

Vermikülitin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliğinin Marshall Stabilite Deney Yöntemi ile Araştırılması

Mehmet SALTAN¹, Fahriye UYSAL*¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

(Alınış / Received: 14.11.2016, Kabul / Accepted: 02.06.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 26.09.2017)

Anahtar Kelimeler

Bitümlü sıcak karışım,
Vermikülit,
Bitüm modifikasyonu,
Marshall stabilite

Özet: Dünyada yol talebinin artması gelecek için hammadde kaygısına yol açmaktadır. Bu nedenle bitümlü sıcak karışım (BSK) yapımında tasarruf amaçlı bitümü azaltarak ya da agrega yerine alternatif diğer doğal malzemeler kullanarak bu kaygıya çözüm aranmaktadır. Bu amaçla çalışmada bitümlü sıcak karışımlarda agrega kullanımını veya bitüm kullanımını azaltmak amacı ile ülkemizde madeni bulunan trioktahedral mika minerali olarak bilinen vermikülitin esnek üstyapılarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada Marshall Stabilite deneyi ile optimum bitüm içeriği hesaplanmıştır. Hesaplanan optimum bitüm yüzdesine göre vermikülit modifiye bitümler hazırlanmıştır. 10 gr bitüm azaltılarak hazırlanan vermikülit modifiye BSK'nın, 10 gr vermikülit eklenerek hazırlanmış modifiye BSK'a ve saf BSK'a göre daha yüksek Marshall stabilite değeri verdiği görülmüştür. Çalışmada vermikülitin bitüm katkısı olarak kullanıldığında BSK'ın bitüm oranını %8 oranında azalttığı görülmüştür. Çalışma sonucunda vermikülitin BSK'larda bitüme katkı malzemesi olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

Research of Vermiculite Usability Hot Mix Asphalt by Marshall Stability Test Method

Keywords

Hot mix asphalt,
Vermiculite,
Bitumen modification,
Marshall stability

Abstract: The world's growing demand for roads has led to concerns of raw materials for the future. Therefore, solution to these concerns are being sought by using other natural flexible pavements or reducing bitumen in the construction of the aggregate and hot mix asphalt (HMA). The purpose of this study with the aim of reducing the use of bitumen or aggregate in hot mix asphalt, usability of the mineral known as vermiculite mica trioctahedral available in our country in flexible pavements was investigated. Optimum bitumen content was calculated by Marshall Stability test in this study. Vermiculite modified bitumen was prepared according to the percentage calculated with optimum bitumen content. HMA prepared with Vermiculite modified bitumen by reducing bitumen as 10 g, Marshall stability value is higher than HMA prepared by adding vermiculite as 10 g and non modified bitumen. In the study, vermiculite is decrease the bitumen content as rate of 8% when used in HMA as bitumen additive. As a result, usability of vermiculite as bitumen additive in HMA is determined.

1. Giriş

Ülkemizde en çok kullanılan üstyapı cinsi esnek üstyapılardır. Esnek üstyapı kaplama, temel ve alt temel olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır. Kaplama tabakasında bitüm ve agrega karışımından oluşan bitümlü sıcak karışım (BSK) kullanılır. Esnek üstyapı kaplamalarında çatlama, çabuk yaşlanma, düşük ve yüksek sıcaklıkta bozulma gibi nedenleri önlemek veya geciktirmek amaçlı değişik modifiye edici katkı maddeleri kullanılmaktadır. BSK'larda en çok kullanılan katkı maddesi olan Stiren-Butadien-Stiren (SBS) polimerinin bitümün elastikiyetini ve

rijitliğini arttırdığı [1], SBS içeriğini arttırmanın kalıcı penetrasyon oranını arttıracacağı [2] tespit edilmiştir. Ayrıca SBS ile birlikte toz halinde atık lastik kullanımının tekerlek izi oluşumunu azaltacağı belirlenmiştir [3]. BSK'larda sık kullanılan diğer katkı malzemesi elastomer katkılı bitümlerdir. Geri dönüştürülmüş etil-vinil-asetat (EVA) ve saf etil-vinil-asetat (EVA) bitüm modifikasyonunda kullanıldığında modifiye bitümlerin yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi ve düşük sıcaklıklarda çatlama riskini azaltmakta olduğunu belirtmiştir [4]. Bitümün otomobil lastiği ve çimento fırın cürufu ile modifikasyonunun asfalt betonunun yorulma süresini önemli ölçüde arttırdığı

belirtmiştir [5,6]. Farklı bir malzeme olan organik esaslı sentetik çinkofosfat bileşiği (OEÇFB) ile modifiyesinin, bitümün reolojik özelliklerini geliştirdiği ve soyulma direncini arttırdığı belirtilmiştir [7]. Sönmüş kireç ve çinko dialkyl dithio fosfat (ZDDP) modifikasyonunun bitümün yaşlanmaya karşı direncini arttırdığı söylenmiştir [8,9]. Organik esaslı magnezyum bileşiğinin, bitümle modifiye edilmesi ile bitümün soyulma direncini arttığı belirlenmiştir [10]. Organik geliştirilmiş vermikülit modifikasyonunun bitümün yaşlanma direncini artıracığı ve katkı malzemesi olarak kullanılabilceği belirtilmiştir [11].

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Bitüm

Çalışmada Isparta Belediyesinden temin edilen 50/70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitümün fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bitümün özellikleri

Test	Ortalama Değerler	Standart
Penetrasyon (25 °C)	50-70	ASTM D5
Alevlenme noktası	180°C	ASTM D92
Yanma Noktası	230 °C	ASTM D92
Yumuşama Noktası	45.5°C	ASTM D36
Süneklik (5 cm / dk)	>100 cm	ASTM D113
Özgül ağırlık	1.030	ASTM D70

2.1.2. Vermikülit

Vermikülit bir çeşit trioktahedral mika minerali olarak bilinir. Hızlı ısıtma ile yapraklara ayrılır ve küçük kurtçuklara benzeyen bir şekil alır. Doğada; oluşumuna ve bulunduğu ortamlara göre toprak, otojenik, metamorfik ve makroskopik olmak üzere dört tipine rastlanmıştır [12]. Bu çalışmada makroskopik tipte vermikülit kullanılmıştır.

Vermikülit, yeşil, sarımsı kahve ve siyah renkte olabilir. Vermikülitin ısıl genişleme olayı henüz tam olarak açıklanamamaktadır. Bunun nedeni, ağırlıkça toplam aynı miktarda su içeren numunelerin dahi farklı oranlarda genişlebilmeleridir. Kimyasal bileşim ve yapraklar arasında bulunan su moleküllerinin hangi bağlarla yapıya tutunduğu genişleme olayını etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Genişleme sonucunda malzemenin yığın yoğunluğu, yaklaşık 10 kat azalarak, 0.8 g/cm³'den 0.08 g/cm³'e düşmektedir. Yığın yoğunluğundaki düşüş, vermikülitin kalitesine ve genişletirmenin yapıldığı fırın performansına bağlı olmakta ve ısıl işlem sonucunda yaklaşık 30 katlık bir genişleme sağlanabilmektedir [13,14].

Vermikülit mineralinin kimyasal bileşen oranları çıkarılan madene göre değişmektedir. Dünyanın üç

büyük vermikülit işletmesi cevher numunelerinin kimyasal bileşenleri Tablo 2'de görüldüğü gibidir.

Tablo 2. Vermikülitlerin kimyasal bileşimleri (Meisinger, 1985)

Bileşim	LİBBY (ABD)	ENOREE (ABD)	PALOBORA (GÜNEY AFRİKA)
	%	%	%
SiO ₂	40.16	39.77	39.37
MgO	20.63	18.32	23.37
Al ₂ O ₃	12.01	13.88	12.08
Fe ₂ O ₃	13.00	12.84	5.45
FeO	--	--	1.17
K ₂ O	5.93	5.11	2.46
CaO	1.54	1.02	1.46
TiO ₂	1.44	2.07	1.25
H ₂ O	5.29	6.99	11.20
TOPLAM	100	100	97.81

Türkiye'de bilinen vermikülit yatakları, en önemlisi Malatya-Darende-Kuluncak olmak üzere, Sivas-Yıldızeli-Karakoç, Eskişehir-Sarıcakaya ve Elazığ-Harpur-Arduçluk bölgelerinde görülmektedir. M.T.A tarafından etüt edilen Malatya-Darende-Kuluncak madenindeki vermikülit numunelerinin genişleme oranları oldukça düşüktür (~2 kat). Bu nedenle cevher ekonomik değere ulaşmamaktadır. Yapılan rezerv hesapları bu madenlerde 6-7 milyon ton arasında değişen muhtemel rezervin olduğunu göstermektedir [15]. Bu çalışmada kullanılan vermikülit Türkiye'deki rezervlerden elde edilmiştir.

2.2 Metot

2.2.1 Marshall stabilite deney yöntemi

Marshall Stabilite deneyinde kullanılan bitüm ve agreganın 170 ± 20 °C'de vizkosite oluşacak şekilde ısıtılacağı sıcaklık, karıştırma sıcaklığıdır. Numuneler 101.6 mm (4 inç) çapında ve 76.2 mm (3 inç) yüksekliğindeki numune kalıbında, 457.2 mm (18 inç) den düşen 4536 gr (10 lb) ağırlığındaki tokmakla her iki yüzüne 75 darbe vurularak sıkıştırılır. Sıkıştırılan numuneler en az bir gece oda sıcaklığında bekletildikten sonra boyları ölçülerek havadaki ağırlığı tartılır. Ölçüm işlemlerinden sonra numuneler 24 saat boyunca sıcaklığı 25°C olan su banyosunda bekletilir. Numuneler suya doymun hale geldikten sonra havadaki ve sudaki ağırlıkları tartılır ve en kötü şartları sağlayabilmek için numuneler 60°C su banyosunda 30 dk bekletilir. 30 dk sonunda numuneler su banyosundan çıkarılır ve yükleme hızı 50.8 mm/dakika olan Marshall stabilite cihazıyla kırılır. Cihazdan Marshall Stabilite ve Akma değerleri okunur. "Marshall Stabilitesi" adı verilen değer numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Kırılma sırasında hareket miktarı ölçülür. Buna "Akma" denir. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agrega boşluğu yüzdesi saptanır [16]. Numune yüksekliği 63.5 mm'den (2 ½ inç) farklıysa

Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır [16].

3. Bulgular

3.1. Marshall stabilite deney yöntemi ile optimum bitüm hesaplama

Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi için Marshall Stabilite deney yöntemi kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerde, agrega gradasyonu sabit tutularak % 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 oranlarında bitüm oranı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına ilişkin grafikler Şekil 1, 2, 3 ve 4'de görülmektedir.

Maksimum stabilite değerini veren numune %4.5 bitüm oranıyla hazırlanan numunedir.

Deney sonucunda sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı en yüksek değeri %5 bitüm içeren numunede bulunmaktadır (Şekil 2).

Şekil 3'de görüldüğü gibi şartnameye uygun olarak bitümlü kaplı agrega boşluğu yüzdesi %80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı % 5.5 olarak bulunmaktadır.

Şekil 4'de görüldüğü gibi hava boşluk oranı 5 olarak bulunmaktadır.

Şekil 1, 2, 3 ve 4'de bulunan dört bitüm oranının ortalaması olan %5 değeri optimum bitüm oranını vermektedir.

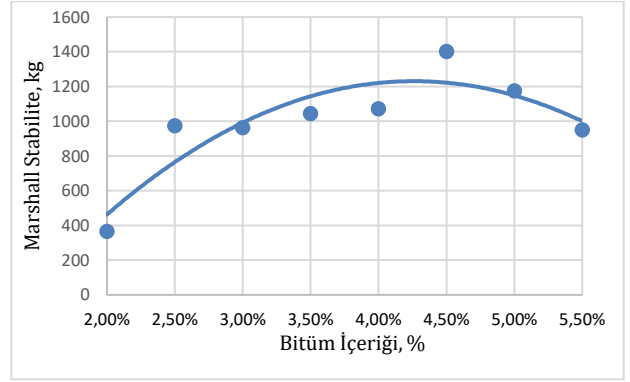
3.2. Vermikülit katkılı numunelere Marshall Stabilite deneyi uygulaması

Deneyde hesaplanan optimum bitüm yüzdesi (%5) kullanılmıştır. Agrega ağırlığı (1245 gr) sabittir. Vermikülitin agregaya katkısına bakmak için numunenin ağırlığı sabit tutularak 10 gr vermikülit eklenmiştir. Bitüme katkısına bakmak için karışımın agrega ağırlığını değiştirmeden bitüm 10 gr azaltılmış yerine 10 gr vermikülit eklenmiştir. Deney için 3 farklı karışımdan 3'er adet numune hazırlanmıştır. Farklı Vermikülit çalışma matrisi Tablo 3'de verilmiştir.

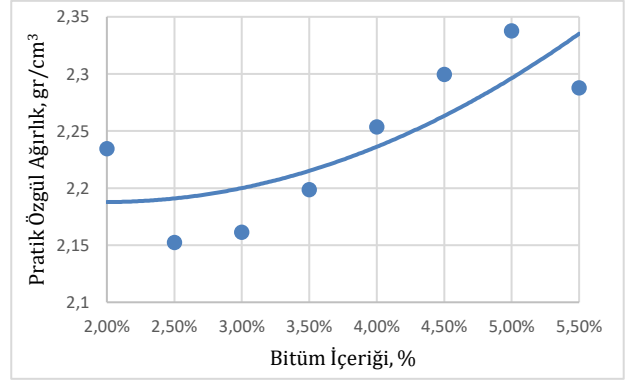
Vermikülit katkısının boşluk oranlarına etkisi Tablo 4'de verilmiştir.

Şekil 5'de görüldüğü gibi 10 gram bitüm azaltıp 10 gram vermikülit eklenerek hazırlanmış vermikülit katkılı numune oldukça iyi bir Marshall Stabilite değeri vermiştir. Fakat numunenin ağırlığı sabit tutularak 10 gram vermikülit eklenerek hazırlanan numunenin Marshall Stabilite değeri düşük çıkmıştır. Bu değerlere bakıldığında vermikülitin agrega katkısı olarak kullanılamayacağı belirlenmiştir.

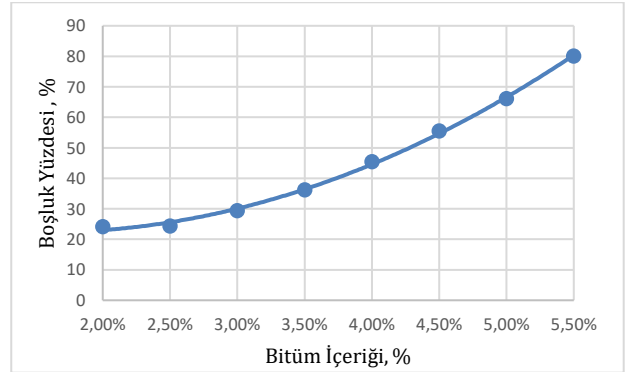
Vermikülit katkısının bitümlü sıcak karışımlara etkisi Şekil 5 ve 6'da görüldüğü gibidir.



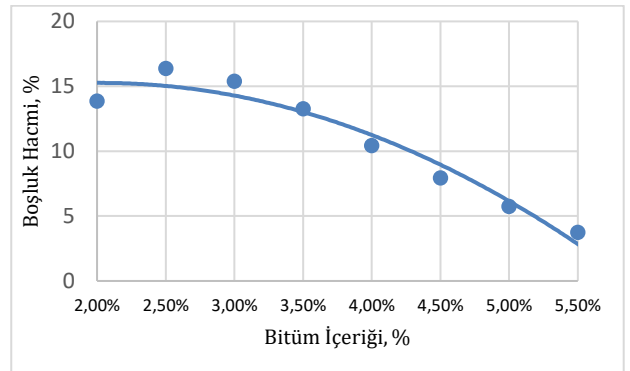
Şekil 1. Karışımın stabilite-bitüm ilişkisi



Şekil 2. Karışımın birim ağırlık-bitüm ilişkisi



Şekil 3. Bitümlü kaplı boşluk yüzdesi-bitüm ilişkisi



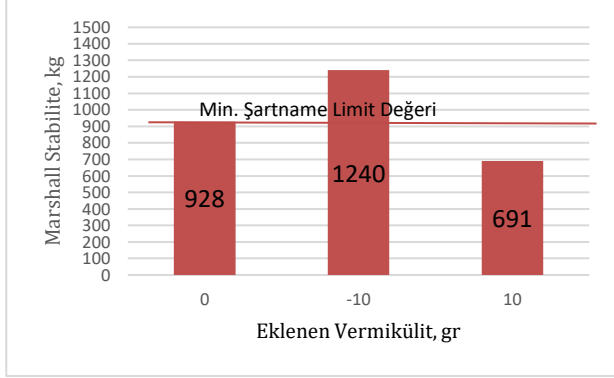
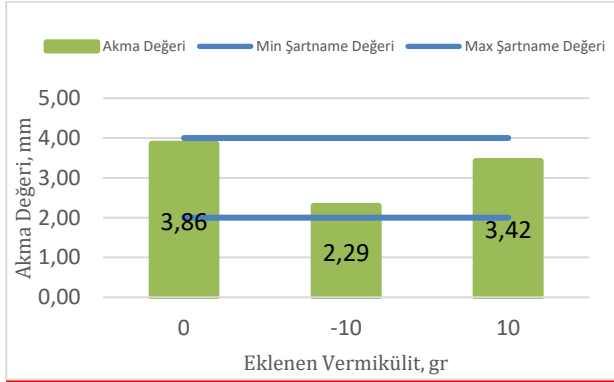
Şekil 4. Karışımındaki boşluk hacmi-bitüm ilişkisi

Tablo 3. Karışımın özellikleri

Kullanılan Bitüm (gram)	Kullanılan Agrega (gram)	Kullanılan Vermikülit (gram)	Karışımın Toplam Ağırlığı (gram)
62.25	1245	0	1307.25
52.25	1245	10	1307.25
62.25	1245	10	1317.25

Tablo 4. Karışımın boşluk oranları

Kullanılan Vermikülit (gram)	Kullanılan Bitüm (gram)	Boşluk Yüzdesi (Vf) (%)	Hava boşluk oranı (Vh) (%)
0	62.25	68	5,3
10	52.25	65	5,6
10	62.25	62	5,7

**Şekil 5.** Marshall Stabilite değeri**Şekil 6.** Akma değeri

Şekil 6'da görüldüğü gibi vermicülit katkı numuneler şartname sınır değerlerini sağlamaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada bitümlü sıcak karışımlarda vermicülit katkı malzemesinin kullanımı Marshall Stabilite deney yöntemi ile araştırılmıştır. Öncelikle optimum bitüm hesaplanmış ve hesaplanan optimum bitüm yüzdesi kullanılarak vermicülit katkı numuneler hazırlanmıştır.

Hazırlanan vermicülit katkı numunelere Marshall Stabilite deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda 10 gram bitüm azaltılıp, azaltılan bitümün yerine 10 gram vermicülit eklenerek hazırlanan karışımın 1240 kg Marshall Stabilite değeri verdiği görülmüştür. Karışımın ağırlığı sabit tutularak 10 gram vermicülit eklenen numunenin Marshall Stabilite değerini düşürdüğü görülmüştür. Dolayısı ile vermicülitin agrega katkısı olarak kullanıldığında düşük Marshall Stabilite değeri verdiği görülmüştür. Fakat 10 gr bitüm azaltarak hazırlanan numunenin yüksek Marshall Stabilite değeri verdiği görülmüştür. Çalışma sonucunda vermicülitin BSK'larda bitüm katkısı olarak kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Çalışmada vermicülitin bitüme katkı olarak kullanılması durumunda, BSK'larda bitüm kullanımını %8 oranında azaltılabileceği ve katkı malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Gelecekte yapılması planlanan çalışmalarda maliyet analizi yapılması fayda sağlayacaktır. Sonraki çalışmalarda kullanılabilmesi açısından gerekli testlerden soyulma, cıllanma gibi deneylerin de yapılması faydalı olacaktır.

Kaynakça

- [1] Airey, G.D., 2003. Rheological Properties of Styrene Butadiene Strene Polymer Modified Road Bitumens. Fuel, 82(14), 1709-1719.
- [2] Ahmedzade, P., Yılmaz, M., 2007. Stiren-Butadien-Stiren Modifikasyonunun Bitümlü Bağlayıcıların Isı Duyarlılığı, Rijitlik ve Yaslanma Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Süleyman Demirel Üniv. Fen Bil. Der., 11(3), 232-238.
- [3] Navarro, F.J., Partal, P., Martinez-Boza, F., Valencia, C., Gallegos, C., 2002. Rheological Characteristics of Ground Tire Rubber-Modified Bitumens. Chemical Engineering Journal, 89,53-61.
- [4] Gonzales, O., Munoz, M.E., Santamaria, A., Garcia-Morales, M., Navarro, F.J., Partal, P., 2004. Rheology and Stability of Bitumen/EVA Blends. European Polymer Journal, 40(10), 2365-2372.
- [5] Çelik, O.N., 2001. The Fatigue Behaviour of Asphaltic Concrete Made with Waste Shredded Tire Rubber Modified Bitumen, Turk J Engin and Environ Sci, 25, 487-495.
- [6] Nejad, M.F., Aghajani, P., Modarres, A., Firoozifar, H., 2012. Investigating the properties of crumb rubber modified bitumen using classic and SHRP testing methods. Construction and Building Materials, 26, 481-489.
- [7] Arslan, D., Gürü, M., Çubuk, M.K., Çubuk M., 2011. Improvement of Bitumen and Bituminous Mixtures Performances by Triethylene Glycol Based Synthetic Polyboron. Construction and Building Materials, 25(10), 3863-386.
- [8] Ouyang, C., Wang, S., Zhang, Y., Zhang, Y., 2006. Improving the Aging Resistance of Asphalt by Addition of Zinc Dialkyldithiophosphate. Fuel, 85, 1060-1066.
- [9] Yao, Hui., Dai, Qingli., You, Zhanping., 2015. Chemo-physical analysis and molecular dynamics (MD) simulation of moisture susceptibility of nano hydrated lime modified asphalt mixtures. Construction and Building Materials, 101,536-547.
- [10] Çubuk, M., Gürü, M., Çubuk, M.K., Arslan, D., 2013. Bitümün Özelliklerinin Organik Esaslı Magnezyum Katkı Maddesi ile

Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28, 257-2.

- [11] Zhang , H., Xu, H., Wang, X., Yu, J. 2013. Microstructures and thermal aging mechanism of expanded vermiculite modified bitumen. Construction and Building Materials, 47, 919-926.
- [12] Toksoy, F., 1997. Vermikülit: Mineraloji, Jeolojik Oluşum, Endüstriyel Kullanım ve Türkiye'deki Durumu. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, 16-17 Ekim, İzmir, 123-139.
- [13] Strand, P. R., (1983). Vermiculite. Lefond, S. J. AIME. (Ed.), Industrial Minerals And Rocks (1375-81), SME, United States Loughbrough, R., 1991. Minerals in Lightweight Insulation:Filling the Market. Industrial Minerals, October, 21-35.
- [14] Aras, A. 1984. Malatya-Darende-Kuluncak-Darın vermicülit zuhuru jeoloji raporu, MTA Rap. No.1725.
- [15] ASTM D 1559-89, 1992. Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Annual Book of ASTM Standards USA.
- [16] Umar, F., Ağar, E., 1991. Yol Üst Yapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 339, İstanbul