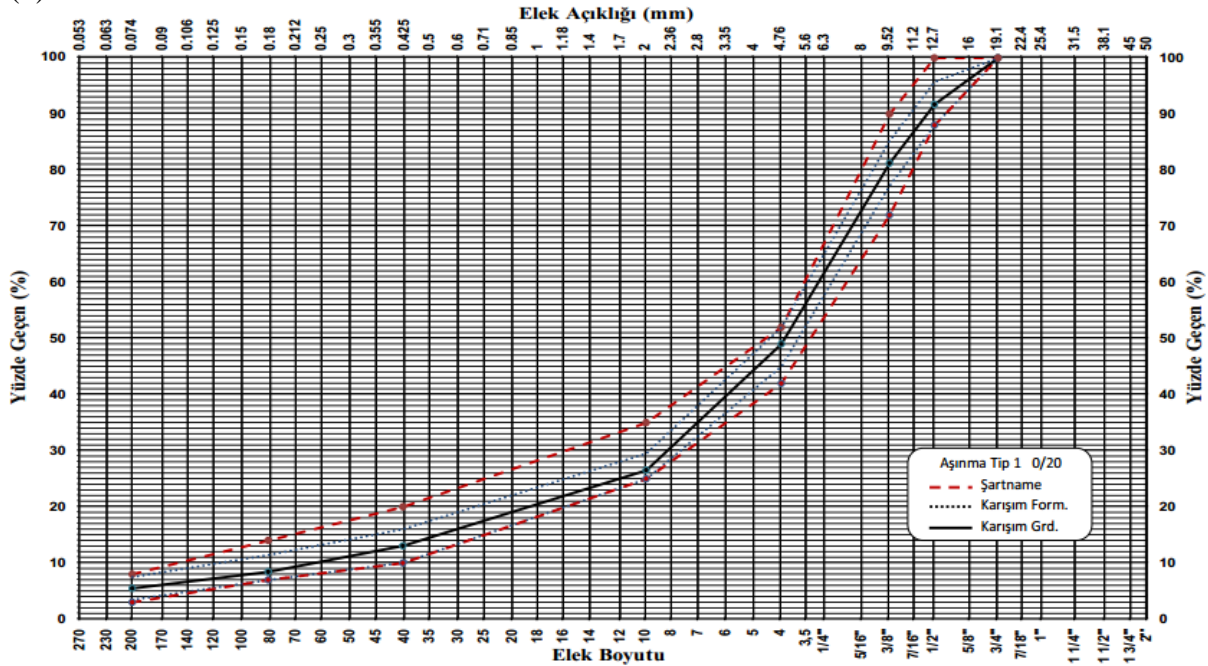
Tablo 1. Dizayn Kriterleri

	Deney Standardı	Sonuç	Şartname
Bitüm %'si (ağırlıkça 100'e)	TS EN 12697-1	4.6	4.0-7.0
Pratik Özgül Ağırlık, gr/cm ²	TS EN 12697-6	2.43	
Marshall Stabilitesi, kg	TS EN 12697-34	1220	Min. 900
Boşluk, %	TS EN 12697-8	4.0	3-5
Asfatla (bitüm) dolu boşluk, %	TS EN 12697-8	70.0	65-75
Agregalar arası boşluk (VMA), %	TS EN 12697-8	14.05	14-16
Akma, mm	TS EN 12697-34	3.50	2-4
Filler/Bitüm oranı		1.2	Max. 1.5

(a)

Elek No.	2 No Mıcır	1 No Mıcır	Taş Tozu	Karışım	Karışım Formülü	Şartname
1 1/2"						
1"						
3/4"	10,0	46,0	44,0	100,0	100 - 100	100
1/2"	2,1	45,7	44,0	91,7	88 - 96	88 - 100
3/8"	0,1	37,1	44,0	81,3	77 - 85	72 - 90
No 4	0,1	5,4	43,6	49,0	45 - 52	42 - 52
No 10	0,1	0,6	25,8	26,5	25 - 30	25 - 35
No 40	0,1	0,5	12,5	13,1	10 - 16	10 - 20
No 80	0,1	0,5	7,9	8,4	7 - 11	7 - 14
No 200	0,1	0,5	4,9	5,5	3 - 7	3 - 8

(b)



Şekil 8. Agregalar karışım gradasyonu (a) Elek analizi (b) Gronülometri eğrisi

Karışımların suya hassasiyeti asfalt karışımın hasar görmesi ya da hava koşulları altındaki davranışını belirleyeceğinden dolayı önem arz etmektedir. Asfalt karışımlarda suyun varlığı durumlarında bağlayıcı ve agregalar arasında soyulmalar oluşacağından istenmeyen ve kaplamanın yapısına zarar veren bir durumdur. Suya Hassasiyet deneyi için numune hazırlama, koşullandırma ve test aşamaları TS EN12697-12 ITSR oranı standardına göre gerçekleştirilmiştir. Üleksit minerali karışım hazırlama öncesinde bitüme karıştırılmıştır. Her numuneye 35 darbe uygulanarak dizayn kriterlerine göre tüm numunelerde %6 boşluk miktarı sağlanıncaya kadar sıkıştırma yapılmıştır. 25 mikron altı (U-25) ve 53 mikron üstü (U+53) boyutlarındaki üleksit minerallerinden bitümün %5'i ve %10'u oranlarında katılmak üzere 4 farklı katkı, bir de katkısız referans olmak üzere 5 farklı tasarım kararlaştırılmıştır. Her bir durum için üç tane koşullandırmaya tabi tutulan, üç tane de koşullandırılmayan asfalt briket hazırlanmıştır. Koşullandırma işlemi için, numuneler 40 °C'de 72 saat suda bekletilmiş sonrasında da 25 °C'de 2 saat bekletilmiştir. Koşullandırılmayan kuru numuneler için ise sadece 25 °C'de 2 saat bekletme işlemi yapılmıştır. Bu aşamadan sonra koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numuneler özel kırma başlığı olan Marshall Test cihazında kırılarak mukavemetleri belirlenmiştir (Şekil 9).

Koşullandırılmış numunelerin indirekt çekme direncinin ($ITS_{yaş}$), koşullandırılmamış numunelerin indirekt çekme direncine (ITS_{kuru}) oranı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır:

$$ITSR = ITS_{yaş} / ITS_{kuru} \quad (1)$$

$ITS_{yaş}$: Koşullandırılmış numunelerin ortalama indirekt çekme direnci (kPa).

ITS_{kuru} : Koşullandırılmamış numunelerin ortalama indirekt çekme direnci (kPa).

Koşullandırılmış numunelerin dolaylı çekme mukavemetleri koşullandırılmamış (kuru) numunelerin indirekt çekme mukavemetlerine bölünerek, nem duyarlılığının bir ölçüsü olan

indirekt çekme mukavemeti oranları (TSR) tespit edilmiştir. Şekil 10'da numunelerin dolaylı çekme mukavemetleri Şekil 11'de ise dolaylı çekme mukavemeti oranları verilmiştir.



Şekil 9. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelere kuvvet uygulanarak kırılma yükünün bulunması

3. Bulgular ve Tartışma

Bardakçı (2011), çalışmasında da bor minerallerinin hidrofobik (su itici-suya karşı davranan) özelliklerine değinilmiştir. Yapılan bu çalışmada, değişik modifiye malzemeler ile çözücüler ve bunların birbiri ile uyumları incelenerek ürün verimi ve hidrofobitesi üzerine etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bor minerallerinin bu özelliği bu çalışmada irdelenen asfalt kaplamalardaki suya karşı direnç konularında özellikle koşullandırılmış numunelerin suyu bünyelerinde bütünüyle bulundurmadıkları dışarı attıkları böylece mukavemetin olumsuz yönde etkilenmediği konusunda olumlu sonuç vermiştir.

Şekil 10 ve 11 incelendiğinde U-25 katkısının %5 ve %10 miktarları ile U+53 katkısının %5 ve %10 miktarları arasında her iki boyuttaki üleksit mineralinde de miktarın %5'ten %10'a çıkmasının dolaylı çekme mukavemetini bir miktar düşürdüğü gözlenmiştir. Bu da bor minerallerinden üleksit katkısının iri ya da ince boyutlar için ideal oranın asfalt çimentosu miktarının %5 olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. U-25 ve U+53 üleksit mineralleriyle hazırlanan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış asfalt karışımların çekme mukavemeti değerleri

	Ref.	U-25		U+53		
		5%	10%	5%	10%	
Ortalama Çekme Mukavemeti (kPa)	Koşullandırılmış	1097,1	908	703,7	846,2	703,2
	Koşullandırılmamış	1290,3	937,4	748,3	877,9	780,1

Üleksit katkısı kullanılarak üretilmiş numunenin dolaylı çekme mukavemeti oranlarının katkısız referans numunelerinden daha yüksek olması, bir bor minerali olan üleksit mineralinin asfalt numunelerinin adezyonu üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Yani üleksit minerali katkısının asfalt karışımların suya karşı dirençlerini artırmasının bitüm agrega arasındaki adezyonun iyileşmesinin bir sonucu olduğu söylenebilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, U-25 ve U+53 olarak iki farklı boyutta üleksit mineralleri analiz edilmiştir. Özellikle U-25 malzemesinde nano boyutların var olduğu görülmüştür. Üleksit mineralinin, bitümün kütlece %5'i ve %10'u oranlarında ilave edilmesiyle hazırlanmış olan karışımlara suya hassasiyet testleri uygulanmıştır. Çalışmadan şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Bor minerallerinin hidrofobik (su itici) özelliğinin varlığı bu çalışma da literatüre ilave olarak bir defa daha görülmüştür.
- ITSR değeri referans numunesinde %85 iken U-25 katkısının %5 ve %10 oranları için sırasıyla % 96,9 ve % 96,4; U+53 katkısının %5 ve %10 oranları için ise yine sırasıyla % 94 ve % 90,1 olarak ölçülmüştür.
- ITSR değerlerinin katkısız referans numunelerinden daha yüksek olması, bir bor minerali olan üleksit mineralinin asfalt numunelerinin adezyonu üzerinde olumlu etkileri olabileceğinin bir göstergesidir.
- Referans numunelerde koşullandırma ile mukavemet kaybı yaklaşık % 15 iken üleksit katkılı numunelerde yaklaşık %3-%4'ler mertebesindedir. Bu da Karadeniz

Bölgesi gibi sürekli yağış alan iklimlerde ki asfalt kaplamalar için tercih sebebidir.

Teşekkür

Bu çalışmada, bor minerallerinin temininde Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne yine bor minerallerinin sub-mikron boyutlara öğütülmesi ve asfalt karışımlarda katkı olarak kullanımına hazır hale getirilmesinde Dr. Sezai KÜTÜK'e, suya hassasiyet deneylerinin gerçekleştirilmesinde İSFALT A.Ş.'ye ve İnş. Müh. Resul Ekrem GÜNBEY'e teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

- Ahmedzade P., Alataş T. ve Geçgil T., 2007. The Effect Of Carbon Black On The Mechanical Properties of Asphalt Mixtures. Highway and Transportation Group, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran.
- Bardakçı M., 2011. Çeşitli Bor Minerallerinden Hidrofobik Çinko Borat Üretim Yöntemlerinin Geliştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 214s.
- Boncukcuoglu, R., Kocakerim, M. M., Kocadagıstan, E., and Yılmaz, M. T., 2003. Recovery of Boron of The Sieve Reject in the Production of Borax. Resources, Conservation and Recycling, 37(2), 147–157.
- Bulutcu N., 1996. Türkiye'de Bor Bileşikleri Üretim Teknolojilerinin Dünyü Bugünü ve Geleceği, Bor bileşikleri üretim

- teknolojileri danışma toplantısı, Tübitak MAM, İstanbul.
- Coruh,E., Hınıslioğlu,S., Kocakerim, M., Arasan,S., Oltulu,M., 2013, Borojipsin Alttemel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, EÜFBED (Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi), 6, 2, 221-231.
- Diab A., You Z., Wang H., 2013. Rheological Evaluation of Foamed WMA Modified with Nano Hydrated Lime, Social and Behavioral Sciences, 96, 2858-2866.
- Görkem İ. Ç., Şengöz B., 2008. Determination of Moisture Susceptibility Characteristics of Polymer Modified Hot-Mixed Asphalt (Polimer Modifiye Bitümlerle Elde Edilen Sıcak Karışımların Suya Karşı Duyarlılıklarının İncelenmesi), DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,10, 3, 59-72.
- Ghasemi M., Marandi S. M., Tahmooresi M., Kamali R. J. ve Taherzade R., 2012. Modification of Stone Matrix Asphalt with Nano-SiO, Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2, 2, 1338-1344.
- Goh S. W., Akin M., You Z. ve Shi X., 2011. Effect of Deicing Solutions on the Tensile Strength of Micro- or Nano-modified Asphalt Mixture. Construction and Building Materials, 25, 195–200.
- Hao X. H., Zhang, A. Q., Yang, W., Zheng, J. J., Du, X. L., Yan, W., Li, Y. ve Zhang, J. W., 2012. Study on the Performance of Nano Calcium Carbonate Modified Asphalt Concrete AC-13, Advanced Materials Research, 503, 450-451.
- Hamedı G., Nejad F.M., 2016. The Employment Of Thermodynamic And Mechanical Methods To Evaluate The Impact of Nanomaterials on Moisture Damage of HMA, 49, 11, 4483–4495.
- Kutuk-Sert T., Kutuk S., 2013. Physical and Marshall Properties of Borogypsum Used as Filler Aggregate in Asphalt Concrete, Journal of Materials Civil Engineering, 25, 266-273.
- Kutuk S., 2016. Influence of Milling Parameters on Particle Size of Ulexite Material, Powder Technology, 301, 421–428.
- Malkoç G., Toraman S., 2013. Ilık ve Sıcak Karışım Asfaltları Sağlık ve Kalite Açısından Mukayese Eden “Norveç LTA 2011” Deneme Yolu Projesi Sonuçları, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 127-136.
- Mirzababaei P., 2016. Effect Of Zycotherm On Moisture Susceptibility Of Warm Mix Asphalt Mixtures Prepared With Different Aggregate Types And Gradations, Construction and Building Materials, 116, 403–412.
- Morova N., Terzi S., 2015. Kolemanit Atıkların Sıcak Karışım Asfalt Betonda Agregası Olarak Değerlendirilmesi, Suleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Science, 19 (2), 8-15.
- Motor, E., 2007. Borojipsin Yol Alttemel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.Nabiun N., Khabiri M. M., 2016. Mechanical And Moisture Susceptibility Properties of HMA Containing Ferrite For Their Use in Magnetic Asphalt, Construction and Building Materials, 113, 691–697
- Partl M. N., Gabriele T., 2010. Asphalt Pavements And Environment, Road Materials and Pavement Design, 11(1), 7.
- Parviz A., 2011. NanoMaterials in Asphalt and Tar, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), 3270-3273.

Xiao F., Amirkhanian A. N. ve Amirkhanian S. N., 2011. Long-term Ageing Influence on Rheological Characteristics of Asphalt Binders Containing Carbon Nanoparticles, International Journal of Pavement Engineering, 12, 6, 533–541.

You Z., 2013. Nanomaterials in Asphalt Pavements, International Journal of Pavement Research and Technology, 6 (3).