

# **BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN UÇUCU KÜLÜN FİLLER OLARAK KULLANIMI SONUCU MEKANİK ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ**

Serkan TAPKIN  
Yard. Doç. Dr.  
Anadolu Üniversitesi  
Eskişehir  
serkan.tapkin@gmail.com

## **GİRİŞ**

Filler (doğal veya suni) bitümlü sıcak karışımların özelliklerini birkaç şekilde etkilemektedir. Bu etkiler şu şekilde sıralanabilir:

1. asfalt çimentosunu sertleştirebilmekte
2. asfalt çimentosunu genişletirebilmekte (bitüm genişmesi olarak da adlandırılabilir)
3. asfalt karışımının neme karşı dayanımını etkileyebilmekte
4. asfalt karışımının yaşlanma özelliklerini etkileyebilmekte
5. asfalt karışımının işlenebilirlik ve sıkıştırılabilirlik özelliklerini etkileyebilmektedir [1].

Agregaları saran bitüm filminin kalınlığından daha kaba olan filler fraksiyonu agregaların kenetlenme mekanizmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bitüm filmi kalınlığından daha ince olan filler kısmı ise bitüm içerisinde asılı kalmakta ve karışımın bağlayıcılık özelliğine hizmet etmektedir. Filler bitümü genişletirebilir ve böylece karışımdaki efektif asfalt miktarı artabilir [1]. Bitüm içerisinde mevcut bulunan fillerin iki tip sertleştirici etkisi vardır. Bunlar:

1. fillerin hacim kaplamasından dolayı kaynaklanan ve göreceli olarak küçük olan etki
2. bitüm ve fillerin yüzeyi arasındaki fiziko-kimyasal etkileşimden dolayı kaynaklanan ve göreceli olarak büyük olan etki [2].

Uçucu külün asfalt karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılması yeni bir olgu değildir. Günümüze değin fillerin asfalt karışımlarda kullanımı ile ilgili olarak son derece çeşitli çalışmalar yapılmıştır [3].

## **DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **Malzeme Özellikleri**

Deneysel çalışmalarda kalker bazlı agrega kullanılmıştır. Bitüm ise 60/70 penetrasyondur (Tablo 1). Modifiye edilmiş olan karışımların hazırlanmasında üç tip uçucu kül (ki bunlar Soma (F tipi), Çayırhan (F tipi) ve Kangal (C tipi) dir), kireç ve Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu modifikasyon ağırlık bazında yapılmıştır. Kaba, ince agreganın ve altı değişik tip fillerin temel fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2,3,4 ve 5 de verilmektedir. Agrega gradasyonu ise Karayolları Teknik Şartnamesi Tip 3 aşınma tabakası sınır değerlerinin ortalamaları alınarak belirlenmiştir ve Tablo 6'da görülebilir [3].

Tablo 1. Bitümün fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	Standart
Penetrasyon, 25°C, 1/10 mm	62.0	ASTM D 5-73
Penetrasyon İndisi	+ 1.0	-
Düktilite, 25°C, cm	> 100	ASTM D 113-79
Isınma kaybı, %	0.053	ASTM D 6-80
Özgül ağırlık, 25°C, kg/m <sup>3</sup>	1033	ASTM D 70-76
Yumuşama noktası, °C	57	ASTM D 36-76
Parlama noktası, °C	257	ASTM D 92-78
Yanma noktası, °C	295	ASTM D 92-78

Tablo 2. Kullanılan kaba agreganın fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer	Standart
Hacim özgül ağırlık, kg/m <sup>3</sup>	2754	ASTM C 127-80
Zahiri özgül ağırlık, kg/m <sup>3</sup>	2821	ASTM C 127-04
Su emme, %	0.26	ASTM C 127-04

Tablo 3. Kullanılan ince agreganın fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer	Standart
Hacim özgül ağırlık, kg/m <sup>3</sup>	2741	ASTM C 128-79
Zahiri özgül ağırlık, kg/m <sup>3</sup>	2821	ASTM C 128-79
Su emme, %	1.43	ASTM C 128-79

Tablo 4. Kullanılan uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları. (UK: uçucu kül, LoI: ısınma kaybı)

Oksitler (%)	Soma UK (F tipi)	Çayırhan UK (F tipi)	Kangal UK (C tipi)
SiO <sub>2</sub>	50.48	49.74	27.92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.64	14.70	11.96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.80	9.04	5.14
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	82.92	73.48	45.02
CaO	13.08	13.64	37.86
MgO	1.30	5.10	2.60
SO <sub>3</sub>	0.97	3.64	12.10
Na <sub>2</sub> O	0.30	2.10	0.40
K <sub>2</sub> O	2.00	1.20	0.80
Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub>	1.62	2.89	0.93
LoI	1.07	2.44	3.15

Tablo 5. Değişik tipteki fillerlerin özgül ağırlık değerleri

Filler tipi	Değer	Standart
Kalker bazlı filler, kg/m <sup>3</sup>	2632	ASTM D854-83
Soma uçucu külü, kg/m <sup>3</sup>	2105	ASTM D854-83
Çayırhan uçucu külü, kg/m <sup>3</sup>	2194	ASTM D854-83
Kangal uçucu külü, kg/m <sup>3</sup>	2525	ASTM D854-83
Kireç, kg/m <sup>3</sup>	2315	ASTM D854-83
Portland çimentosu, kg/m <sup>3</sup>	3060	ASTM D854-83

Tablo 6. Kullanılan Tip 3 aşınma tabakasının gradasyonu.

Elek boyutu, mm	Gradasyon limitleri, %	% Geçen
12.7	100	100
9.52	87-100	93.5
4.76	66-82	74
2.00	47-64	55.5
0.42	24-36	30
0.177	13-22	17.5
0.074	4-10	7
Tava	-	-

### Marshall Dizaynı

Tablo 7 ila 12 arasındaki 6 tablo yürütülmüş olan altı değişik Marshall dizaynlarında elde edilen fiziksel ve mekanik karışım özelliklerini vermektedir. Bu tablolarda görülen her bir üçer adet numunenin averaj değerlerini içermektedir [3].

Tablo 7. Kalker tipi filler için fiziksel ve mekanik karışım özellikleri

Bitüm Yüzdesi	V.M.A. (%)	Hava Boşluğu (%)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Stabilite (kg)	Akm a (mm)	Marshall Oranı
2.5 %	17.875	11.882	2235	1254	2.01	623.9
3.0 %	17.241	10.546	2298	1496	2.14	699.1
3.5 %	16.640	9.136	2329	1850	2.28	811.4
4.0 %	15.474	6.762	2373	2109	2.46	857.3
4.5 %	14.063	4.084	2424	2396	2.60	921.5
5.0 %	14.317	3.249	2429	2034	2.75	739.6
5.5 %	14.234	2.037	2443	1926	3.65	527.7
6.0 %	14.752	1.516	2439	1574	3.89	404.6
6.5 %	15.141	0.858	2440	1345	5.11	263.2
7.0 %	15.905	0.653	2429	1087	6.15	176.7

Tablo 8. Soma (F tipi) uçucu külü için fiziksel ve mekanik karışım özellikleri

Bitüm Yüzdesi	V.M.A. (%)	Hava Boşluğu (%)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Oranı
2.5 %	17.680	12.155	2247	1388	2.27	611.5
3.0 %	17.573	10.979	2261	1717	2.32	740.1
3.5 %	17.201	9.512	2282	2207	2.40	919.6
4.0 %	16.724	7.919	2306	2385	2.31	1032.5
4.5 %	16.180	6.238	2332	2649	2.16	1226.4
5.0 %	15.987	4.941	2349	2476	2.41	1027.4
5.5 %	15.520	3.325	2373	2432	2.40	1013.3
6.0 %	15.813	2.578	2376	2119	2.68	790.7
6.5 %	15.982	1.691	2383	1755	3.50	501.4
7.0 %	16.414	1.121	2381	1358	4.33	313.6

Tablo 9. Çayırhan (F tipi) uçucu külü için fiziksel ve mekanik karışım özellikleri

Bitüm Yüzdesi	V.M.A. (%)	Hava Boşluğu (%)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Oranı
2.5 %	16.080	10.749	2290	1524	2.27	671.4
3.0 %	15.874	9.447	2307	1834	2.32	790.5
3.5 %	15.931	8.427	2317	1909	2.40	795.4
4.0 %	15.430	6.792	2342	2123	2.31	919.0
4.5 %	14.919	5.134	2367	2062	2.16	954.6
5.0 %	14.846	3.957	2381	1902	2.41	789.2
5.5 %	14.227	2.154	2410	2047	2.40	852.9
6.0 %	14.544	1.416	2412	1597	2.68	595.9
6.5 %	14.880	0.708	2414	1342	3.50	383.4
7.0 %	15.686	0.563	2402	1122	4.33	259.1

Tablo 10. Kangal (C tipi) uçucu külü için fiziksel ve mekanik karışım özellikleri

Bitüm Yüzdesi	V.M.A. (%)	Hava Boşluğu (%)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Oranı
2.5 %	18.240	12.991	2257	1499	3.15	475.9
3.0 %	18.277	11.966	2267	1815	2.97	611.1
3.5 %	18.577	11.207	2270	1930	2.85	677.2
4.0 %	18.242	9.801	2290	2091	2.37	882.3
4.5 %	18.849	9.413	2283	1989	2.60	765.0
5.0 %	18.339	7.782	2309	2073	2.67	776.4
5.5 %	17.330	5.566	2348	2219	2.83	784.1
6.0 %	16.889	3.980	2372	2268	2.74	827.7
6.5 %	16.251	2.153	2402	2231	3.53	632.0
7.0 %	16.867	1.791	2395	1863	3.46	538.4

Tablo 11. Kireç için Marshall fiziksel ve mekanik karışım özellikleri

Bitüm Yüzdesi	V.M.A. (%)	Hava Boşluğu (%)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Oranı
2.5 %	17.933	12.597	2252	1225	2.88	425.3
3.0 %	17.825	11.417	2266	1577	2.84	555.3
3.5 %	18.417	10.999	2261	1687	2.20	766.8
4.0 %	17.434	8.859	2299	2065	2.04	1012.3
4.5 %	17.609	7.985	2305	1889	2.21	854.8
5.0 %	16.999	6.230	2334	1824	2.12	860.4
5.5 %	16.474	4.556	2360	1774	2.44	727.0
6.0 %	16.295	3.267	2376	1675	2.51	667.3
6.5 %	16.105	1.962	2392	1579	3.38	467.2
7.0 %	16.528	1.376	2392	1329	4.57	290.8

Tablo 12. Portland çimentosu için fiziksel ve mekanik karışım özellikleri

Bitüm Yüzdesi	V.M.A. (%)	Hava Boşluğu (%)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Oranı
2.5 %	17.681	12.285	2303	1722	2.71	635.4
3.0 %	17.082	10.552	2331	2014	2.70	745.9
3.5 %	15.945	8.217	2375	2232	2.57	868.5
4.0 %	15.681	6.817	2394	2151	2.25	956.0
4.5 %	14.777	4.692	2431	2280	2.43	938.3
5.0 %	14.171	2.882	2460	2420	2.37	1021.1
5.5 %	14.308	1.907	2468	2162	2.97	727.9
6.0 %	14.741	1.278	2467	1860	3.97	468.5
6.5 %	15.391	0.914	2460	1549	4.25	364.5
7.0 %	16.092	0.627	2451	1327	4.58	289.7

Tablo 13 altı çeşit filler ile yürütülen Marshall dizaynları sonucu elde edilen optimum bitüm muhtevasını göstermektedir. Tablo 14'de ise bu fillerlerin özgül yüzey alanlarını belirtilmektedir. Bu iki tabloda belirtilen değerlerden de görülebileceği üzere, uçucu küllerin üçü de yaklaşık olarak aynı özgül yüzey alanına sahiptir. Bunların içinde en yüksek özgül yüzey alanına sahip Kangal tipi uçucu kül ise, kolaylıkla tahmin edilebileceği üzere en yüksek optimum bitüm değerine sahiptir [3].

Tablo 13. Değişik fillerler için optimum bitüm muhtevası değerleri

Filler tipi	Optimum bitüm muhtevası (%)
Kalker bazlı filler	% 4.90
Soma uçucu külü	% 5.57
Çayırhan uçucu külü	% 5.21
Kangal uçucu külü	% 6.28
Kireç	% 5.60
Portland çimentosu	% 5.09

Tablo 14. Değişik fillerler için özgül yüzey alanı değerleri

Filler tipi	Özgül yüzey alanı (m <sup>2</sup> /kg)	Standart
Kalker bazlı filler	322.9	ASTM C204-00
Soma uçucu külü	249.4	ASTM C204-00
Çayırhan uçucu külü	242.7	ASTM C204-00
Kangal uçucu külü	277.0	ASTM C204-00
Kireç	582.2	ASTM C204-00
Portland çimentosu	265.3	ASTM C204-00

Tablo 15. Maksimum stabilite temelinde değişik fillerler için malzeme özellikleri

Filler tipi	Hava boşluğu (%)	Birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Stabilite maks (kg)	Akma (mm)	Marshall Oranı	Bitümden kazanç (%)
Kalker bazlı filler	4.084	2424	2396	2.60	921.5	0
Soma uçucu külü	6.238	2332	2649	2.16	1226.4	+30
Çayırhan uçucu külü	6.792	2342	2123	2.31	919.0	+20
Kangal uçucu külü	3.980	2372	2268	2.74	827.7	+20
Kireç	8.859	2299	2065	2.04	1021.3	+20
Portland çimentosu	2.882	2460	2420	2.37	1021.1	+40

Uçucu kül, kireç ve Portland çimentosu kullanılarak yapılan filler değişimi sonucunda görülmektedir ki (Tablo 7–12), Soma uçucu külü kullanılarak yürütülen çalışmalar sonucunda Marshall stabilite değerlerinde önemli artışlar, akma değerlerinde ise önemli azalmalar görülmektedir. Ayrıca yapılan daha etraflı analizler sonucu da bitümden %30 ekonomi sağlandığı görülmüştür [3].

Tablo 15, değişik fillerler ile yürütülen çalışma veri kümelerindeki maksimum stabilite değerlerini göstermektedir. Soma uçucu külü numunelerinin averaj stabilite değerleri, kalker bazlı filler ile hazırlanan numunelerden %11 daha yüksek, averaj akma değerleri ise %17 daha düşüktür. Ayrıca Soma uçucu külü numunelerinin averaj hava boşluğu oranları kontrol numunelerinden %53 daha fazladır. Son olarak Soma uçucu külü numunelerinin averaj özgül ağırlık değerleri kontrol numunelerinden %4 daha düşüktür. Bu sonuçların sebepleri şu şekilde sıralanabilir [3]:

1) Soma uçucu külü (F tipi) üç tip uçucu kül içersinde en kaba gradasyona haizdir. Bu sebepten dolayı filler-bitüm etkileşimi sayesinde hissedilen “sertleşme etkisi” bu numunelerde daha fazla hissedilmektedir.

2) Alüminyum oksit yüzdesi (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Soma uçucu külü kimyasal kompozisyonuna göre %27.64’dür (Tablo 4). Bu diğer uçucu küllerin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüzdesinin iki katından fazladır. Bitüm ile uçucu kül arasındaki bağdan alüminyum oksit yüzdesi sorumlu olduğundan Marshall numuneleri daha yüksek dayanıma ve rijitliğe sahiptir.

3) Soma uçucu külünün özgül ağırlığı 2105 kg/m<sup>3</sup>’dür (Tablo 5). Bu üç uçucu kül içinde en düşük değerdir. Bu ayrıca kalker bazlı fillerin özgül ağırlığından da çok düşüktür. Bu sebepten dolayı Soma uçucu külü, çok daha etkili bir “bitüm genişmesi” mekanizmasına sahiptir.

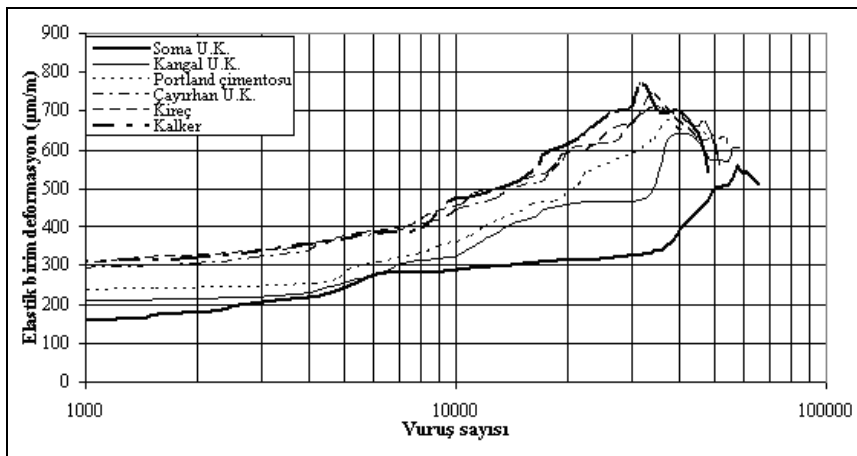
Tablo 15'ten de görülebileceği üzere Soma tipi uçucu kül ile hazırlanmış Marshall numunelerinin Marshall oranı değerleri diğer tüm fillerle hazırlanmış numunelerden çok daha yüksektir. Bu da bu numunelerin yorulma ömürleri hakkında da önemli bir fikir vermektedir.

### Marshall numunelerinin yorulma ömürlerinin tayin edilmesi

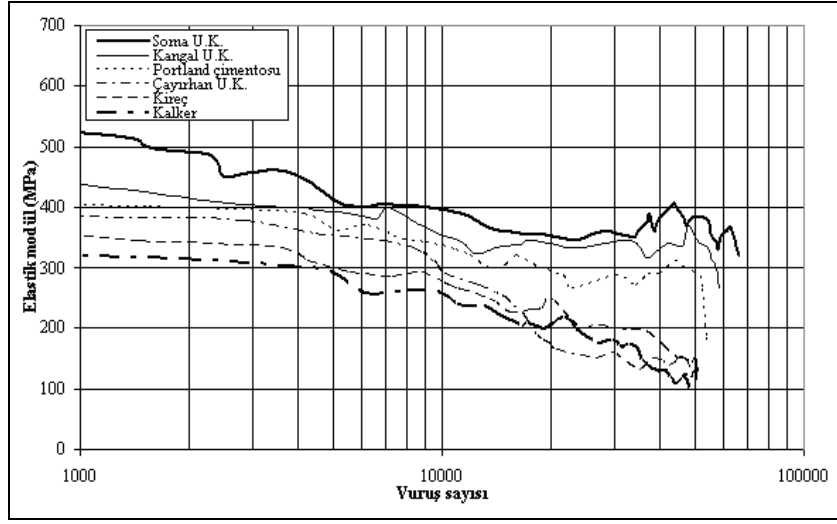
Tekrarlı indirekt çekme deneyi, stabilize malzemelerin çekme dayanımlarını belirlenmesinde çok uzun yıllardır kullanılagelen bir yöntemdir. Bu deneyin ilk versiyonları çimento harcı veya beton üzerinde uygulanmış olmasına rağmen seksenli yılların ortalarından itibaren çimento ile ıslah edilmiş granüler malzemeler, kireçli zemin numuneleri ve son olarak da bitüm ile stabilize edilmiş malzemelerde de yoğun olarak kullanılmıştır. Asfalt karışımlar için bu tip deneylerin yürütülmesinde kullanılagelen cihazlardan biri olan UMATTA test cihazı, hazırlanmış olan Marshall numunelerinin hem esneklik modülünü, hem de kalıcı ve elastik birim deformasyonlarını bulmaya yarayan bir deney sistemidir [4].

### Yorulma deneyleri

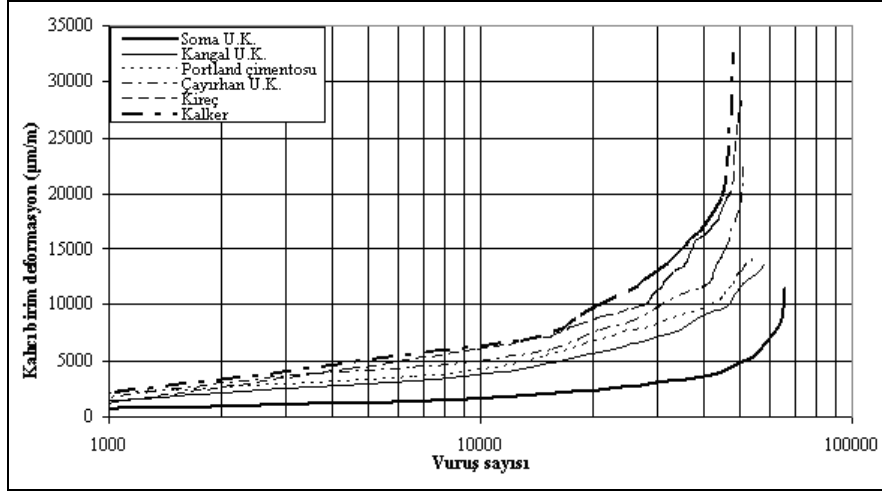
Optimum bitüm muhtevası olan %5 değeri kullanılarak ve 6 değişik filler malzemesi ile hazırlanan (her bir tip filler için 3'er adet) Marshall numuneleri UMATTA test düzeneği ile tekrarlı yorulma deneylerine tabi tutulmuştur. Bu testler inkübatör ünitesi içerisinde yorulma çatlakları oluşumunu tetikleyici bir sıcaklık olarak kabul edilebilecek 40°C'da gerçekleştirilmiştir. Poisson oranı karakteristik bir değer olarak 0.35 alınmıştır. Her yük tekrarında maksimum 1000 N kuvvet, 500 ms vuruş süresi, 100 ms maksimum yüke ulaşma süresi uygulanmıştır. Bu parametreler, 6 tip değişik filler ile hazırlanmış bitümlü sıcak karışımların kritik sıcaklıklarda ve yavaş seyreden ağır taşıt trafiği altında yorulma davranışlarını göreceli olarak laboratuvar test ortamında mukayese etmek üzere seçilmiştir. Şekil 1,2 ve 3 de üçer numuneden oluşan setlerin (3'er adet numunenin her bir vuruştaki averaj değerleri) sırasıyla, elastik birim deformasyon elastik modül ve kalıcı birim deformasyon değerlerinin vuruş sayısı ile değişimleri verilmiştir. Bu grafiklerden görülebileceği üzere Soma uçucu külü ile hazırlanan numunelerin yorulma ömürleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında önemli derecede uzundur [3].



Şekil 1. Yorulma deneyleri sonundaki elastik birim deformasyon-vuruş sayısı grafikleri [3]



Şekil 2. Yorulma deneyleri sonundaki elastik modül-vuruş sayısı grafikleri [3]



Şekil 3. Yorulma deneyleri sonundaki kalıcı birim deformasyon-vuruş sayısı grafikleri [3]

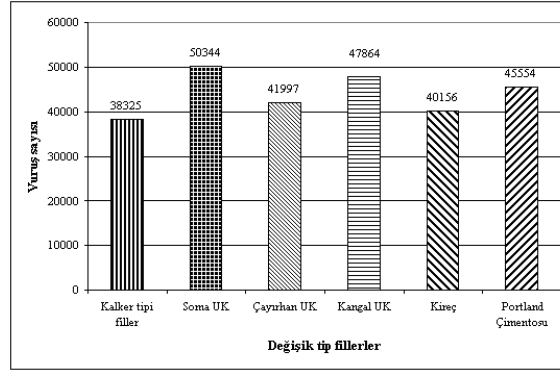
Tablo 16. Tekrarlı yorulma deneylerinin toplu değerlendirmesi

Filler tipi	$\epsilon_0$ ( $\mu\epsilon$ )	$\epsilon_{maks}$ ( $\mu\epsilon$ )	$\epsilon_{final}$ ( $\mu\epsilon$ )	$E_0$ (MPa)	$E_{min}$ (MPa)	Vuruş sayısı
Kalker bazlı filler	300	766	540	350.1	101.1	48222
Soma uçucu külü	152	561	510	580.0	321.4	65947
Çayırhan uçucu külü	254	711	560	401.9	137.5	51336
Kangal uçucu külü	174	641	601	466.2	263.3	58520
Kireç	289	742	587	372.8	115.8	50558
Portland çimentosu	201	674	604	433.3	174.5	54223

Şekil 1-3'ün detaylı analizleri sonucu Soma uçucu külü ile hazırlanan numunelerin ilk elastik birim deformasyonlarının kontrol numunelerinden %97.4 oranında düşük olduğu gözlemlenebilir. Soma tipi numunelerin maksimum ortalama elastik birim deformasyonları da kontrol numunelerinden %26.8 daha azdır. Bu da Soma tipi numunelerin çok daha uzun yorulma ömürlerinin sebebini açıklamaktadır. Ayrıca Soma tipi numunelerin son elastik birim deformasyon değerleri de kontrol numunelerinden %5.6 daha azdır. Ayrıca Soma tipi numunelerin ilk elastik modül değerlerindeki artış ve son elastik modül değerlerinin yine son

derece yüksek olması dikkat çekicidir. Tüm analizler ışığında Soma tipi numunelerin yorulma ömürleri kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığına ortalama olarak %34 daha fazladır. Bu son derece dikkat çekicidir.

Literatürdeki daha önceki çalışmalardan da görülebileceği üzere tekrarlı indirekt çekme deneyindeki çatlak oluşumu vuruş sayısının kalıcı birim deformasyondaki artış hızının maksimum değere ulaşmasından önce meydana geldiği kabul edilmektedir. Her bir kalıcı birim deformasyon-vuruş sayısı grafiğine bir regresyon eğrisi fit edilerek kalıcı birim deformasyonlardaki artış hızının anormal bir şekilde değiştiği vuruş sayısı belirlenebilir. Bu tartışmanın ışığında asfalt numunelerin yorulma ömürleri bu vuruş sayısı olarak kabul edilebilir [3]. Bu çalışma için bu değerler ise Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kalıcı birim deformasyon analizlerine bağlı olarak numunelerin yorulma ömürleri [3]

## SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Soma uçucu külü, üç tip uçucu kül içerisinde dane boyutu dağılımı açısından en kaba,  $Al_2O_3$  yüzdesi en yüksek ve en düşük özgül ağırlık değerine sahip olanıdır. İşte tüm bu sebeplerin birleşimi sonucunda Soma uçucu külü ile hazırlanan numuneler en uzun yorulma ömrüne sahiptir. Uçucu külün bitümlü karışımların modifikasyonunda kullanılması, asfalt mühendisliği ile uğraşan bilim adamlarını ekonomik ve çevresel etkilerin günümüz dünyasındaki boyutu açısından ilgilendirmektedir. Diğer bir modifikasyon aracı olan polimerler, toplam maliyette önemli ölçüde artışlara neden olmaktadır. Hâlbuki uçucu külün bitümlü sıcak karışımların hazırlanmasındaki maliyeti neredeyse sıfırdır ve herhangi özel bir ekipman ve bilgi birikimine gerek duymamaktadır. İleriki çalışmalara ışık tutması hasebiyle, malzeme biliminin sunduğu olanaklar vasıtasıyla uçucu kül ile bitüm arasındaki fiziko-kimyasal interaksiyon mikro düzeyde incelenmeli (taramalı elektron veya atomik güç mikroskopisi teknikleri) ve daha değişik sıcaklık, yükleme paternleri ve karışım özelliklerinde yeni yorulma ve de süne deneyleri yapılarak çalışmalar çeşitlendirilmelidir. Son olarak ise Superpave yağurmalı kompaktörü ile 10 cm'lik replika numuneler üretilerek bu numunelerin arazi sıkışmalarını laboratuvar ortamında realist bir şekilde modellemeleri avantajını kullanarak aynı deneyler yinelenmeli ve sonuçlar bir kere daha irdelenmelidir.

## KAYNAKLAR

- 1) Anderson, D:A., Tarris, J.P., ve Brock, D. 1982. Dust collector fines and their influence on mixture design. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 51: 363-374.
- 2) Puzinauskas, V.P. 1983. Filler in asphalt mixtures. The Asphalt Institute, College Park, Md. Reserach Re4port No. 69-2.

- 3) Tapkin, S. 2008. Mechanical evaluation of asphalt-aggregate mixtures prepared with fly ash as a filler replacement. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **35**: 27-40.
- 4) ELE-UMATTA. 1994. Universal testing apparatus for asphalt and unbound specimens. Reference and operating manual. ELE International Ltd., Hertfordshire, UK.