

Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi

Waste Marble Partial Expensing As Way Base Material

Nazile URAL¹, Gökhan YAKŞE^{2*}

Özet-Günümüzde, atık malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda atıklardan yeni ürünler elde etmek veya atıkların katkı maddesi olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Atıkların yeniden kullanımı yolu ile geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltmakta, çevrenin tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği arttırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevresel sorunları en aza indirmektedir. Mermer bloklarının düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmekte ve bu işlem sonunda mermer atıkları ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda inşaatlarda mermerin kullanımı giderek artmakta ve mermer talebi karşılamak amacıyla, mermer işleme tesislerinin sayısının hızla arttığı gözlenmektedir. Bu çalışmada mermer ocağı sayısı çok fazla olan Bilecik İlindeki mermer atıklarının, yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında; hava tesirlerine ve donmaya karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, NaOH ile yapılan organik madde tespiti deneyi, su emme deneyi, Atterberg kıvam limitleri deneyi ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan mermer atıkları, Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen temel malzemesi gradasyonu aralıklarında hazırlanarak, şartnamede belirtilen fiziksel özellikleri taşıyıp taşımadıkları kontrol edilmiştir. Sonuçta, Bilecik İlinin 3 farklı bölgesinden alınan mermer atıklarının Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen alt temel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- Mermer atığı, Temel malzemesi, Bilecik İli

Abstract- Nowadays, about reuse of waste materials and recycling is made intense studies. Thus, it is decreased use of limited natural sources, is prevented environmental damage, and by the result of waste store environmental problems are decreased. Marbles need to cut to take regular geometric shapes and is occurred marble wastes. In last years, marbles usage is increased continuously in buildings, thus marble operated factories number are increased. In this study, it was investigated evaluation as base material to the marble waste. For this reason, it was conducted freezing durability test, Los Angeles test, flakiness index test, organic material (NaOH) test, water absorbing test, Atterberg consistency limits test and methylene blue test. Consequently, marble wastes which are taken from 3 different region of Bilecik was seen proper below base material physical appearances that are determined in Highways Technical Specification.

Keywords- Marble waste, Base material, Bilecik city

I. GİRİŞ

Mermer, kalker ve dolomitik kalkerlerin basınç ve ısı etkileri altında başkalaşıma uğrayarak tekrar kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayaç olarak adlandırılmaktadır. Endüstriyel ve ticari anlamda ise mermer tanımlanması çok geniş bir anlam ifade etmektedir. Blok verebilen, kesilerek parlatma suretiyle cilalanabilen, dayanımı olan ve göze hoş görünen her türlü kayaç mermer olarak tanımlanmaktadır [1]. Türkiye zengin doğal taş madenlerine sahip bir ülkedir. Ülkemizde elde edilen mermer, farklı renk çeşitleri ve kalitesiyle dünyanın bir çok ülkesinde, dünyaca tanınmış mekânlarda kullanılmaktadır. Vatikan'da bulunan Saint Pierre Kilisesinin girişindeki yüzey kaplamalarında Afyon İncehisar mermerleri, ABD'de Beyaz Saray'da, Alman Parlamentosu, Fransa Parlamentosu ve ABD Temsilciler Meclisinde Elazığ vişne mermeri kullanılmıştır. Türkiye'de uygulanan modern ocak üretim metotları ve son teknikler sayesinde rekabetin çok güçlü olduğu dünya doğal maden pazarına uygun üretim ve pazarlama yapabilecek ürünler hazırlayabilen tesis sayımız artmış ve Türkiye dünya doğal taş üretiminde lider yedi üretici ülke arasına girmiştir [2].

Yıllık blok üretimi 550.000 ton civarında olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 6.5 milyon m² civarında olan ülkemizde, üretimdeki bu artış beraberinde atık oluşumunu da arttırmaktadır [3]. Ülkemizde kesilen ve işlenen madenlerin % 30'u atık olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. Bu atıkların çevreye olumsuz etkilerinin yanında ekonomik kayıplara neden oldukları da görülmektedir. Günümüzde değişik sektörlerde kullanılabilen bu atıklar, alternatiflerinin yerine kullanıldığı takdirde ham madde ihtiyaçları daha ekonomik olarak karşılanabilmektedir [2]. Mermer atıkları ocaklarda oluşan atıklar ve fabrikalarda oluşan atıklar

İletişim: nazile.ural@bilecik.edu.tr

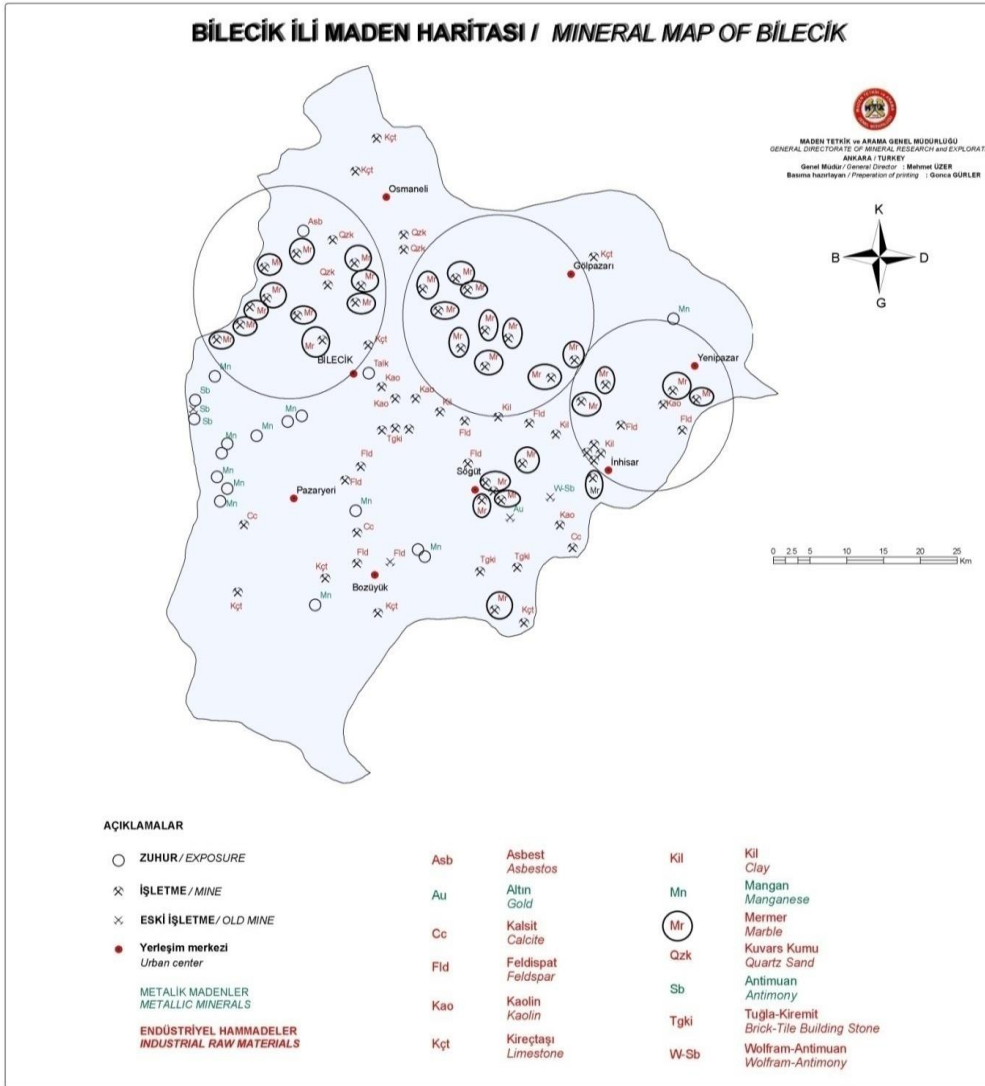
Sorumlu yazar iletişimi: gokhanyakse@gmail.com

^{1,2*} İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe, Bilecik

olarak ikiye ayrılabilir. Birincisi mermer ocaklarında bulunan doğal durumlardan kaynaklı (fay, çatlak, yarık) blok üretimi sırasında; blok elde edilmemesine, dolayısıyla atık malzemelerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. İkincisi ise daha fazla çökeltme havuzlarında karşımıza çıkan mermer tozu atıklarıdır. Mermer atıklarının değerlendirildiği yerleri; inşaat sanayi, seramik sektörü, çimento imalat sanayi, plastik sanayi, kâğıt sanayi, yol imalatı ve kimya sektörü olarak sıralayabiliriz [2]. Bu çalışmada, Bilecik İlının üç farklı bölgesinden alınan atık mermer numunelerinin yol temel malzemesi olarak kullanılabilirliği Karayolları Teknik Şartnamesi kriterlerine göre irdelenmiştir.

II. BİLECİK VE MERMER

Bilecik İlinde 200'ün üzerinde mermer ocak ve işleme tesisleri bulunmaktadır. Bilecik İlindeki mermer ocaklarını Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 3 bölgeye ayırabiliriz (Bilecik İl Özel İdaresi). Bu bölgeler Merkez İlçe, Gölpaazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesi olarak ayrılmaktadır. Doğu batı yönünde bir eksen üzerinde bulunan bu üç farklı bölge mermer ocaklarının yoğunlukta olduğu bölgeler olmakla birlikte mermer yapıları da mineralojik olarak farklılık göstermektedir. Şekil 2.2'de Bilecik İlinde hizmet veren bir mermer ocağının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 1. Bilecik İli maden haritası

Mermer veya taş ocağı atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili birçok bilimsel çalışmalar yapılmıştır [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Çetin (1997) otomobil lastiği, plastik (polietilen), kül, petrollü sondaj atığı ve mermer tozu gibi endüstriyel atıkların asfalt beton karışımlarındaki etkilerini araştırmıştır [4]. Çalışmada kullanılan asfalt çimentosu ve agrega Türk Standartlarına göre tercih edilmiş, kül, sondaj atığı ve mermer tozu atıkları farklı

oranlarda karışıma ilave edilerek elde edilen numunelere Marshal stabilite deneyleri yapılmıştır. Lastik ve plastik ilave edilen asfalt betonu kaplama karışımlarının tokluk ve elastik özelliklerinin iyileştiği ve çatlamların azaldığı anlaşılmıştır.



Şekil 2. Bilecik İlinde hizmet veren bir mermer ocağı

Okagbue ve Onyeobi (1999) yol yapımı için kırmızı tropik zeminin mermer tozu karıştırılarak stabilize edilebilme durumunu araştırmışlardır [5]. Çalışmalarında üç farklı kırmızı tropik toprağın doğal haldeki geoteknik özellikleri ile değişik oranlarda mermer tozu ile karıştırılmış haldeki durumlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada elek analizi, özgül ağırlık, Atterberg kıvam limitleri, standart sıkışma özellikleri, basınç dayanımları ve CBR gibi parametreler ölçülmüştür. Kırmızı tropik toprağın geoteknik özelliklerinin incelenmesi sonucunda yüksek tonajlardaki trafiğe maruz esnek kaplamalara temel tabakalarında kullanım için uygun olmadığı fakat bununla birlikte geliştirilen malzemenin hafif trafiğe maruz yollarda temel malzemesi olarak ve yüksek tonajlardaki trafiğe maruz yollarda alt temel malzemesi olarak kullanılabilceği sonuçlarına varılmıştır.

Drew, Langer ve Janet (2002) ekonominin gelişmesini sürdürmesi ve ülkelerdeki ekonomik büyümenin önemli miktarlarda doğal agrega kullanımı gerektireceğinden bahsetmişlerdir. Günlük hayatımızı kolaylaştıran birçok imalat doğal agregalar kullanılarak inşa edilmektedir [6]. Çalışmada doğal agrega kaynaklarının kullanılması sonucu insanlık için oluşturulan faydalar ile agreganın elde edilmesinin çevresel etkisi karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca yapılarda, yollarda ve asfalt kaplamalarda geri dönüştürülmüş agreganın kullanılmasının gelecekte yeni doğal agrega için olan talebi azaltacağı anlatılmıştır.

Terzi ve Karşahin (2003) mermerlerin düzgün geometrik şekillere getirilebilmesi için kesilmesi sırasında meydana gelen mermer toz atıklarının asfalt betonu imalatında filler malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır [7]. Çalışmada aynı granülometri eğrisine sahip taş tozu ve mermer tozu filleri içeren numunenin Marshall stabilite deney sonuçlarından yararlanarak optimum bitüm değeri belirlenmiştir. Sonrasında, belirlenen bitüm yüzdesi kullanılarak filler/bitüm yüzdesi oranına göre ve filler oranlarına bağlı olarak Marshall numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan numuneler asfalt tester deney aleti kullanılarak dinamik plastik deformasyon deneyine maruz bırakılmış ve meydana gelen deformasyonlar ölçülmüştür. Ortaya çıkan deformasyonlar karşılaştırılmış ve mermer atıkları kullanılarak hazırlanan karışımlarda öngütülen mermer parçaları ile hazırlanan karışımlara göre birim deformasyonların alt ve üst sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.

De Rezende ve De Carvalho (2003) Pedreira Contagem Bölgesi taş ocağı atıklarının esnek yol üst yapılarının temel tabakalarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır [8]. Atık malzemenin yapılan deneyler ile özellikleri belirlenerek, kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada numunelere; Kaliforniya Taşıma Oranı(CBR), Dinamik Koni Penetrasyon, Tabaka Yükleme, Kalem Basınç Ölçme, Benkelman Kirişi ve Düşen Ağırlık Ölçer deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda Pedreira Contagem Bölgesi taş ocağı atıklarının esnek kaplamaların temel tabakaları içinde potansiyel bir kullanım özelliklerine sahip olduğu, bu malzemenin düşük trafik yoğunluğuna sahip yollarda temel malzemesi olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Gürer (2004) Afyon bölgesinde bulunan 4 farklı kayaç numunesi üzerinde agrega fiziksel özelliklerini inceleyerek atık mermer parçalarının bitümlü yol kaplamalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır [9]. Çalışmada öncelikle mermer numuneleri ile agrega özelliklerinin tayinini yapmak maksadı ile özgül ağırlık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi, agrega darbelenme deneyi ve donma etkisi deneyleri yapılmıştır. Daha

sonrasında mermer atık parçaları ile elde edilen bitümlü sıcak karışım numuneleri üzerine penetrasyon deneyi, asfalt çimentosu özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda mermer atıklarından elde edilen bitümlü yol kaplamalarının orta trafik hacimli yollarda kullanılabilmesi görülmüştür.

Yıldız (2008) mermer tozu atıklarının yol inşaatlarında değerlendirilmesi ve yol stabilizasyonuna katkısı konusunda incelemelerde bulunarak bunun yol inşaat maliyetleri üzerindeki etkisini araştırmıştır [10]. Çalışma için Afyon İlinin farklı bölgelerinden temin edilen mermer tozu atıkları, yine yörenin farklı bölgelerinden alınmış kil oranları birbirinden farklı toprak parçaları ile homojen karıştırılmıştır. Numuneler üzerinde Atterberg kıvam limit deneyleri, özgül ağırlık deneyleri, standart sıkıştırma deneyi, kesme kutusu deneyi ve Kaliforniya taşıma gücü deneyleri yapılarak numunelerin özellikleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda mermer tozu atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılmasının uygun olduğu görülmüş olup, bu durumun nakliye mesafeleri de göz önünde bulundurulması halinde yol inşaat maliyetlerini düşürebileceği görülmüştür. Yukarıda görüldüğü gibi mermer atıkları agrega veya toz olarak değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada Bilecik İlinin 3 farklı bölgesinden alınan atık mermer numuneleri üzerinde fiziksel deneyler yapılarak agrega olarak kullanılıp kullanılmayacağı incelenmiştir.

III. MALZEME VE YÖNTEM

Bilecik İli mermer haritasında da görüldüğü üzere il içerisindeki mermer rezervleri Merkez ilçe, Gölpazarı ilçesi ve Yenipazar İlçelerinin içerisinde bulunduğu bir hat boyunca yoğunluk göstermektedir. Bu yüzden bu hat boyunca mermer atıklarından numune alınarak yol üst yapısı temel/alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen deneyler yapılarak değerlendirme yapılmıştır. Öncelikle ocaklardan moloz halinde alınan ve çapları ortalama 75 mm ile 100 mm olan mermer atıkları laboratuvar ortamında mini konkasör yardımı ile kırılarak 0-25 mm çapları aralığında numuneler elde edilmiştir. Elde edilen bu numuneler elek analizleri yapılmak sureti ile Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen 0-25 mm temel malzemesi gradasyonu aralığında, homojen karışımlar elde edilmiştir. Uygulanan deneyler kaba agregalarda MgSO₄ ile donma karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi, NaOH ile organik madde tespit deneyi ve su emme deneyini kapsamaktadır. İnce agregalarda ise likit limit, plastik limit, NaOH ile organik madde tespiti ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Bu yüzden Merkez İlçe İlyasbey Köyü mevkiinden, Gölpazarı İlçesi Şahinler Köyü mevkiinden ve Yenipazar İlçesi Kuşça Köyü mevkiinden mermer atık numuneleri alınarak, bu numuneler temel malzemesi gradasyonuna (0-25 mm) uygun bir şekilde hazırlanarak üzerinde Karayolları Teknik Şartnamesi yol üst yapısı temel malzemesi kalite kontrol deneyleri yapılmıştır.

Hava tesirlerine karşı dayanıklılık veya donma etkilerine karşı dirençlilik deneyi olarak da adlandırılan deney, magnezyum sülfat (MgSO₄) kullanarak agregaların donma ve çözülmeye karşı mukavemetlerinin bulunmasını sağlar. Uzun zaman hava tesirleri altında kalan agregaların, donma ve çözülme olayları sonucunda gradasyon bozulmasına uğradıkları bilinmektedir. Gradasyon bozulmasının da yolun bozulmasına neden olacağından ötürü agregalar, don ve çözülme olaylarına karşı dayanıklı olmalıdır.

Los Angeles deneyi, agregaların maruz kalacağı aşınma faktörleri sonucu mineral agreganın standart gradasyonunun bozulmasının bir ölçümüdür. Agregaların gradasyonun bozulması segregasyonlara sebep olacağından istenilen sıkışma oranı sağlanamaz ve trafik yüklerine maruz kalan yol temelinin çökmesine sebep olabilmektedir. Bu yüzden yol inşaatlarına kullanılacak agregaların aşınma kayıplarının şartname sınırları içerisinde olması gerekmektedir.

Yassılık indeksi deneyi, kalınlığı, nominal boyutunun 0.6'sından daha küçük olan agrega tanelerinin yassı olarak tanımlanmasını esas alan metottur. Yol inşaatlarında kullanılan agregaların kırma taş olması ve yassı olmaması istenmektedir. Trafik yüküne maruz kalan agregalar dört bir yönden gelen basınçlara maruz kalacağından yassı daneler istenilen mukavemeti sağlamamaktadır. Ayrıca yassı danelerin sıkıştırılması da istenilen düzeylerde olmamaktadır.

NaOH ile yapılan organik madde deneyi nicel bir sonuç vermeyip gözlemsel bir deneydir. Deneyde agrega numunelerinin organik madde bulundurup bulundurmadığı tespit edilmektedir. Organik madde içeren agregalar bulunduğu yapı içerisinde kimyasal tepkimeler verebilecek olduğundan deformasyonlara sebep olabilmektedir.

Su emme deneyi ile agrega danelerinin yüzeylerinde su biriktirme kapasitelerini tayin edilmektedir. Su emme kapasitesi yüksek olan agregalar buldukları temel zemini içerisinde suyun barınmasına imkan sağlayarak zemin bozulmalarına neden olmaktadır. Bu yüzden yol temel inşaatlarında kullanılan agregaların su emme kapasitelerinin düşük olması gerekmektedir.

Numunelerin likit limiti Casagrande aleti ile yapılan deneylerden bulunurken plastiste indisi de likit limit ve plastik limit deneyleri sonucuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu deneyler 40 nolu elekten geçen malzemeye su ilave edilerek hamur kıvamına getirilmesi sureti ile yapılır. İnce agregalara uygulanabilen bu deneyle malzemenin likitlik ve plastiklik değerleri tespit edilir. Yol zemin inşaatlarında kullanılacak agregaların non plastik olması istenmektedir. Bunun nedeni yol temellerinin yoğun şekilde suya maruz kalacağından ötürü temel zemini içerisinde bulunan ince agregaların plastik davranış göstermesinin temel zeminde deformasyonlara neden olacağıdır.

Metilen mavisi deneyi agregaların kirlilik oranını belirlemek için yapılmaktadır. Bu deney 2 mm'lik elekten geçen agregalar ile yapılmaktadır. Yol inşaatlarının temel tabakalarında kullanılacak agregaların kirlilik oranının en fazla %3 olabileceği şartnamelerde belirtilmektedir. Çünkü kirli agregalar barındırdıkları kir tabakaları ile yol temel zeminin trafik yükleri karşısında dayanımlarını azaltmaktadır.

IV. DENEY SONUÇLARI

Karayolları Teknik Şartnamesinde [13] yol üst yapısı temel malzemelerinin standartlarını belirleyen deneyler Merkez İlçe, Gölpazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesinde bulunan mermer ocaklarından temin edilerek atık mermer numunelere uygulanmıştır. Deney sonuçları ve Karayolları Teknik Şartnamesi kriterleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kaba agreganın fiziksel özellikleri

DENEY ADI	KRİTER [14]	DENEY METODU	MERKEZ NUMUNESİ	GÖLPAZARI NUMUNESİ	YENİPAZAR NUMUNESİ
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi	≤20	TS EN 1367-2	16.54	13.46	11.83
MgSO ₄ ile kayıp, %					
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤35	TS EN 1097-2	14.17	11.51	13.48
Kil Topağı, Dağılabilen Tane Oranı, %	≤1,0	ASTM C-142	0.00	0.00	0.00
Yassılık İndeksi %	≤25	TS EN 933-3	20.87	14.52	11.94
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1	Negatif	Negatif	Negatif
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %	≤3,0	TS EN 1097-6	0.0214	0.0171	0.0177

Tablo 2. İnce agreganın fiziksel özellikleri

DENEY ADI	KRİTER[14]	DENEY METODU	MERKEZ NUMUNESİ	GÖLPAZARI NUMUNESİ	YENİPAZAR NUMUNESİ
Likit Limit, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T89	NP	NP	NP
Plastiste İndeksi, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T90	NP	NP	NP
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1	Negatif	Negatif	Negatif
Metilen Mavisi,	≤3.0	TS EN 933-9	0.5	0.5	0.5

Bu çalışmada yapılan deney sonuçları ile Karayolları Teknik Şartnamesi kriterlerini karşılaştırdığımızda; en fazla % 20 olması istenen hava tesirlerine karşı kayıp değeri Merkez ilçe numunesinde

%16.54, Gölpazarı İlçesi numunesinde %13.46 ve Yenipazar Numunesinde %11.83 olarak hesaplanmıştır. Los Angeles parçalanma dirence şartnamede en fazla %35 istenmekte olup Merkez İlçe numunesinde 14.17, Gölpazarı İlçesi numunesinde 11.51, Yenipazar İlçesi numunesinde ise 13.48 olarak elde edilmiştir. Kil topağı ve organik madde miktarı en fazla %1 olabilecek olup deneye tabi tutulan üç farklı mermer atığı numunesinde de bu maddelere rastlanmamıştır. Şartnamede en fazla %3 olabilecek su emme kapasitesi Merkez İlçe numunesinde 0.0214, Gölpazarı İlçesi numunesinde 0.0171, Yenipazar İlçesi numunesinde ise 0.0177 olarak elde edilmiştir. İnce agregaların likit limit ve plastite indeksi değerleri ise şartnamede istenildiği üzere non plastik olarak elde edilmiştir. Agregalardaki kirlilik oranını belirleyen metilen mavisi deneyinde ise şartnamede en fazla %3 kirlilik istenmekte olup tüm numunelerde bu değer 0.5 olarak hesaplanmıştır. Yapılan deney sonuçları Karayolları Teknik Şartnamesi kriterleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Bilecik İlının 3 farklı bölgesinden alınan mermer atıklarının agrega olarak kullanımının uygun olduğu gözlenmiştir.

V. MALİYET ANALİZİ

Yol inşaatlarında temel malzemesi olarak taş ocaklarından temin edilen kırma taş agregalar kullanılmaktadır. Bu malzemelerin hem elde edilme maliyetleri hem de nakliye bedelleri büyük bütçe oluşturduğundan daha yakın mesafelerde daha ucuza elde edilen malzemeler inşaat maliyetlerini ciddi ölçüde düşürmektedir. Doğal agreganın elde edilme maliyetinde; taş ocağından patlayıcı madde kullanılarak çıkartılan taşın maliyeti, ocaktan elde edilen taşın kompresörle veya elle hazırlanması, lastik tekerlekli yükleyici ile yüklenmesi, konkasörde kırılması-elenerak sınıflandırılması, araçlara yüklenmesi ve inşaat sahasına nakliyesi dikkate alınmaktadır (Tablo 5.1).

Tablo 3. Doğal agreganın birim maliyet analizi

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : Doğal Agrega Analizi					
Açıklama : Taş ocağından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 inç) lik temel malzemesi maliyeti					
Birim :m³					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	2015 Fiyatı	Toplam (TL)
	36,4294% MALZEME				14.87
08.021(Y)	Ocaktaşı	m ³	1	14.87	14.87
	6.9662% İŞÇİLİK				4.63
01.409	Formen	sa	0.25	11.60	2.9
01.501	Düz işçi	sa	0.3	5.75	1.73
	15.1689% MAKİNA				9.01
03.521	Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti	sa	0.03	68.32	2.05
03.530	Konkasörün 1 saatlik ücreti	sa	0.045	154.69	6.96
	41.4355% DİĞER				9.14
KGM/08.021/K	El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması	m ³	1	8.35	8.35
02.017	"k" katsayısı (taşıt)	K	0.00375	210	0.79
	Toplam				37.65
	Yüklenici Karı%25				9.41
	Genel Toplam				47.06

2015 birim maliyetleri kullanılarak doğal agregadan elde edilen 1m³ temel malzemesinin nakliye hariç

birim maliyeti 47.06 TL olarak hesap edilmiştir. Doğal agreganın yığın birim ağırlığı ortalama 1.6 t/m³ olarak alındığı takdirde, 1 ton temel malzemesinin birim maliyeti 29.41 TL'dir.

Mermer Parça Atıkları maliyeti olarak; lastik tekerlekli yükleyici ile yüklenmesi, konkasörde kırılması, elenerek çaplarına ayrılması, taşıma aracına yüklenmesi ve inşaat sahasına nakliyesi dikkate alınmıştır (Tablo5.2). Mermer parça atıkları imal edilen 1 m³ temel malzemesinin 2015 yılı birim fiyatları ile nakliye hariç birim maliyeti 22.69 TL olarak hesap edilmiştir. Mermer parça atıklarının yığın birim ağırlığı ortalama 1.56 t/m³ olduğundan, 1 ton temel malzemesinin birim maliyeti 14.54 TL'dir.

Tablo 4. Mermer parça atıklarının birim maliyet analizi

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : Atık Mermer Analizi					
Açıklama : Atık mermerin konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 inç) lik temel malzemesi maliyeti					
Birim :m ³					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	2015 Fiyatı	Toplam(TL)
	0,0% MALZEME				-
	-				-
	10.9582% İŞÇİLİK				-
	23.8615% MAKİNA				9.01
03.521	Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti	sa	0.03	68.30	2.05
03.530	Konkasörün 1 saatlik	sa	0.045	154.69	6.96
	65.1802% DİĞER				9.14
08.021/K	El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması	m ³	1	8.35	8.35
02.017	"k" katsayısı (taşıt)	K	0.00375	210	0.79
				Toplam	18.15
				Yüklenici Karı%25	4.54
				Genel Toplam	22.69

Doğal agregadan temin edilen 1 ton temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti 29.41 TL olarak bulunmuştur. Mermer atıklarının değerlendirilmesi ile temin edilen 1 ton temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti de 14.54 TL olarak bulunmuştur.

1 ton temel malzemesi için fiyat farkı: 29.41– 14.54= 14.87 TL olur.

İki malzeme arasındaki bu birim fiyat farkının taşıma uzaklığı olarak kaç kilometreye karşılık geldiği hesap edilecek olursa:

M>10 km olan taşımalar için taşıma formülü aşağıdaki gibidir.

$$F= 1.25 \times A \times K \times (0.0007 \times M+0.01)$$

(A: Yol durum katsayısı, K: Taşıma katsayısı birim fiyatı, M: Mesafe, F: Birim fiyat)

Analiz çalışması yapılan Yenipazar ve Gölpazarı ilçelerinin A katsayıları 1.25 olduğundan (İl Özel İdaresi Komisyon Raporu, 2015),

$$F= 1.25 \times 1.25 \times 210 \times (0.0007 \times M+0.01)=(0.2756 \times M + 3.28)(\text{TL}/t) \text{ olur.}$$

$$F= 0.2296 \times M + 3.2812 = 14.87 \text{ TL}/t$$

$$M = 50.47 \text{ km olarak bulunur.}$$

Yapılan hesaplarla elde edilen 50.47 km taşıma uzaklığına mermer parça atıkları ve doğal agrega için ekonomik eşitlik mesafesi denilebilir. Diğer bir deyişle, mermer parça atıkları sahasına 50.47 km uzaklıktaki

bir yol şantiyesi için, hemen şantiye yanında bir taş ocağı olsa dahi, 50.47 km uzaklıktan mermer parça atıkları getirerek kullanmak, doğal agrega kullanımı ile aynı maliyeti vermektedir.

VI. SONUÇLAR

Bilecik İlinin mermer yapısı olarak birbirinden farklı özellikler gösteren 3 bölgesi olan Merkez İlçe, Gölpazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesinden alınan mermer atık numunelerine Karayolları Teknik Şartnamesi Yol Üst Yapısı Temel Malzemelerinin kriterlerinin belirlendiği deneyler uygulanmış olup deney sonuçlarına göre tüm numunelerin temel malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Numuneler fiziksel özelliklerine bakıldığında donma etkisine karşı en dayanıklı numunenin Yenipazar İlçesinden alınan atık olduğu görülmektedir. Gölpazarı İlçesinden alınan mermer atık numunelerinin ise aşınma dayanımının diğer numunelere göre yüksek olduğu görülmektedir.

Bilecik İlinde yol malzemesi üreten taş ocaklarının ve konkasörlerinin Merkez İlçe ve Bozüyük İlçesinde olmasından ötürü Merkez İlçede mermer atıklarının yol temellerinde kullanılması daha ekonomiktir. İl merkezine uzak mesafede bulunan Gölpazarı ve Yenipazar ilçelerindeki mermer atıklarının konkasör yardımı ile istenilen dane boyutlarına getirilmesi halinde yol inşaatlarında temel malzemesi olarak kullanılmasının; hem mermer atıklarının bulunduğu yörede değerlendirilmesi açısından, hem de yol inşaatlarında nakliye maliyetlerini azaltması açısından uygun olacağı görülmektedir. Ayrıca Karayolları Teknik Şartnamesinde temel malzemesi fiziksel özellikleri, alttemel malzemesinin fiziksel özelliklerini de sağladığından dolayı, mermer atıkları alttemel gradasyonuna uygun hale getirilmeleri halinde alttemel malzemesi olarak da kullanılabilirler.

KAYNAKLAR

- [1] Görgülü, K., 1994. *Bazı Mermer Ocaklarında (Isparta - Burdur - Sivas) İşletme Sistemlerinin İncelenmesi ve Öncelikli Kaya Madde/Kütle Özellikleri İle İlişkilendirilmesi Araştırmaları*. C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.L. Tez Sivas. 95 s.
- [2] Bilensoy, M., *Mermer ve Toz Atıklarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Maden Mühendisliği A.B.D. Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [3] Uyanık, T., 2008, *Doğaltaşlar*, T. C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatıGeliştirme Etüd Merkezi, Ankara.
- [4] Çetin, A., 1997, *"Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi"*, Yüksek Lisans Tezi Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- [5] Okagbue, C., O., Onyeobi, T.U.S., 1999, *"Potansiyel of marble dust to Stabilise Red Tropical Soils For Road Construction"*, Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:53.
- [6] Drew, L.J., Langer, W.H., Sach, Janet, S., 2002, *"Environmentalism and Natral Aggregate Mining"*, Natural Resources Research, Elsevier Sience, Vol.11 No:11
- [7] Terzi, S., Kardeşin, M., 2003, *"Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karşımlarında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı"*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt 14, S.2
- [8] D Rezende, R, I., and Carvalho, J. C., 2003. *é The Use of Quarry Waste in Pavement Constructioné, Resources Convection & Recycling, Elsevier Sience.*
- [9] Gürer C. 2004, *"Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Kullanılması"* Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi

- [10] Yıldız, A. H., "Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi Doktora Tezi", Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta 2008
- [11] Lappa, Ş., Yıldız, A., Demirbilek, Ö., 1997, "Mermercilikte Atık Sorunu, Atıkların Değerlendirilmesi ve Çevre İlişkileri, Mermercilik Semineri Raporu", Afyonkarahisar. Çelik, M. Y., 1996, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Afyonkarahisar.
- [12] Ural N., Karakurt C., Cömert A., "Influence of Marble Wastes on Soil Improvement and Concrete Production", Journal of Material Cycles and Waste Management, July 2014, Volume:16
- [13] *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, (2013).
- [14] *TS Türk Standartları 9581, 1991*, Şehir içi Yollar - Esnek Üstyapılı Alttemel ve Temel Tabakaları Yapım Kuralları

