

GELENEKSEL ASFALT BETON VE GENLEŞTİRİLMİŞ KİL AGREGA İLE ÜRETİLMİŞ HAFİF ASFALT BETONUN ÇOK YÖNLÜ KARŞILAŞTIRILMASI

Sercan Serin, Nihat Morova, Serdal Terzi, Mehmet Saltan, Şebnem Sargin*

Özet: Bu çalışmada kırma taş agregası (KTA) kullanılarak geleneksel olarak üretilmiş asfalt beton numuneleri ve yapay bir hafif agregası olan genişletilmiş kil agregası (GKA) ile üretilmiş hafif asfalt beton numuneleri üzerinde çok yönlü incelemeler yapılarak bir takım özellikler karşılaştırılmıştır. Üretilen numuneler üzerinde öncelikle bazı fiziksel deneyler yapılmış ve her bir numunenin fiziksel özelliği tayin edilmiştir. Daha sonra tahribatlı ve tahribatsız bir takım deneyler ile numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Tüm bu deneyler ve son olarak da malzeme kullanımı ve temini gibi durumlar göz önünde bulundurularak ekonomik, fiziksel ve mekanik özellikler karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif asfalt, Genleştirilmiş Kil, Geleneksel Asfalt, Marshall Stabilite, Ultrases

SOPHISTICATED COMPARISON OF LIGHT ASPHALT CONCRETE PRODUCED WITH CONVENTIONAL ASPHALT CONCRETE AND EXPANDED CLAY AGGREGATE

Abstract: In this study, particular specifications have been compared as making sophisticated analysis on conventional asphalt concrete samples produced using crushed stone aggregate (CSA) and light asphalt concrete samples produced using expanded clay aggregate which is light aggregate (ECA). First some physical tests carried out on produced samples and physical specification of each sample has been determined. After then mechanical specifications of samples have been determined with destructive and non-destructive tests. All these tests and considering material usage and procurement economical, physical and mechanical specifications have been compared and evaluated results.

Key Words: Lightweight asphalt concrete, Expanded clay, Conventional Asphalt, Marshall Stability, Ultrasound

1. Giriş:

Agrega birçok inşaat imalatında olduğu gibi yol üst yapılarının da başlıca hammaddesidir. Üstyapıda kullanılan bitümlü sıcak karışımın (BSK) büyük bir bölümünü oluşturan agreganın özellikleri karışım performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle BSK'lar için gerekli özellikleri sağlayan agregası temininde sıkıntılar yaşanabilmekte ve agregası maliyetleri daha yüksek olmaktadır (Tayfur vd., 2003).

Bağlayıcısız temel ve alt temel tabakalarının tamamı, bitümlü sıcak karışımlarının ağırlıkça %90-95'i, hacimce ise % 85'lik kısmı agregalardan oluşur (Tayfur vd., 2003). Beton ve asfalt kaplamalardaki bozulmaların birincil veya ikincil nedeni uygun olmayan agregası kullanımı ya da kullanılan agregaların istenmeyen maddeler içermesidir (Akbulut, 2009). Agreganın tipi,

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh., 32260 Isparta/Türkiye. E-posta: sebnemsargin@sdu.edu.tr

yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, gradasyonu gibi özellikleri BSK'nın yorulma ve tekerlek izi açısından performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir (Tayfur vd., 2003).

Agrega-asfalt karışımlarının yol kaplaması olarak kullanılabilmesi için bazı koşulları sağlaması gerekir. Bu koşullar, kaplamalarla ilgili Teknik Şartnamelerde verilmiştir (Terzi, 2000).

Yol üstyapı inşaatlarında ülkemizde yaygın olarak doğal kırmataş agregalar tercih edilmektedir. Fakat günümüzde birçok ülkede doğal agregaların yanı sıra yapay agregalar da yol inşaatlarında kullanılır olmuştur. Agregalar birim hacim ağırlıkları göz önünde bulundurulduğunda hafif, normal ve ağır agrega olarak da gruplandırılmaktadır. Ülkemizde yol inşaatında kullanılan bu agregalar daha çok normal ve ağır agrega sınıfına dahil olmaktadır. Son yıllarda ise yapay olarak elde edilmiş hafif agregaların yol inşaatında kullanımı bazı ülkelerde uygulama alanı bulmuştur.

Günümüzde, Genişletilmiş Kil Agregası (ECA), özellikle Avrupa ve ABD'de hafif yapı elemanları üretmek için inşaat sektöründe kullanılan vazgeçilmez bir hammaddestir (Gündüz, Şapıcı, & Bekar, 2006).

Poroz agrega ya da diğer bir adıyla pomza olarak bilinen doğal hafif agrega kaynakları mevcut volkanik aktiviteler tarafından karakterize edilmiş bölgelerde bulunabilmektedir. Yapay hafif agregalar (killi malzemelerin ısıtma işlemiyle elde edilen genişletilmiş kil gibi) hammaddesi bulunan pek çok ülkede yaygın olarak üretilmektedir. Yapay agregalar doğal hafif agregalardan daha yüksek bir dayanım gösterirler, ancak bu olumlu sonuç daha büyük bir üretim maliyeti anlamına da gelir (Cavaleri, Miraglia, & Papia, 2008).

Genleştirilmiş kil agrega gibi yapay agregaların asfalt beton üretiminde kullanımı gerek doğal agregaların çıkarılması gerekse de yenilenemez hammadde kaynaklarının kullanımı azaltır, büyük ölçüde de çevresel faydalar sağlar. Ayrıca, genişletilmiş kil üretim süreci tehlikeli olmayan atık malzemelerin geri kazanımına izin verir; böylece atık maddelerin depo edilmesi, dökümü ve imha edilmesi gibi durumları ortadan kaldırırken hem çevresel hem de ekonomik faydalar ortaya koyar (Losa, Leandri, & Bacci, 2008a).

Bu çalışmada öncelikle karışımda kullanılacak doğal kırma taş agrega ve yapay genleştirilmiş kil agregaların fiziksel özelliklerinin tayini için gerekli tüm deneyler yapılmıştır. Kırma taş agrega (KTA) kullanılarak geleneksel olarak ve genleştirilmiş kil agrega (GKA) ile hafif asfalt beton numuneler üretilmiştir. Üretilen bu her bir numunenin fiziksel özelliği tayin edilmiştir. Daha sonra tahribatlı ve tahribatsız bir takım deneyler ile numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan malzemelerin kullanımı ve temini gibi durumlar göz önünde bulundurularak ekonomik karşılaştırmaya gidilmiştir.

2. Malzeme Özellikleri:

Bu çalışmanın deneysel kısmında Düzce bölgesinden elde edilen KTA ve Alman Liapor firması tarafından üretilen GKA kullanılmıştır. Agregalara ait fiziksel ve mekanik karakteristikler Amerikan Standartları (ASTM) kullanılarak tayin edilmiştir. Bu özellikler Tablo 1 ve Tablo 2'de ifade edilmiştir.

Tablo 1. BSK’da kullanılan KTA’nın fiziksel ve mekanik özellikleri

Deneyin Adı	Elek Çapları			Standartlar
	0-4,75 mm	4,75-9,5 mm	9,5-25 mm	
Su Emme (%)	* (3,54)	1,63	0,81	ASTM C 127
Los Angeles (%)	*	*	23,804	ASTM C 131
İnce Madde (%)	* (14,51)	1,27	0,45	ASTM C 117
Organik Mad.	Berrak	Berrak	Berrak	ASTM C 40
Donma Çöz. (%)	*	*	6,69	ASTM C 88
Soyulma Muk. (%)	*	%50 ‘den Fazla	%50 ‘den Fazla	KTŞ Kıs 403 Ek-A
Ortalama Yoğunluk(gr/cm^3)	2,576	2,642	2,677	ASTM C 127
Gevşek Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)	1,61	1,40	1,41	ASTM C 29
Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)	1,91	1,62	1,64	ASTM C 29

*Karayolları Teknik Şartnamesine göre deneye gerek bulunmamaktadır.

Tablo 2. BSK’da kullanılan GKA’nın fiziksel özellikleri

GKA’nın Karakteristiği (0-2,00 mm)	
Deney Adı	Ortalama Değer
Ortalama Yoğunluk (g/cm^3)	1.655
Gevşek Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	0.82
Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	1.04
Su Emme (%)	15.25
Nem İçeriği (%)	0.01

Şekil 1(a) ve (b) sırasıyla deneysel çalışmada kaba ve ince agrega olarak kullanılan KTA ve GKA göstermektedir.

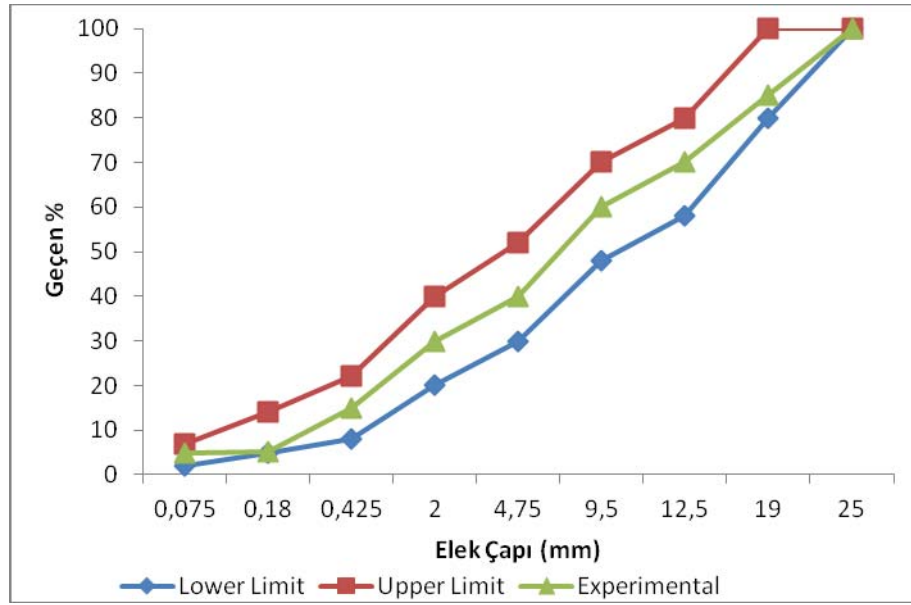
**Şekil 1 (a)** GAB ve HAB’da kullanılan KTA**(b)** HAB’da kullanılan GKA

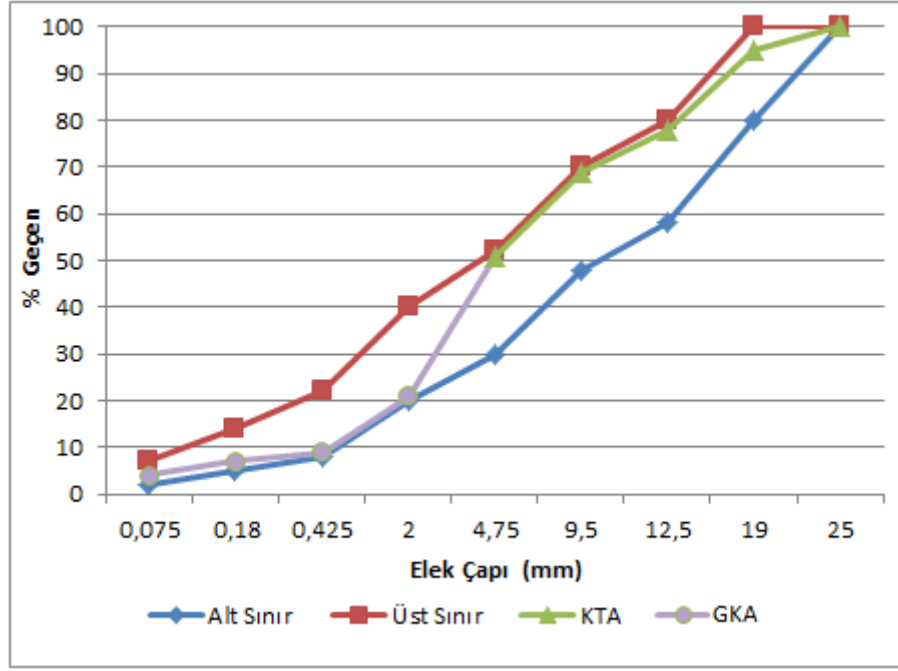
Her iki karışımda da (GAB ve HAB) kullanılmış olan bitüm üzerine yapılan karakteristik deneylerin sonuçları aşağıda verilmiştir. Deneysel çalışmada AC 60/70 asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bitüme ait fiziksel özellikler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Bitümün temel fiziksel özellikleri

Bitüm Özellikleri	
Deney Adı	Ortalama Değerler
Penetrasyon(25 °C)	60-70
Parlama Noktası	180°C
Yanma Noktası	230 °C
Yumuşama Noktası	45,5°C
Düktilite(5 cm/dk)	>100 cm
Özgül Ağ.	1,034

Agregalara ait deneyler tamamlandıktan sonra karışımlar KTS'nin gerektirdiği teknik özelliklere ile paralel olarak hazırlanmıştır. Karışım için gerekli alt ve üst limit Şekil 2 (a) ve (b)'de verilen gradasyon eğrilerinde gösterilmiştir.

**Şekil 2 (a)** GAB numunelerinde kullanılan agrega gradasyonu



Şekil 2 (b) HAB numunelerinde kullanılan agrega gradasyonu

Her iki karışım için de gradasyon eğrileri incelendiğinde GAB 'da karışım gradasyonunun alt ve üst limitlerin hem hemen tam ortasına denk gelmekte iken Şekil 2(b)'de görülen HAB'un gradasyonunda KTA üst limite GKA ise alt limite daha yakın seçilmiştir. Böylece eldeki olanaklar kullanılarak aynı hacime sahip olabildiğince hafif asfalt üretilmeye çalışılmıştır.

Yukarıda belirtilen gradasyonlar kullanılarak yapılan matematiksel hesaplamalar neticesinde GAB ve HAB için ayrı ön optimum bitüm tayini gerçekleştirilmiş ve bu bitüm içeriği başlangıç sayılarak farklı bitüm içerikleri kullanmak suretiyle optimum bitüm tayini yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ve çıkarılan grafikler neticesinde GAB için bundan sonraki deneylerde kullanılacak optimum bitüm içeriğinin %5,75 , HAB için ise bu değer %7 olduğu tespit edilmiştir. Optimum bitüm tayini sonrasında yapılan tüm fiziksel ve mekanik deneyler için bu bitüm içerikleri kullanılarak hazırlanan yeni numuneler kullanılmıştır.

3. Deneysel Çalışma Bulguları

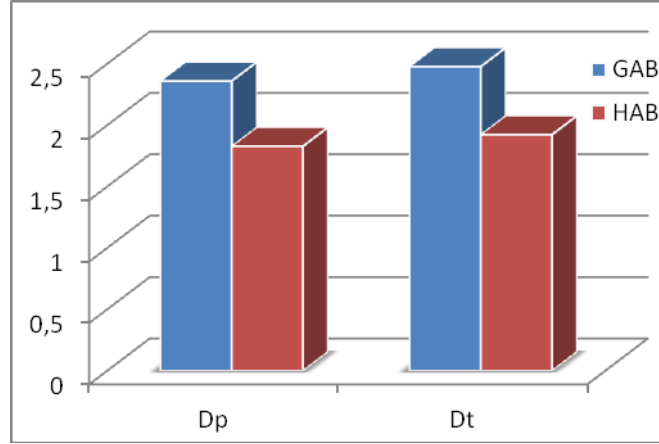
3.1. Fiziksel Özelliklerin Karşılaştırılması

Üretilen HAB ve GAB numunelerin üretimlerinde kullanılan agrega gradasyonuna bağlı olarak optimum durum göz önünde bulundurularak limitler çerçevesinde agrega gradasyonu tayin edilmiştir. Böylece uygun düzeyde hafif asfalt üretilmiştir. Yaklaşık olarak 1245 gr hazırlanan GAB numunelerin aksine 885 gr agrega ile hafif asfalt üretimi gerçekleştirilebilmiştir. HAB'da karışımın %51 kısmını GKA oluştururken, %49'luk kısmını ise KTA'dan oluşmaktadır. Böylece yaklaşık olarak agregaca %29'luk bir kütle azalması gerçekleşmiştir.

Yapılan optimum bitüm tayini neticesinde GAB için belirlenen %5,75 ve HAB için belirlenen %7 bitüm içerikleri hesaba katıldığında; GAB için toplam kütle %5,75 olan 71,588 gr ve HAB için de yine toplam kütle %7 si olan 61,95 gr bitüm her numune için karışıma ilave edilmiştir. İlk değerlendirmede HAB için belirlenen bitüm içeriğinin yüzde bir hayli yüksek görünmesine rağmen kütle bazında hesaba katıldığı unutulmamalıdır. Böylece ilave edilen bitüm miktarları ile birlikte GAB için her bir numune yaklaşık 1315 gr, HAB için ise 945 gr

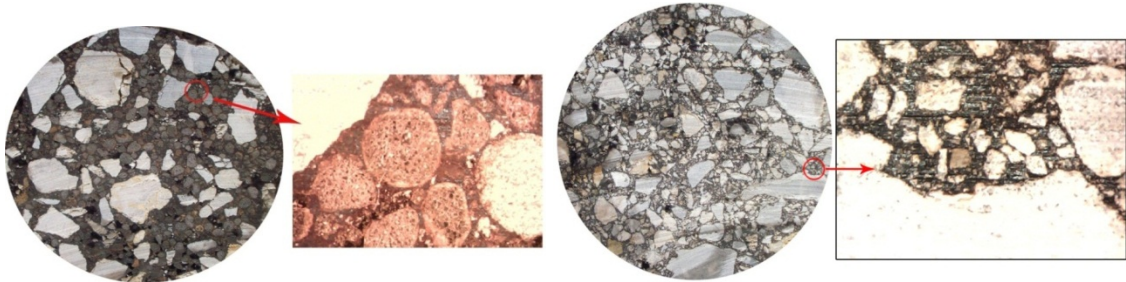
ağırlığında üretilmiş olmaktadır. Tüm bu hesaplar göz önünde bulundurulduğunda yukarıda da ifade edildiği gibi yaklaşık %28-29 kütle azalması oluşmaktadır.

Şekil 3’de hazırlanan karışımlara ait numunelerin ortalama pratik yoğunlukları (D_p) ve ortalama teorik yoğunlukları (D_t) görülmektedir. Yoğunluk grafikleri incelendiği zaman da hem D_p hem de D_t de %22’nin üzerinde bir fark bulunmaktadır.



Şekil 3. GAB ve HAB numunelerine ait pratik ve teorik yoğunluk değerleri

Şekil 4 (a) incelendiğinde KTA ve GKA ile üretilmiş HAB numunesinde agrega ve bitüm arasında iyi bir aderans gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan Şekil 4 (b)’de KTA ile üretilmiş olan GAB numunesi için de güçlü aderans durumu görülmektedir.



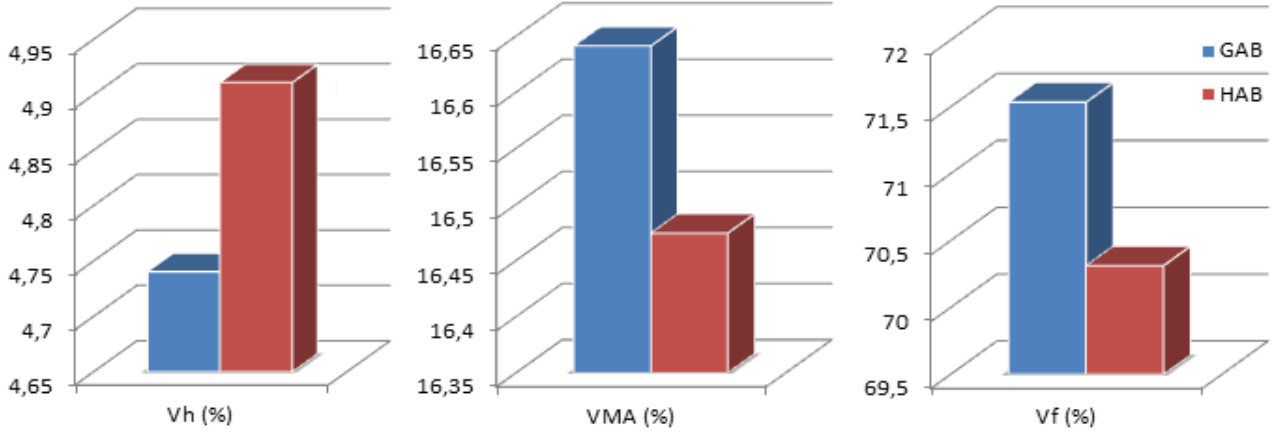
Şekil 4 (a) The adherence on HAB

(b) The adherence on GAB

Şekil 5’de GAB ve HAB numuneleri için karşılaştırmalı olarak her gruba ait boşluk hacmi (V_h), mineral agrega içerisindeki boşluk miktarı (VMA) ve bitümle kaplı boşluk yüzdesi (V_f) değerleri görülmektedir.

Bitüm oranına bağlı olarak değişen boşluk hacmi değerleri (V_h) GAB için ortalama %4,74 civarında iken HAB numuneleri için bu değer ortalama %4,91 civarındadır. Bu da HAB numunelerin GAB numunelere göre daha boşluklu bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Karışımlar için VMA değerleri GAB için ortalama %16,64 , hazırlanan HAB için ise VMA değeri ortalama %16,47 gibi bir değer olmaktadır.



Şekil 5. GAB ve HAB numunelerine ait Vh, VMA ve Vf değişim grafiği

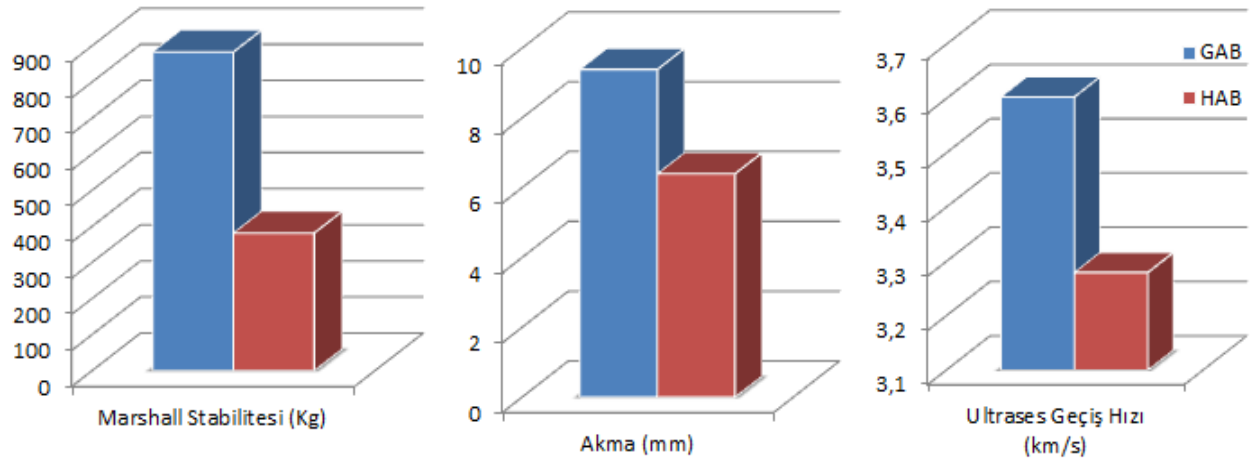
Yine Şekil 5’de GAB ve HAB karışımlarına ait Vf değeri gösterilmiş ve bu değer GAB numuneleri için %71,54 , HAB numuneleri için ise ortalama %70,31 değerini almıştır.

3.2. Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması

Şekil 6’de GAB ve HAB numunelerine ait Marshall Stabilitesi (MS), akma değeri ve ultrases geçiş hızı değerleri görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda bulunan MS değeri GAB için ortalama 883 kg civarında iken HAB numuneleri için bu değer ortalama 381 kg civarındadır. HAB numunelerin GAB numunelere göre çok daha düşük bir stabiliteye sahip olduğunu göstermektedir. Bu değerlerin normal asfalt beton için belirlenen şartname limitlerinin altında olduğu görülse de hafif asfalt beton olduğu unutulmamalıdır.

Karışımlar için akma değerleri GAB için ortalama 9,4 mm , hazırlanan HAB için ise akma değeri ortalama 6,4 mm değerini almaktadır.



Şekil 6. GAB ve HAB numunelerine ait MS, Akma ve Ultrases geçiş hızı değişim grafikleri

GAB ve HAB numuneleri için ultrases geçiş hızları yine Şekil 6’daki grafikte görülmektedir. Numunelere ait ultrases geçiş hızları GAB numunelere için ortalama 3,6 km/s olurken HAB numuneleri için bu değer 3,28 km/s olmaktadır.

3.3. Ekonomik Karşılaştırma

GAB ve HAB için yapılacak ekonomik karşılaştırma diğer karşılaştırmalarda olduğu gibi yapılan deneysel çalışma sonucunda belirlenen optimum bitüm ve karışım gradasyonları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4’de verilen değerler 2012 birim fiyatlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Her malzemeye ait elde edilen birim fiyatlar esas alınarak 1 m³ lük asfalt beton karışımları için hesaplamalara yapılmıştır.

Tablo 4. 1 m³ GKA ve HAB için maliyet hesabı.

			GAB		HAB		
				Maliyet		Maliyet	
1 m ³ Karışımında kullanılan malzeme	KTA	Ağırlıkça%	94,563	22,526	64,485	11,18441	
		Ağırlık(t)	2,2526		1,18441		
		B. Fiyat	10		10		
	GKA	Ağırlıkça%	-	-	28,973	518,9147	
		Ağırlık(t)	-		0,5322		
		B. Fiyat	-		975,037		
	Bitüm	Ağırlıkça%	5,4335	145,18245	6,542	134,75622	
		Ağırlık(t)	0,1295		0,1202		
		B. Fiyat	1.121,10		1.121,10		
	TOPLAM maliyet				167,70845 TL		665,51502 TL

GAB ve HAB karışımları için yapılan hesaplamalar sonucunda ülkemizde üretimi henüz gerçekleştirilmeyen GKA maliyetinin oldukça yüksek olması sebebi ile HAB üretim maliyeti de bir hayli yüksek olmuştur. Ülkemizde üretimi fazlasıyla bulunan KTA üretim maliyetinin düşük olması satış maliyetinin ve sonuçta üretilen GAB maliyetinin de düşük olmasına sebep olmuştur. Tablo incelendiğinde bitüm içeriği olarak HAB karışımının daha düşük olmasına rağmen toplam maliyette bu fark GKA’nın maliyeti nedeniyle kapanıp HAB lehine dönmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Toplamda 1245gr KTA kullanılarak hazırlanan Marshall numunelerin aksine çalışmada hacimce kırma taşla yer değiştiren GKA ile üretilen HAB numuneleri 885 gr gibi bir ağırlığa tekabül etmektedir. Matematiksel olarak hesaplanan bitüm içeriğinin hacimce kullanılan agrega karışıma yetersiz geleceği tahmin edilmiş ve hesaplanan matematiksel bitüm değerini de içerisine alan 13 farklı bitüm yüzdesi ile toplam 39 hafif asfalt beton numunesi hazırlanmış ve optimum bitüm içeriği bu şekilde tayin edilmiştir.

Tüm sonuçlar göstermiştir ki GKA ve KTA’nın birlikte kullanılmasıyla üretilen HAB numuneler GAB numunelere göre daha düşük dayanım sağlamıştır.

Stabilite sonuçları göstermiştir ki fiziksel olarak gözlemlenen iyi aderansın aksine KTA göre daha yuvarlak taneli olan GKA ve bitüm arasındaki aderansının düşmesine neden olmuştur. Yüzdece GAB göre daha yüksek bitüm içeriğinde (%7) maksimum stabiliteye ulaşılmış olmasına rağmen GKA’nın birim hacim ağırlığının daha düşük olması nedeniyle KTA’ya göre bitüm oranında ağırlıkça çok da fark gözlenmemiştir.

GAB ve HAB karışımları için yapılan hesaplamalar sonucunda GKA maliyetinin oldukça yüksek olması sebebi ile HAB üretim maliyetinin yüksek olduğu da unutulmamalıdır.

Sonuç olarak elde edilen veriler GKA ile üretilen HAB daha düşük dayanımın yeterli olduğu ve daha hafif kaplamanın ihtiyaç duyulduğu alanlarda kullanılabileceği; örneğin bisiklet yolları, park, bahçe vs. gezi yolları gibi motorlu taşıt trafiğinin çok daha az olduğu alanlarda kullanılabilir.

Ayrıca GKA'nın sadece filler malzemesi olarak kullanıldığında stabilitenin daha fazla olacağı tahmin edilmekte olup ileriki çalışmalarda bu konunun araştırılabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar:

- Aams, V., and S. C. Shah. (1974). Evaluation of Open-Graded Plan-Mix Seal Surfaces for Correction of Slippery Pavement. In Transportation Research Record 523, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.88-96.
- Agostinacchio, M. Olita, S. (2004). Use Of Expanded Clay For High Grip Bituminous Wearing Courses - II° International Congress SIV 2004, Florence, Italy.
- Area, P. J., Jr., (1969). Expanded Clay Hot Mix Study, Final Report Part II, LDH Research Report No. 37,
- Akbulut, H., Çetin, S., Güner, C. (2009), Andezit Agregasının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.
- ASTM C 1018. (1992). Standard test methods for flexural toughness and first crack strength of fiber reinforced concrete (using beam with third point loading), American Society of Testing Materials, USA.
- ASTM C127 – 07. (1992). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM C131 – 06. (1992). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM C117 – 04. (1992). Standard Test Method for Materials Finer than 75-µm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM C40 / C40M – 1. (1992). Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM C88 - 05 Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D5. (1992). Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D70. (1992). Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method), Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D36. (1992). Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D113. (1992). Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D92. (1992). Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester, Annual Book of ASTM Standards USA.
- 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.
- Canestrari, F., M. Bocci, G. Ferrotti, and E. Pasquini, (2007). Mechanical Characterization of Environmentally Friendly Mixtures. International Conference on Advanced Characterisation of Pavement and Soil Engineering Materials, Athens, Greece.
- Cavaleri L, Miraglia N, Papia M (2008). Pumice concrete for structural wall panels. Engineering Structures. 25: 115-125.
- Chadborn, B. A., Skok, E. L., Newcomb, D. E., Crow B. L., Spindle, S., The Effect of Voids in Mineral Aggregate (VMA) on Hot-Mix Asphalt Pavements, Minnesota Department of Transportation, Final Report, MN/RC - 2000-13, 1999.
- Chen, W.F, and Richard Liew, J.Y., (2003). The Civil Engineering Handbook, New Directions in Civil Engineering, CRC Press.
- General Directorate of Highways. (2006). State Highways Technical Specifications (KTS), Ankara, Turkey.
- Gündüz L, Şapcı N, Bekar M (2006). Utilization of Expanded Clay As Lightweight Aggregate, J. Clay Sci. Technol. Kibited 1(2): 43-49.
- Jansen, D.C., M.L. Kiggins, C. W. Swan, R. A. Malloy, M. G. Kashi, R. A. Chan, C. Javdekar, C. Siegal, and J. Weingram. (2001). Lightweight Fly Ash-Plastic Aggregates in Concrete. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1775, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.44-52.

- Kalyoncuoğlu, S. F., and Tığdemir, M. (2004). An alternative approach for modelling and simulation of traffic data: Artificial neural Networks. *Simulation Modeling Practice and Theory*, 12(5), 351–362.
- Lehmann, H. L., and V. Adam. (1956). Use of Expanded Clay Aggregate in Bituminous Construction. *Highway Research Board Proceeding*. Vol.38, pp. 398-407
- Losa, M. Leandri, P. and Bacci, R. (2008a). Mechanical and Performance-Related Properties of Asphalt Mixes Containing Expanded Clay Aggregate, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2051, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 23–30.
- Losa, M. Bacci, R. Leandri, P. Alfinito, L. Cerchiai, M. (2008b). Surface Characteristics of Asphalt Pavements with Synthetic Lightweight Aggregate, 6th Symposium on Pavement Surface Characteristics SURF 2008, Portoroz, Slovenia.
- Özgan, E. (2011). Artificial Neural Network Based Modeling of the Marshall Stability of Asphalt Concrete. *Expert Systems With Applications*, 38, 6025-6030.
- Sanders, S. R., Rath, D., Parker, F. (1994). Comparison of Nuclear and Core Pavement Density Measurements, *Journal Of Transportation Engineering*, Vol. 120, No. 6, pp 953-966.
- Subaşı S. (2009a). The Effects of Using Fly Ash on High Strength Lightweight Concrete Produced with Expanded Clay Aggregate, *Scientific Research and Essay Vol. 4 (4)* pp. 275-288.
- Tayfur, S., Eren, K., Özen, H., Yıldırım, S. A. (2003), Sıcak Asfalt Karışımı (BSK) Üretimi Açısından İstanbul Taşocaklarının Genel Değerlendirilmesi: Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Terzi, S. (2000), Mermer Toz Atıkların Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Isparta.
- Tığdemir, M., Karaşahin, M., and Şen., Z. (2002). Investigation of fatigue behaviour of asphalt concrete pavements with fuzzy logic approach. *International Journal Fatigue*, 24(8), 903–910.
- Umar, F., Açar, E., *Pavement Structure*, İstanbul Technical University Civil Engineering Faculty Press, İstanbul, 1991.
- Uzun, İ., Terzi, S., Evaluation of andesite waste as mineral filler in asphaltic concrete mixture, *Construction and Building Materials* 31 (2012) 284–288, 2012.