

DIATOMİT'İN TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMINDA KULLANILMASI

A.Gürkan GÜNGÖR¹, Fatma ORHAN¹, Serdar KAŞAK¹, M.Kürşat ÇUBUK²

ÖZET

Ülkemizde yolcu taşımacılığının % 95' i ve yük taşımacılığının yaklaşık % 90' ı karayolları üzerinde yapılmaktadır. Bununla birlikte yollarımızda; artan trafik hacmi, aşırı yükleme, iklim ve yapım koşullarından gelen olumsuz etkiler de eklendiğinde yorulma, tekerlek izi oluşumu ve ondülasyon gibi kalıcı deformasyonlar oluşmaktadır. Taş Mastik Asphalt (TMA) karışımları diğer sıcak karışım çeşitlerine göre sıcak iklim koşullarında ve ağır trafik yükleri altında iyi davranış gösterdiği söylenebilir. Bu açıdan, TMA kullanımı, kaplamanın performansını artırmada önemli bir etkidir. Daha üstün TMA tipleri geliştirerek ve kullanımını yaygınlaştırarak, kaplamaların ömrü uzatılabilir.

Bu amaçla, TMA karışımına %3 oranında diatomit, filler olarak eklenmiş ve fiber ilavesi yapılmadan TMA karışımının özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada, diatomit malzemenin TMA karışımındaki etkisi araştırılmıştır. Normal TMA ile diatomit katkılı TMA karışımların performansları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, önce normal TMA ve diatomitli TMA karışım dizaynları hazırlanmıştır. İki tip TMA karışımı üzerinde; plastik deformasyonlara karşı davranışı belirleyen tekerlek izinde oturma tayini (TİO), yorulma ömrünün tespiti için dört nokta eğilmeli kiriş eğme yöntemi ile yorulma (Fatigue) deneyleri ve sudan kaynaklanan bozulmalara karşı dayanımı belirleyen İndirek Çekme Mukavemeti (İÇM) deneyleri yürütülmüştür(1).

1. GİRİŞ

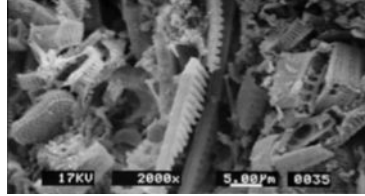
1999 yılından beri ülkemizde TMA karışımları kullanılmaktadır. Genellikle ağır trafikli otoyollarımızın yapım ve onarım işlerinde aşınma tabakası olarak TMA uygulanmaktadır. Bilindiği üzere TMA karışımlar zengin bitümlü mastik harç içerdiğinden mastik kısmın iri agregadan ayrılmasını ve bitümün süzülmesini önlemek amacıyla düşük oranda fiber TMA karışımına eklenmektedir(5). Bu çalışmada, diatomit agrega, TMA karışımının segregasyonunun ve zengin bitümün süzülmesinin önlenmesindeki etkisini görmek amacıyla, filler olarak karışıma eklenmiş ve karışımların performanslarına bakılmıştır. Ayrıca kıyaslama amacıyla fiberli TMA karışımlarında da aynı performans deneyleri yürütülmüştür.

1. İnş. Yük. Müh. KGM, TADB, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara
2. Doç. Dr., Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

2. MALZEMELER VE DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Diatomitin Özellikleri

Diatomit, algler sınıfından su canlıları olan diatomellerin silisli kabuklarının birikimiyle oluşmuş fosil karakterli bir sedimanter kayadır. Aktif diatomit üretiminde kullanılan hammadde Almanca “Kieselgur”, veya İngilizce “Diatomite” olarak adlandırılan endüstriyel bir mineraldir. Diatomit açık sarı renkten kahverengiye kadar çeşitli renklerde bulunabilir. Genel olarak taşın yüzeyi parlak beyaz renktedir. Materyal yumuşak, ince granüler ve yer yer daha az olarak pudra tozu halinde bulunur. Diatomitin mikro yapısı Şekil-1’de verilmiştir(7). Diatomitin yüksek gözenekliliğe sahip olması, yapısında bulunan nem ve su emme değerlerini yükseltmektedir(2). Doğada bulunduğu şekli ile diatomit aşırı miktarda su içerir ki bu % 10 ile % 60 arasında değişir. Diatomitin en önemli kullanım alanı süspansiyon halindeki katı tanecikleri sıvılardan ayırmak amacıyla uygulanan filtrasyon işlemidir. Diatomitin ikinci büyük kullanım alanı ise fonksiyonel dolgu işlemleridir. Burada kullanılan dolgu malzemesi nihai mamulün özelliklerini geliştirerek performansını artırmaktadır. Bu amaç için diatomitin hafiflik, dayanıklılık, kimyasal inörtlük, ısı-ses-elektrik izolasyon kabiliyeti, yüksek gözeneklilik (% 85-90 gözeneklilik derecesine sahip) ve emicilik özelliklerinden yararlanılmaktadır(6). Diatomitin fonksiyonel dolgu işlemi için kullanıldığı en önemli uygulamalar boya, plastik, lastik, kağıt, ilaç, kozmetik, cila, kibrit, diş macunu ve kimya sanayileridir. Diatomitler kendi ağırlıklarının 3-4 katı kadar sıvı emebildikleri için kedi, köpek vb hayvanların idrar atıklarını çok iyi absorbe etmek amacı ile de kullanılır. Kullanılan Diatomite ait kimyasal özellikler Tablo-1’de verilmiştir.



Şekil 1: Diatomitin Mikro Yapısı

| İçerik,% | Ankara Diatomiti |
|--------------------------------|------------------|
| SiO ₂ | 88,32 |
| Al ₂ O ₃ | 3,47 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,48 |
| CaO | 0,42 |
| MgO | 0,26 |
| Na ₂ O | 0,17 |
| K ₂ O | 0,28 |
| TiO ₂ | 0,18 |
| P ₂ O ₅ | 0,10 |

Tablo 1: Ankara Diatomitinin Kimyasal Özellikleri

2.2. Bitüm ve Agreganın Özellikleri

Deneylerde Kırıkkale rafinerisi üretim B50/70 sınıfı bitüm ile çalışılmıştır. Bitüm deneyleri TS 1081 EN 12591 ve Performans Sınıfı (PG) standartlarına göre yapılmıştır. Bitüm özellikleri Tablo-2 ve Tablo-3' verilmiştir.

| Deney İsmi | Standart | Deney Sonucu |
|----------------------------------|----------------|--------------|
| Penetrasyon (25°C)0,1mm | TS EN 1426 | 68 |
| Yumuşama Noktası, (R/B)°C | TS EN 1427 | 49 |
| Parlama Noktası , °C | TS EN ISO 2592 | 260+ |
| Çözünürlük | TS EN 12592 | 99,4 |
| Yoğunluk | TS 1087 | 1,025 |
| İnce Film Halinde Isıtma | TS EN 12607-2 | |
| -Kütle Kaybı, % | | 0,1 |
| -Yumuşama Noktası Yükselmesi, °C | TS EN 1427 | 4 |
| -Penetrasyondaki düşüş, % | TS EN 1426 | 16 |

Tablo 2: Bitümün fiziksel özellikleri

| | Özellikler | Sonuçlar | | |
|----------------|-------------------------------------|--------------|---------|---------|
| Orijinal Bitüm | Penetrasyon (25°C)0,1mm | 68 | | |
| | Yumuşama Noktası, (R/B)°C | 49 | | |
| | Brookfield Viskozite 135°C,20rpm | Pa.s | 0,373 | |
| | DSR (G*/sinδ>1kPa) | Fail Temp. | 66,8 | |
| Sınıf | | 64 | | |
| RTFOT | Kütle Kaybı | % | 0,1 | |
| | DSR (G*/sinδ >2,2 kPa) | Fail Temp. | 67,6 | |
| | | Sınıf | 64 | |
| PAV | DSR (G* sinδ <5000 kPa) | Fail Temp. | 20,3 | |
| | | Sınıf | 22 | |
| | BBR | | S (MPa) | m-value |
| | Sıcaklık (S≤300MPa m≥0,300) | -12 °C | 179 | 0,302 |
| | | | 136 | 0,338 |
| | | -18 °C | 287 | 0,278 |
| 272 | | | 0,274 | |
| PG | | 64-22 | | |

Tablo 3: Bitümün PG (Performance Grade) sınıfı

Çalışmada, karışım dizaynı ve deneyleri için bazalt taş ocağından üretilen kırmataş agregalar kullanılmıştır. Agregaların özellikleri ile dizayn değerleri Tablo-4 ve Tablo-5’ de verilmiştir. Fiberli TMA karışımına %5 oranında kireçtaşı filler, Diatomitli TMA karışımına ise %2 oranında kireçtaşı filler ve %3 oranında diatomit filler ilave edilmiştir.

| Deney Adı | Standart | Deney Sonucu |
|-------------------------------|-----------------|---------------------|
| Los Angeles Aşınma Kaybı, (%) | ASTM C 131 | 11,7 |
| Sağlamlık, (%) | AASHTO T 104 | 2,0 |
| Cilalanma Değeri | TS EN 1097-8 | 53 |
| Su absorpsiyonu, (%) | AASHTO T 85 | 1,2 |
| Yassılık İndeksi, (%) | BS 812 | 24,5 |

Tablo 4: Agreganın Fiziksel Özellikleri

| Elek Açıklığı | | %, Geçen | |
|----------------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|
| inch | mm | Dizayn Gradasyonu | TMA Tip-1 Şartname Limitleri |
| ¾ | 19,1 | 100 | 100 |
| ½ | 12,7 | 95,0 | 90-100 |
| 3/8 | 9,5 | 62,0 | 50-75 |
| No.4 | 4,75 | 33,0 | 25-40 |
| No.10 | 2,00 | 23,0 | 20-30 |
| No.40 | 0,42 | 15,0 | 12-22 |
| No.80 | 0,177 | 12,0 | 9-17 |
| No.200 | 0,075 | 9,0 | 8-14 |

Tablo 5: TMA dizayn gradasyonu ve şartname limitleri

2.3. Laboratuvar Deneyleri

İlk olarak, her iki TMA karışım için Marshall yöntemine göre karışım dizaynı hazırlanmıştır. Bir karışım dizaynında %0.45 oranında fiber, diğer karışım dizaynında %3 oranında diatomit filler eklenmiş ve fibersiz olarak hazırlanmıştır. Ayrıca %4 ve %5 oranlarında diatomit filler ilavesi ile de dizaynlar hazırlanmış ancak işlenebilirlik zorlaşmış ve bitüm oranı çok artmıştır. Bu nedenle, %3 diatomit uygun oran olarak seçilmiştir. Kullanılan diatomit, etüvde kurutulduktan sonra kırılmış ve No.200 elekten elenmiştir. Şartname dizayn kriterleri ve TMA dizayn değerleri Tablo-6 ve Tablo-7’de verilmiştir(3).

| Özellikler | Şartname Limitleri |
|--|--------------------|
| Darbe Sayısı | 50 |
| Hava Boşluğu, (%) | 2-4 |
| Sıcak Bölgeler İçin hava boşluğu, (%) | 3-4 |
| Agregalar Arası Boşluk (VMA), (%) min., | 16 |
| Tekerlek İzi Derinliği (30 000 cycles, 60°C), (%), maks. | 6 |
| Fiber Oranı, % | 0,3 – 1,5 |
| Schellenberger bitüm süzülme deneyi, (%), maks. | 0,3 |

Tablo 6: TMA Tip-1 Dizayn Kriterleri

| Dizayn Değerleri | Karışım Tipi | |
|--|-----------------|-----------------|
| | Fiber % 0,45 | Diatomit % 3 |
| Optimum Bitüm, % | 6,55 | 6,45 |
| Pratik yoğunluk, Dp | 2,467 | 2,464 |
| Stabilite, (Kg) | 647 | 620 |
| Akma, (mm) | 3,20 | 3,05 |
| Asfaltla dolu boşluk (VFA),% | 81,2 | 79,9 |
| Hava Boşluğu (Vh),% | 3,11 | 3,27 |
| Agregalar arası boşluk (VMA),% | 16,55 | 16,74 |
| Schellenberger bitüm süzülme deneyi, (%) | 0,104 | 0,279 |

Tablo 7: Marshall Dizayn Sonuçları

2.4. Performans Deneyleri

Dizayndan sonraki aşamada, her iki TMA karışımı üzerinde aşağıda verilen performans deneyleri yapılmıştır.

1-Sıkıştırılmış Bitümlü Sıcak Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci (AASHTO T283),

2-Bitümlü Karışımlar-Sıcak Asfalt Karışımların Deney Yöntemleri Bölüm-22: Tekerlek İzi (TS EN 12697-22),

3-Bitümlü Karışımlar-Sıcak Asfalt Karışımların Deney Yöntemleri Bölüm-24: Yorulmaya Dayanım (TS EN 12697-24)

Çekme dayanımı deneyinde sıkıştırılmış TMA karışımları; donma-çözülme döngüsü ile koşullandırılmıştır. TMA karışımlarının tekerlek izi oluşumuna karşı hassasiyetleri 60°C sıcaklıkta ve LCPC tekerlek izi, büyük boy cihaz ile 50 000 döngüye kadar yapılmıştır.

TMA karışımlarının yorulma ömürleri, dört-nokta-eğilmeli tekrarlı yorulma deneyi ile dikdörtgen prizma kırışlar ile belirlenmiştir. Yorulma deneyleri; üç farklı birim deformasyon seviyesinde ve 20°C sıcaklıkta yapılmıştır.

3. SONUÇLAR

Araştırma çalışmasının amacı, hem diatomitin TMA karışımına etkisini hem de diatomitli TMA karışımının laboratuvar performansını tespit etmektir. Diatomit eklenmiş TMA karışımı ile fiber eklenmiş TMA karışımı kıyaslandığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

- Her iki TMA karışımının da optimum bitüm içeriği ve hava boşluğu değerleri yaklaşık olarak aynıdır (Tablo-7).

- Diatomit oranının, optimum bitüm içeriğini etkilediği görülmüştür. Diatomit oranı arttıkça bitüm miktarı artmaktadır(4).

-Koşullu ve koşulsuz çekme dayanımları ile çekme dayanımı oranı değerleri benzer bulunmuştur (Tablo-8).

- Her iki TMA karışımında tekerlek izinde oturma davranışı birbirinden çok farklı değildir. Karışımların, 30 000 döngüden sonraki tekerlek izi derinliği 5,69 ve 5,55 olarak bulunmuş ve kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür (Tablo-9 ve Şekil-2).

- TMA karışımlarının yorulma deneyleri 200, 300 ve 500x10⁻⁶ birim deformasyon seviyelerinde yapılmıştır. Yorulma deneyleri sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

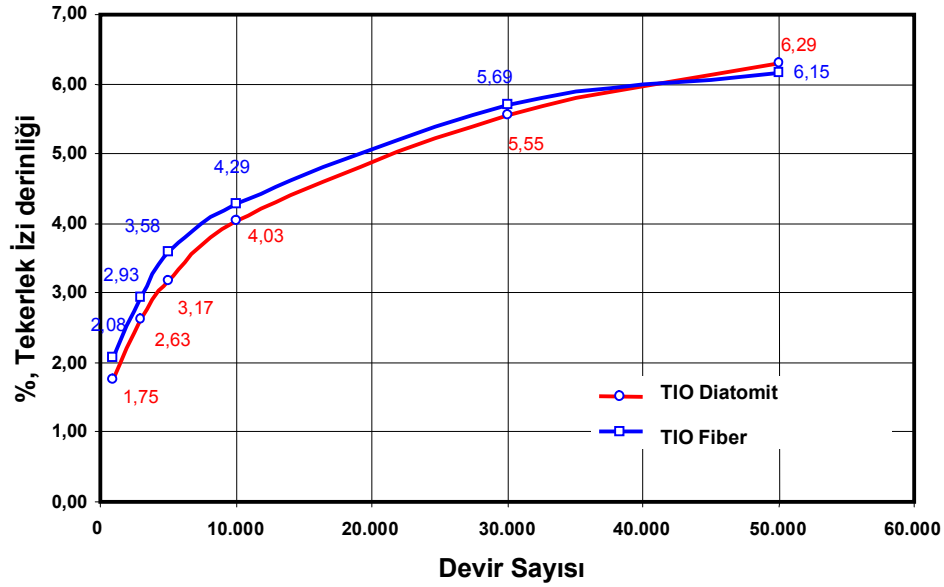
Fiberli TMA karışımı, diatomitli karışımdan daha uzun yorulma ömrüne sahiptir (Şekil-3). Deney standardına göre yorulma deneyi, başlangıç stiffness değeri yarıya düşene kadar, numune kırılana kadar ya da 2x10⁶ döngüye kadar her birim deformasyonda devam etmektedir. Fiberle TMA karışımında harcanan toplam enerjinin daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil-6). Diatomitli TMA daha kısa yorulma ömrüne sahip olmasına karşı başlangıç stiffness değeri bir miktar daha yüksek belirlenmiştir (Şekil 4-5).

| Karışım Tipi | % 3 Diatomitli Karışım | % 0,45 Fiberli Karışım |
|---|------------------------|------------------------|
| Koşullandırılmış Briketlerin Ortalama İÇM Değeri, (kg/cm ²) | 5,01 | 5,48 |
| Koşulsuz Briketlerin Ortalama İÇM Değeri, (kg/cm ²) | 5,80 | 6,19 |
| Koşullu/Koşulsuz İÇM oranı | 0,86 | 0,89 |
| | | |
| Koşullu Diatomitli İÇM / Koşullu Fiberli İÇM oranı | 5,01 / 5,48= 0,91 | |
| Koşulsuz Diatomitli İÇM / Koşulsuz Fiberli İÇM oranı | 5,80 / 6,19= 0,94 | |

Tablo 8: İÇM deney sonuçları

| Karışım Tipi | | % 3 Diatomitli Karışım | % 0,45 Fiberli Karışım |
|---------------------------|--------------|------------------------|------------------------|
| Optimum Bitüm, % | | 6,45 | 6,55 |
| Dp dizayn | | 2,464 | 2,467 |
| Dp numune | | 2,400 | 2,392 |
| %, Tekerlek İzinde Oturma | Devir Sayısı | TİO | TİO |
| | 1 000 | 1,75 | 2,08 |
| | 3 000 | 2,63 | 2,93 |
| | 5 000 | 3,17 | 3,58 |
| | 10 000 | 4,03 | 4,29 |
| | 30 000 | 5,55 | 5,69 |
| | 50 000 | 6,29 | 6,15 |

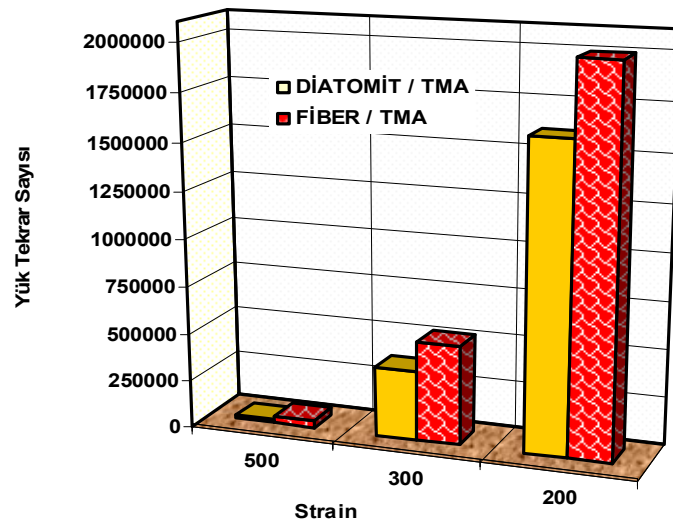
Tablo 9: TİO deneyi sonuçları



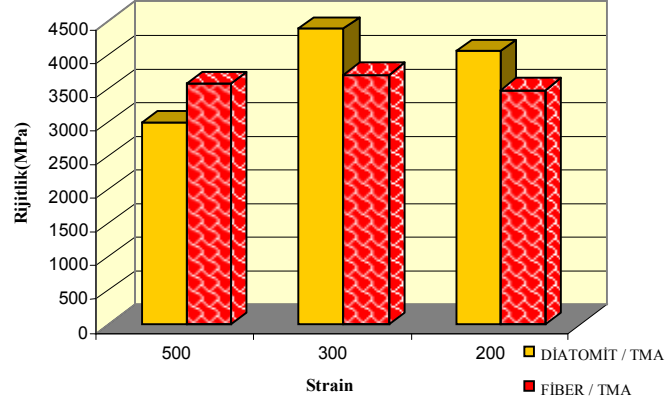
Şekil 2: Karışım tiplerine göre Tekerlek İzinde oturma Deneyi Sonuçları

| Diatomitli Grup | Uygulanan Strain | Başlangıç Rijitliği (Mpa) | Deney Sonu Rijitlik (Mpa) | Rijitlik %'si Değişimi | Harcanan Toplam Enerji (MJ/m ³) | Deney Sonu Yük Tekrar Sayısı |
|-----------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---|------------------------------|
| No:1 | 500 | 3103 | 1547 | 50 | 8,74 | 28 468 |
| No:4 | 500 | 2892 | 1442 | 50 | 6,50 | 24 306 |
| Ortalama | 500 | 2998 | 1495 | 50 | 7,62 | 26 387 |
| No:2 | 300 | 4689 | 2377 | 50 | 48,11 | 367 040 |
| No:5 | 300 | 4110 | 2030 | 50 | 45,04 | 386 033 |
| Ortalama | 300 | 4400 | 2204 | 50 | 46,58 | 376 537 |
| No:3 | 200 | 3939 | 1957 | 50 | 80,36 | 1 600 903 |
| No:6 | 200 | 4193 | 1964 | 50 | 74,42 | 1 625 896 |
| Ortalama | 200 | 4066 | 1961 | 50 | 77,39 | 1 613 400 |
| Fiberli Grup | Uygulanan Strain | Başlangıç Rijitliği (Mpa) | Deney Sonu Rijitlik (Mpa) | Rijitlik %'si Değişimi | Harcanan Toplam Enerji (MJ/m ³) | Deney Sonu Yük Tekrar Sayısı |
| No:1 | 500 | 3521 | 1763 | 50 | 14,36 | 41 856 |
| No:4 | 500 | 3649 | 1816 | 50 | 18,72 | 54 526 |
| Ortalama | 500 | 3585 | 1790 | 50 | 16,54 | 48 191 |
| No:2 | 300 | 3685 | 1825 | 50 | 65,05 | 599 533 |
| No:5 | 300 | 3754 | 1850 | 50 | 53,02 | 458 914 |
| Ortalama | 300 | 3720 | 1838 | 50 | 59,04 | 529 224 |
| No:3 | 200 | 3843 | 2598 | 68,0 | 110,43 | 2 000 000 |
| No:6 | 200 | 3131 | 2233 | 71,3 | 98,65 | 2 000 000 |
| Ortalama | 200 | 3487 | 2416 | 69,7 | 104,54 | 2 000 000 |

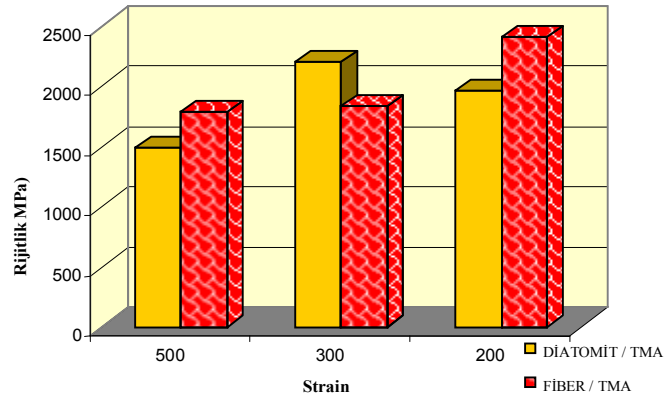
Tablo 10: Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) sonuçları



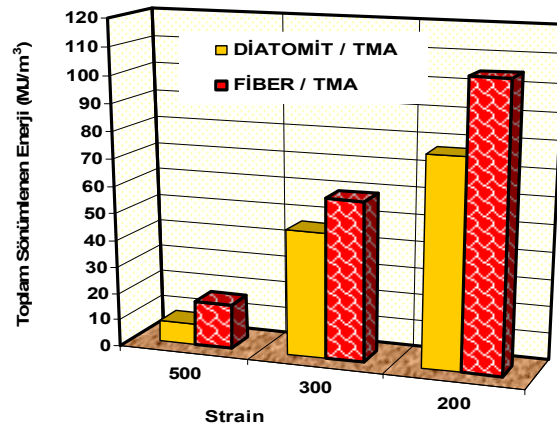
Şekil 3: TMA karışımlarının Strain değişimindeki yük tekrar sayısı



Şekil 4: TMA karışımların deney başlangıç rijitlik değerleri



Şekil 5: TMA karışımların deney sonu rijitlik değerleri



Şekil 6: Strain değişimlerine göre toplam sönümlenen enerji

4. DEĞERLENDİRME

Sonuç olarak, her iki tip TMA karışımı, çekme dayanımı, sudan kaynaklanan hasarlara karşı davranış ve tekerlek izine karşı dayanım yönünden yaklaşık olarak benzer davranış göstermiştir. Fiberli TMA yorulmaya karşı daha iyi performansa sahiptir, özellikle 200×10^{-6} birim deformasyon seviyesinde, 2×10^6 döngüye kadar başlangıç stiffness değerinin %70'ini korumuştur. Diatomitli TMA'nın yorulma davranışı iyileştirmek için daha düşük oranda diatomitli karışımlar incelenmelidir.

Sonuçta, mineral filler olarak diatomitin TMA'da kullanımı için yolda denenerek performansı gözlenmelidir. Ülkemiz için diatomitli TMA karışımının maliyeti fiberli TMA'ya göre daha düşüktür, ancak ileriki uygulamalar için ömür döngü maliyet analizi yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Kaşak S. –Taş Mastik Asfalt Karışımında Katkı Maddesi Olarak Fiber Yerine Diatomit'in Uygulanabilirliğinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007
2. Çubuk, K., M., - Effects Of Diatomite On Physical Properties Of Asphalt Cement And Stability And Modulus Of Elasticity Of Hot-Mix Bituminous Laboratory Specimens, 3 rd Europhalt&Eurobitume Congress Vienna 2004-Paper 181
3. Karayolları Teknik Şartnamesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No:267, Ankara, 2006.
4. Çubuk, K., M., “Katkı Maddesi Olarak Diatomit'in, Bitümlü Sıcak Karışımların Davranışları Üzerine Etkileri”, Ph. D.Thesis, Gazi University Institute Of Science And Technology, Ankara, 1998
5. “Heavy Duty Surfaces, The Arguments For SMA”, EAPA, The Netherlands, 1998
6. Bates, R. L., “Geology of the Industrial Rocks and Minerals”, Dover Publications INC., New York, 1969
7. Aruntaş, Y. H., Albayrak, M., Saka, A. H., Tokyay, M., “Ankara-Kızılcahamam Ve Çankırı-Çerkeş Yöresi Diatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması”, Tr.J.of Engineering and Environmental Science 22, Ankara, 1998