

DOI: [10.38027/ICCAUA2021TR0041N7](https://doi.org/10.38027/ICCAUA2021TR0041N7)

Usability of Marble Waste as a Road Base Material, Case Study of Bilecik Province

Lecturer **Ahmet Neim Kahveci**¹, Associate Professor **Nazile Ural**²
Bilecik Şeyh Edabli University, Occupational Health and Safety Coordinator¹
Bilecik Şeyh Edabli University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering²
E-mail¹: ahmet.kahveci@bilecik.edu.tr, E-mail²: nazile.ural@bilecik.edu.tr

Abstract

As a result of the constantly increasing needs, developments in technology and industry cause an increase in waste. With the increase of wastes, it has become necessary to recycle wastes in order to reduce the environmental problems that arise. For this purpose, many sectors try to minimize the expenses during the manufacturing stages, energy consumption, raw material, and space usage as much as possible. In the construction industry, where raw material consumption is the highest, the most consumed raw material is aggregate. Approximately 95% of the materials used in road constructions consist of aggregate, and the aggregate used is obtained from the quarries. The need for aggregate quarries is increasing day by day and the general structure of the earth is partially deformed. In this context, the wastes generated in the marble quarries of Bilecik province were evaluated as road base material according to the Turkey Highways Technical Specification (TKTŞ). Laboratory experiments defined in TKTŞ were carried out and the results showed that marble wastes can be used as road base material. As a result, using marble wastes as road base material will provide an environmental and economic benefit.

Keywords: Marble Waste; Road Base Material; Bilecik Province.

Mermer Atıklarının Yol Temel Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, Bilecik İli Örneği

Özet

Sürekli artan ihtiyaçlar sonucunda teknoloji ve sanayide yaşanan gelişmeler atıkların artmasına sebep olmaktadır. Atıkların artmasıyla, ortaya çıkan çevre sorunlarını azaltmak için atıkların geri dönüşümünün yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu amaçla, birçok sektör imalat aşamalarındaki giderleri, enerji tüketimini, hammadde ve mekan kullanımını olabildiğince en asgari düzeye indirmeye çalışmaktadır. Hammadde tüketiminin en fazla olduğu inşaat sektöründe ise en fazla tüketilen hammadde agregadır. Yol inşaatlarında kullanılan malzemelerin yaklaşık %95'i agregadan oluşmaktadır ve kullanılan agrega ocaklardan temin edilmektedir. Agregada ocaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artmakta ve yeryüzünün genel yapısı kısmen deformasyona uğramaktadır. Bu kapsamda Bilecik ili mermer ocaklarında meydana gelen atıkların Türkiye Karayolları Teknik Şartnamesine (TKTŞ) göre yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. TKTŞ'de belirtilen laboratuvar deneyleri yapılmış ve sonuçlar mermer atıklarının yol temel malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Sonuç olarak mermer atıklarının yol temel malzemesi olarak kullanılması, çevresel ve ekonomik açıdan bir kazanım sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mermer atığı; Temel malzemesi; Bilecik ili.

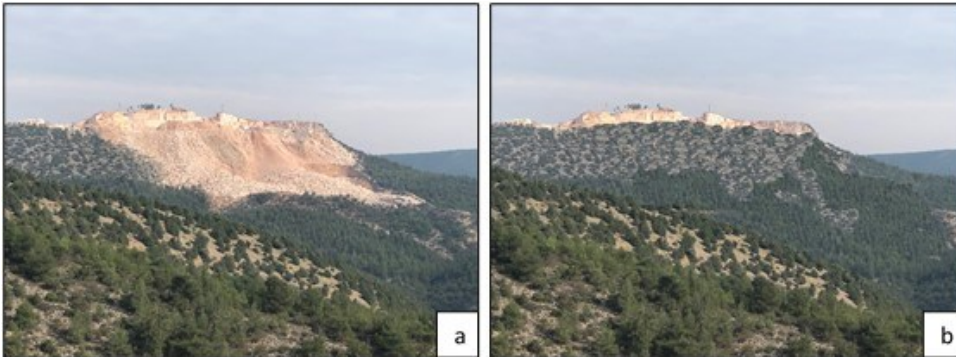
1. Giriş

Teknolojideki gelişmeler ve dünya nüfusunda yaşanan sürekli artış neticesinde atıklar oluşmaktadır. Kullanım dışı malzeme olarak isimlendirilen atıklar beraberinde bir takım çevre sorunlarını da sebep olmaktadır. Özellikle sanayi atıklarının hacminde yaşanan hızlı artış çevre kirliliğine sebep olmakta ve bu kirlilikte doğal yaşam üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır. Dünyamızda bulunan doğal kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesiyle birlikte karşılaşılan bu sorunların çözümü de büyük bir önem kazanmaktadır. Günümüzde, oluşan atıkların azaltılması, hammadde kaynağı olarak mevcut atıkların değerlendirilmesi ve kullanılmış olan hammaddelerin yeniden değerlendirilmesi gibi atık yönetimi konularında çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Üretim miktarının milyonlar mertebesine ulaştığı ve endüstriyel faaliyetler sonucunda meydana gelen atıklar; farklı endüstri kollarında bir hammadde kaynağı olarak yeniden kullanımı ile geri kazanımı, maliyet düşüşü, atık bertarafı ve etkin bir şekilde kaynak kullanımı gibi nedenlerden ötürü önemli bir hal almaktadır. Mermer atıklarının çevre ve diğer bakımlardan etkileri; atık yok edilemezdir, bu atıkların dökülebileceği alanlar sınırlıdır ve görüntüsü çirkindir, döküldüğü alanda toprağı kirletirler,

döküldüğü alandaki su kaynaklarının kirletir, havayı kirletir (Kushwah vd., 2015) şeklinde listenebilir. Ayrıca, atık olarak oluşan malzemelerin yeniden kullanımı veya geri dönüşümü ile yeryüzünde kısıtlı miktarlarda bulunan doğal kaynakların tüketimi azaltılacak ve doğada meydana gelecek tahribatın önüne geçilecektir. Diğer taraftan atık malzemenin geri dönüşümü, üretimde verimliliği artırarak atık depolaması ile oluşabilecek çevre problemlerini de en aza indirmektedir (Bilensoy, 2010).

Hammadde tüketiminde en fazla paya sahip olan sektörlerden biri de inşaat sektörüdür. İnşaat sektörünün amaçları arasında, imalat aşamasındaki maliyetleri minimum düzeye indirmek, enerji tüketimi ve hammadde kullanımını mümkün olduğu kadar en aza indirmek yer almaktadır. Hammadde tüketiminin en çok olduğu inşaat sektöründe en fazla tüketilen hammadde ise agregadır. Bu sektörün önemli bir alanını oluşturan yol inşaatlarında üstyapıda kullanılan malzemelerin yaklaşık %95'ini agregalar oluşturmaktadır. İmalatta kullanılan agrega, çevredeki uygun agrega ocaklarından temin edilmektedir. Bu nedenle her geçen gün agregaya olan ihtiyacın artması ile birlikte yeni agrega ocaklarına olan ihtiyaçta giderek artmaktadır. Agregaya ocaklarına olan ihtiyacın artması ile, yeryüzünün genel yapısında yer yer bozulmalar meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra yerleşim yerlerinin yakınında bulunan ocaklarda kaliteli malzemenin azalmasıyla, yerleşim yerlerinden daha uzak mesafelerde bulunan ocaklara bir yönelme söz konusu olacaktır. Bu yönelme sonucunda malzeme temini için nakliye maliyetlerinde bir artış yaşanmaktadır (Yılmaz, 2008). Bu sebeple, yol inşaatlarında atıkların kullanılması çok yönlü fayda sağlamaktadır. Büyük miktarlarda malzeme ihtiyacı olan yol inşaatlarında atık kullanımı, bir taraftan dünyamızda kısıtlı miktarlarda bulunan doğal kaynakların hızla azalmasını önlerken, diğer taraftan da inşaat maliyetlerinde yaşanan düşüş bakımından fayda sağlamaktadır (Alataş vd., 2006).

Gelişmiş ülkeler de gereksiz doğal kaynak kullanımını engellemenin yanında, hayat standartlarını iyileştirme amaçlı ve meydana gelen enerji ihtiyacıyla, atıkların geri kazanılmasını amaçlayan yöntemlerin geliştirilmesine hız vermiştir. Geri dönüşüm, meydana gelen atıkların ham madde olarak kullanılması ile yeni bir ürün elde edilmesi olarak adlandırılmaktadır. Geri dönüşüm evreleri ise, kaynaktan ayrıştırma, kullanılabilir atıkların ayrı ayrı toplanması, sınıflandırılması, değerlendirilmesi ve elde edilen yeni ürünün ekonomiye geri kazandırılması olmak üzere beş adımdan oluşmaktadır. Geri kazanım da amaç atıkların, yeniden kullanılarak enerji elde etme veya fiziksel ve kimyasal birtakım işlemler uygulanması sonucunda yeni bir ürün elde etmek amacı ile toplanmasıdır. Geri dönüşümün sağladığı diğer bir fayda ise doğal kaynakların gereksiz yere tahrip edilmemesidir. Dünya nüfusunda yaşanan hızlı artış ve tüketim alışkanlıklarında meydana gelen değişimler ile doğal kaynaklar günden güne azalmaktadır. Azalan doğal kaynakları verimli bir şekilde kullanabilmek için malzeme üretiminde hammadde ihtiyacını azaltarak, geri dönüştürülebilir atıkları yeniden kullanmak gerekmektedir. Bu yüzden doğal kaynakların korunması ve gerektiği gibi kullanılması geri dönüşüm açısından önemli bir işlemdir. Geri dönüşüm amacı ile yapılan tüm çalışmalar, atık yönetimi çalışmalarını ülke genelinde yaygınlaştırarak, oluşacak atık miktarlarını azaltmayı amaçlamaktadır. Bu sebeple atık yönetimi ile çevreye verilen olumsuz etkiler azalacak, yeni hammadde ihtiyacı azalacak ve enerjide tasarruf sağlanacaktır. Şekil 1. (a)'da mermer ocaklarının doğa içerisindeki oluşturmuş oldukları durumlar ve tahribatlar görülmektedir. Atıkların kontrolsüz şekilde doğaya bırakılması yerine geri dönüşümü tercih edilerek yol inşaatlarında kullanılmış olması ile hem atık bertarafı için ekstra bir maliyet hem de bu istenmeyen çevresel sorunlar oluşmayacaktır. Atık malzemenin geri dönüşümü için ocak sahasından uzaklaştırıldığı düşünüldüğünde ocakta ortaya çıkacak görüntü Şekil 1. (b)'de modellenmiştir. Görüldüğü üzere atık kontrolü ile olumsuz çevresel faktörlerin önüne geçilmiş, atıkların geri kazanılması ile doğamızda sınırlı miktarlarda bulunan hammaddeye olan ihtiyaç azalmış ve yine ekonomik bir fayda sağlanmıştır (Dhanapandian ve Gnanavel, 2009a), (Dhanapandian vd., 2009b).



Şekil 1. a) Kontrolsüz atık depolama, b) Kontrollü atık bertarafı (modelleme).

Son yıllarda yol yapım maliyetlerinin yüksek olması ve atık maddelerin kullanıldıkları yol üst yapısının performans özelliklerinde sağladıkları katkı nedeniyle, araştırmacılar bu atık maddelerin yeniden kullanılması konusundaki çalışmalara yönelmiştir (Çetin, 1997; Okagbue ve Onyeobi, 1999; Drew vd., 2002; Terzi ve Karaşahin, 2003; D

Rezende ve Carvalho, 2003; Gürer, 2004 ; Yıldız, 2008; Ural ve Yakşe, 2015; Ahmed vd., 2014; Mostafa, 2016; Misra vd., 2010).

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. 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.

De Rezende ve De Carvalho (2003) Pedreira Contagem Bölgesi taş ocağı atıklarının esnek yol üst yapılarının temel tabakalarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. 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 kullanılabilmesi görülmüştür.

Gürer (2004) Afyon bölgesinde bulunan 4 farklı kayaç numunesi üzerinde agrega fiziksel özelliklerini inceleyerek atık mermer parçalarının bitümlü yol kaplamalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada öncelikle mermer numuneleri ile agrega özelliklerinin tayinini yapmak maksadı ile özgül ağırlık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi, agrega darbelene 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.

Ahmed vd. (2014) mermer atıkları dâhil üç farklı atığın yol yapımında temel tabaka ve alt temelde kullanım imkânları üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada öğütülmüş olarak fosfat, mermer ve granit agregalar ele alınmıştır. Malzemelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini tespit etmek için deneyler gerçekleştirilmiştir. Modifiye proktor ve CBR testlerinin atık malzemenin uygunluğunu belirlemede en önemli iki test olduğu belirtilmiştir. Deneysel sonuçlar çalışmada ele alınan her üç atık malzemenin de lokal düşük hacimli yol yapımında agrega yerine güvenle kullanılabilmesini göstermiştir. Yapılan değerlendirmede fosfat ve mermer atıklarının yüksek CBR değerleri nedeniyle temel altındaki nitelikli malzeme yerine güvenle kullanılabilmesi ve düşük CBR değeri (%41) nedeniyle granit atıkların sulanarak sıkıştırılmış yollarda kullanılabilmesi belirtilmiştir. Çalışmada son olarak söz konusu atıkların uygun kullanımının yararlı olacağı ve böylece doğal kaynakların korunacağı ve çevre kirliliğinin azalacağı ifade edilmiştir.

Misra vd. (2010) mermer tozunun yol yapımında kullanımı üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla bir inşa sahasından atık numune alınmış ve numuneler üzerinde dane boyutu analizi gerçekleştirilmiştir. Boyut analizi sonuçları temin edilen malzemenin kaba daneli olduğunu göstermiştir. Numune üzerinde ayrıca likit limit testi ve plastik limit testi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numune agrega ile mermer tozu 5'e 1 oranında homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmış, sıkılaştırma işlemine tabi tutulmuş ve bu karışım ile hazırlanan temel için sürüş kalitesi, çökme ve nem ölçümleri gibi farklı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sürüş kalitesinin dolgu yüzeyinin pürüzlülüğüne direkt bağlı olduğu belirtilmiştir. Çökme miktarının zamana bağlı olarak bir miktar değişiklik sergilediği gözlemlenmiştir. Plastisite testi malzemenin düşük sıkıştırılabilir tabakasına sahip olduğunu göstermiştir. Agreganın mermer tozu ile %40' a kadar oranlarda karıştırılmasının plastisitede yalnızca düşük değişikliklere neden olduğu gözlemlenmiştir. Agreganın yük taşıma kapasitesinin %20'ye kadar mermer tozu ilavesi ile iyileştiği saptanmıştır. Sonuçlar ayrıca atıkların dolgu olarak kullanılabilmesinin yanında alt temelde agrega yerine %20-30 oranda kullanılabilmesini göstermiştir.

Fırat vd. (2012) yol alt temelinde potansiyel bir alternatif dolgu malzemesi olarak üç farklı atığın (mermer tozu, uçucu kül ve cam atığı) agrega yerine kullanımına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Numuneler üzerinde standart proktor, geçirgenlik, CBR testleri, X ışınları kırılımı ve elektron mikroskobu analizleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar sonuçta, uçucu kül, mermer tozu ve atık malzemenin yol alt temel dolgu malzemesi olarak stabilizasyon amaçlı kullanılabilmesini ifade etmişlerdir.

Ural ve Yakşe (2016) yaptıkları deneysel çalışma ile mermer atıklarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesini araştırmışlardır. Bu kapsamda hava tesirlerine ve donmaya karşı dayanıklılık deneyleri, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, NaOH ile yapılan organik madde tespiti deneyi, su emme deneyi, Atterberg kıvam limitleri deneyi ve metilen mavisi deneylerini 3 farklı bölgeden alınan numuneler üzerinde yapılmıştır. Sonuçta kullanılan mermer atıklarının alt temel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini Türkiye standartları için sağladığı ve yol temel malzemesi olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

Mostafa (2016) mermer ve mermer tozu da dâhil bazı atıkların farklı yol katmanlarında kullanımını değerlendirmek üzere bir deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Mermer ve bazı diğer atıkların alt temelde ve temel tabakasında

kullanımı değerlendirilmiştir. Bu aşamaya ait sonuçlar mermer dâhil ele alınan atıkların hem alt temelde hem de temel tabakasında kullanılabileceğini göstermiştir. Bu durumda ayrıca toplam maliyette %12.5 ile %53.5 arasında tasarruf mümkün olmuştur. Ayrıca temelde ve alt temelde öğütülmüş beton ve öğütülmüş taş karışımı kullanımının CBR'de düşüşe ve optimum nem oranında artışa neden olduğunu göstermektedir. Ayrıca temel ve alt temelde öğütülmüş beton ve öğütülmüş taş kullanımının CBR'de düşüşe optimum nem içeriğinde artışa neden olduğunu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada mermer ocaklarından alınan atıkların, yol üst yapısının temel kısmında kullanılan malzemelerin yerine kullanılıp kullanılmayacağı ve şartnamelerde belirtilen kriterleri sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında; elek analizi, yassılık indeksi deneyi, hava tesirlerine ve donmaya karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, NaOH ile yapılan organik madde tespiti deneyi, su emme ve özgül ağırlık deneyi, Atterberg kıvam limitleri deneyi, metilen mavisi deneyi, kil topağı deneyi, modifiye proktor deneyi, kuru ve yaş Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi, donma-çözünme deneyi, XRF, XRD, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Mermer atıklarının yol yapımında değerlendirilebilmesi için yapılan bu çalışmada deney numunelerinin hazırlanması için agrega ve mermer atığı olmak üzere iki çeşit malzeme kullanılmıştır. Agregaya Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü tarafından onaylı olarak kullanılan yol temel malzemesi "(Bursa-İnegöl) Ayr.-Yenişehir (Bilecik-Osmaneli) Ayr. Yolu KM:25+000-314+50 ile Yenişehir Güney Geçişi KM: 0+000-7+419,06 Kesimlerin Yapım İşi" İncirli taş ocağından agrega (kireç taşı cinsi kırmataş) olarak temin edilmiştir. Malzeme Şekil 2.'de görüldüğü üzere bir konkasör yardımı ile kırılarak ocakta 0-5 mm, 5-12 mm, 12-19 mm ve 19-38 mm boyutlarında stoklanmıştır. Deneylerde kullanılacak malzeme stoktan uygun numune alma yöntemleri ile alınmış ve laboratuvar ortamına götürülmüştür.



Şekil 2. Agregaya stok sahisi.

Mermer atığı olarak kullanılan malzeme ise Bilecik ili Yenipazar ilçesindeki bir mermer ocağı işletmesinden temin edilmiştir. Bilecik il içerisindeki mermer rezervleri Merkez ilçe, Gölpazarı ilçesi ve Yenipazar İlçelerinin oluşturduğu bir hat boyunca yoğunluk göstermektedir. Bu hat içerisindeki bölgeden mermer atıklarından numune alınarak (Şekil 3) yol üst yapısı temel malzemesi yerine ikame edilerek kullanılabilirliği konusunda KTS'de belirtilen deneyler yapılarak değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 3. a) Mermer ocağı mermer atığı temini, b) Mini konkasör yardımı ile malzeme kırımı.

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 (Görgülü, 1994). Bu çalışmada, mermer ocağından çapları ortalama 75 mm ila 150 mm arasında değişen moloz olarak alınan mermer atıkları laboratuvar ortamında bir mini konkasör yardımı ile kırılarak 0-38 mm çapları aralığında numune elde edilmiştir. Elde edilen bu numune uygun elek aralıklarında elenerek İncirli taş ocağından alınan agrega boyutlarında sınıflandırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Agrega ve mermer atığı numuneleri



Şekil 5. Kuru karışımlar a) Karışım-1, b) Karışım-2, c) Karışım-3, d) Karışım-4, e) Karışım-5

Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü Tarafından (Bursa-İnegöl) Ayrımı-Yenişehir (Bilecik-Osmaneli) Ayrım Yolu KM:25+000-314+50 ile Yenişehir Güney Geçişi KM: 0+000-7+419,06 Kesimlerin Yapım İş'i'nde kullanılmak üzere deneyler sonucunda dizaynı yapılan TİP-1 PM temel tabakası karışım oranlarına (Tablo 1.) göre ve Tablo 2.'de verilen 5 değişik şekilde homojen karışımlar hazırlanmıştır (Şekil 5.).

Tablo 1. TİP-1 PM temel tabakası karışım oranları

Elek Açıklıkları		0-5	5-12	12-19	19-38	Karışım	KTŞ 402. Kısım PMT TİP-1		Dizayn Tolerans Limitleri	
(İnch)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%44					
1-1/2"	37,5				100	100			100	100
1"	25,4				54	86	72	100	79	93
3/4"	19		100	100	15	75	60	92	68	82
3/8"	9,5		82	1		57	40	75	50	64
No 4	4,75	100	6			45	30	60	38	52
No10	2,00	70	1			31	20	45	26	36
No 40	0,425	33				15	8	25	10	20
No 200	0,075	14				6	0	10	4	8

Tablo 2. Oluşturulan karışım tipleri

Karışım No	0-5 mm	5-12 mm	12-19 mm	19-38 mm
Karışım-1	Agrega	Agrega	Agrega	Agrega
Karışım-2	Atık	Agrega	Agrega	Agrega
Karışım-3	Agrega	Atık	Agrega	Agrega
Karışım-4	Agrega	Agrega	Atık	Agrega
Karışım-5	Agrega	Agrega	Agrega	Atık

Tablo 2.'de verilen Karışım-1'de karışım içerisine giren bütün malzemeler normal şartlarda yol inşaatlarında kullanılan ocaklardan temin edilen agregadan oluşmaktadır. Karışım-2'de ise 0-5 mm aralığındaki malzeme mermer atığı ve diğer aralıklar agrega, Karışım-3'de 5-12 mm aralığı dışında kalan aralıklar agrega, 5-12 mm aralığı ise mermer atığı, Karışım-4'de 12-19 mm aralığı mermer atığı ve diğer aralıklar agrega. Son olarak Karışım-5'de ise 19-38 mm aralığı mermer atığı olacak şekilde hazırlanmıştır.

KTŞ granüler temel malzemesi TİP-1 PM temel gradasyonuna göre hazırlanan karışımlara elek analizi deneyi, parçalanma direncinin tayini (Los Angeles aşınma deneyi), kaba agregalarda MgSO₄ ile dona karşı dayanıklılık deneyi, özgül ağırlık ve su emme (absorbsiyon) deneyi, yassılık indeksi deneyi, NaOH ile organik madde tespit deneyini kapsamaktadır. İnce agregalarda ise likit limit, plastik limit, NaOH ile organik madde tespiti ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Ayrıca granülometrisi dizayn değerlerine göre ayarlanmış numuneler üzerinde modifiye proktor deneyi yapılmıştır. Bu sebeple İncirli taş ocağından agrega ve Yenipazar İlçesi Kuşça Köyü mevkiinde bulunan bir mermer ocağından da mermer atıkları alınmıştır. Bu malzemeler ile temel malzemesi gradasyonuna uygun bir şekilde numuneler hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde KTŞ yol üst yapısı temel malzemesi için istenen kalite kontrol deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan standartlar ve yapılan deney sayıları Tablo 3.'te verilmiştir.

Temel tabakasının stabilitesi ve yoğunluğu üzerine etki eden en önemli özelliklerden birisi de agrega gradasyonudur. Dolayısıyla, farklı boyutlardaki agrega danelerinin karışımında hangi oranlarda bulunması gerektiği şartnamelerde alt ve üst limitlerle belirtilmiştir. Temel tabakasında kullanılacak malzeme özelliklerinin şartnamelerde verilen sınırlar içinde olup olmadığının araştırılması amacı ile elek analizi deneyi yapılmıştır.

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

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

Özgül ağırlık, belirli bir hacim ve sıcaklıktaki malzemenin havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Agregaların su emme kapasitesi sahip oldukları boşluk hacimlerinin oranı ile ilgilidir. Boşluklu bir yapıya sahip olan agregalarda beklenildiği üzere su emme oranı fazla olmaktadır. Dolayısıyla yüksek su emme oranına sahip agregaların dona karşı dayanımı düşük olacaktır. Dayanım düşüklüğü yaşanmaması için karayolu yapımında kullanılacak olan agregaların düşük su emme oranına sahip olması istenmektedir.

Yassılık indeksi deneyi, kalınlığı, nominal boyutunun 0.6'sından daha küçük olan agrega tanelerinin yassı olarak tanımlanmasını esas alan metottür. 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.

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 zemininde deformasyonlara neden olduğudur.

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.

Modifiye proktor deneyi ile en büyük kuru birim hacim ağırlığı veren su muhtevası tayini yapılmıştır.

Tablo 3. Deney sayıları ve kullanılan standartlar

Deneyin Adı	Yapılan Deney Sayısı	Faydalanılan Standart
Elek analizi	5	TS 1900-1
Parçalanma direncinin tayini (Los Angeles metodu)	2	TS EN 1097-2, AASHTO T 96
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi MgSO ₄	4	TS EN 1367-2
Özgül ağırlık ve su emme (absorbsiyon)	4	TS EN 1097-6
Yassılık indeksi	2	TS EN 933-3
NaOH ile organik madde tespiti	2	TS EN 1744-1
Kil Topağı	2	ASTM C-142
Likit limit	2	TS 1900-1
Plastik limit	2	TS 1900-1
Metilen mavisi	2	TS EN 933-9
Modifiye proktor	25	TS 1900-1
CBR	20	TS 1900-2

3. Deney Sonuçları

Karayolları Teknik Şartnamesinde (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013) yol üst yapısı temel malzemelerinin standartlarını belirleyen deneyler atık mermer ve agrega numunelerine uygulanmıştır. Deney sonuçları ve Karayolları Teknik Şartnamesi kriterleri Tablo 4.'de verilmiştir.

Parçalanma direncinin tayini (Los Angeles metodu)'ne göre her iki malzemede şartname limit değerinin altında kalmıştır. Mermer atığının parçalanma direnci, agregaya göre %11 oranında daha yüksek çıkmıştır.

Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyinde ise mermer atığı agregaya göre %23 oranında daha dayanıklı çıkmıştır. Her iki malzeme için elde edilen değer KTŞ limit değerinin altında kalmıştır.

Su emme (absorbsiyon) deneyinden elde edilen sonuçlara göre agrega, mermer atığına göre %84 daha fazla su emme oranına sahiptir. Aradaki bu farka rağmen elde edilen değerler KTŞ limit değerinin altında kalmıştır.

Yassılık indeksi deneyinden elde edilen sonuçlara göre mermer atığı, agregaya göre %14 oranında daha yassı bir değere sahiptir. Her iki malzeme için elde edilen değer KTŞ limit değerinin altında kalmıştır.

NaOH ile organik madde tespiti KTŞ'nin öngördüğü şekilde her iki malzeme içinde negatif çıkmıştır.

Kil topağı değeri ince agrega için İncirli taş ocağı agregasının, mermer atığına göre %33 daha fazla çıkmıştır. Kaba agregalarda yine İncirli taş ocağı agregada mermer atığına göre %55 oranında daha fazla çıkmıştır. Deney sonucunda elde edilen değerler her iki malzeme içinde KTŞ limitleri altındadır.

Likit limit ve plastik limit deneyleri sonucunda KTŞ'nin öngördüğü şekilde malzemeler non-plastik özellik göstermiştir. Metilen mavisi deneyi sonucunda metilen mavisi değeri agregada mermer atığına göre %33 daha fazla çıkmıştır. Her iki malzeme için elde edilen değer KTŞ limit değerinin altında kalmıştır.

Modifiye proktor deneyi sonucunda maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri en yüksek Karışım-1'de görülmüştür. Bunun sebebinin Karışım-1'e giren malzeme içerisindeki yassı ve uzun agregaların diğer karışımlara göre daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı sonuca Kailash, vd. (2013) yaptığı çalışmada ulaşmıştır.

Yaş CBR değerleri KTŞ limit değeri üzerinde kalarak şartname değerlerini sağlamıştır.

Tüm bu deney sonuçlarına göre mermer atık parçalarının farklı boyut aralıklarında agrega yerine ikame edilmesi ile oluşan bütün karışım tiplerinin bir karayolu üst yapısında temel malzemesi olarak kullanılabilmesini göstermiştir. Aynı şekilde Yakşe (2016), Ahmed vd. (2010), Fırat vd. (2012) ve Mostofa (2016) mermer atık parçalarının karayolu üst yapısında kullanılabilirliği üzerine çalışma yapmış ve mermer atıklarının karayolu üst yapısında kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca Kailash, vd. (2013) kireçtaşı atıklarının yol temel tabakasında bazalt gibi geleneksel agregalar yerine kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapmış ve Yeni Delhi MoRT&H-2001 şartnamesine göre uygun olduğunu belirtmiştir.

Tablo 4. Deney sonuçlarının karşılaştırılması

Deneyin Adı	Birim	Agrega	Mermer Atığı	KTŞ Limit
Parçalanma direncinin tayini (Los Angeles metodu)	%	19,46	21,68	35,00

Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi	%	3,24	2,50	20,00
Su emme (absorbsiyon)	%	0,35	0,19	3,00
Yassılık indeksi	%	12,81	14,64	30,00
NaOH ile organik madde tespiti		Negatif	Negatif	Negatif
Kil topağı ince agrega	%	0,53	0,40	1,00
Kil topağı kaba agrega	%	0,17	0,11	1,00
Likit limit		NP	NP	NP
Plastik limit		NP	NP	NP
Metilen mavisi	%	1	0,75	3,00
Modifiye Proktor (w _{opt} - γ _{kmax})	Karışım-1	% - kN/m ³	4,50 – 23,25	
	Karışım-2	% - kN/m ³	4,50 – 22,80	
	Karışım-3	% - kN/m ³	4,56 – 22,99	
	Karışım-4	% - kN/m ³	4,58 – 22,97	
	Karışım-5	% - kN/m ³	4,55 – 22,80	
Kaliforniya taşıma oranı yaş (CBR)	Karışım-1	%	286,00	120,00
	Karışım-2	%	213,00	
	Karışım-3	%	232,00	
	Karışım-4	%	265,00	
	Karışım-5	%	237,00	

Tablo 5. CBR değerlerinin karşılaştırılması

Kür Süresi	İkame Edilen Malzeme	Karışım No	Kuru CBR %	Yaş CBR %
Anlık	Referans	Karışım-1	237,00	286,00
	0-5	Karışım-2	200,00	213,00
	5-12	Karışım-3	222,00	232,00
	12-19	Karışım-4	210,00	254,00
	19-38	Karışım-5	232,00	237,00
7 gün	Referans	Karışım-1	278,00	321,00
	0-5	Karışım-2	220,00	246,00
	5-12	Karışım-3	236,00	254,00
	12-19	Karışım-4	244,00	263,00
	19-38	Karışım-5	243,00	274,00

Tablo 5.'de görüleceği üzere tüm karışım tiplerinin yaş CBR değerleri kuru CBR değerlerinden yüksek çıkmıştır. Ortamdaki su içeriğinin optimum değerinden doyma değerine değiştirilmesi sonucunda test edilen tüm karışımların CBR değerinde artış yaşanmıştır. Bu artış aşağıdaki denklem (1) ile hesaplanmıştır (Domitrovic vd., 2016).

$$\Delta CBR = \left(\frac{CBR(96h)}{CBR(omc)} - 1 \right) \times 100 [\%] \quad (1)$$

CBR(omc): Optimum su muhtevasında test edilmiş numunelerin CBR değeridir,
CBR(96h): 96 saat suda bekletildikten sonra test edilen numunelerin CBR değeridir.

Tablo 6. Kuru ve yaş CBR değerlerindeki değişim

	Anlık				
	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3	Karışım-4	Karışım-5
CBR(omc)	237,00	200,00	222,00	210,00	232,00
CBR(96h)	286,00	213,00	232,00	254,00	237,00
ΔCBR%	21	7	5	21	2
	7 Gün Kür				
	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3	Karışım-4	Karışım-5
CBR(omc)	278,00	220,00	236,00	244,00	243,00
CBR(96h)	321,00	246,00	254,00	263,00	274,00
ΔCBR%	15	12	8	8	13

Su içeriğinin CBR değeri üzerindeki etkisi büyük oranda doğal agreganın tipine bağlıdır (Domitrovic vd., 2016). Tablo 6.'dan genel anlamda CBR değerindeki en büyük değişim, agregadan oluşan Karışım-1'de yaşanmıştır.

Kuru ve yaş CBR değerleri karşılaştırıldığında referans olarak alınan Karışım-1 numunesinin CBR değeri diğer tüm karışım tiplerinden yüksek çıkmıştır. Bunun sebebinin referans malzemenin sahip olduğu düşük Los Angeles aşınma değeri ve düşük yassılık indeksi değeri ile açıklanabilir. Los Angeles aşınma değeri, malzemede aşınma ve darbeler karşısında yaşanacak parçalanmalar sonucunda dayanımda oluşacak kayıplar hakkında bilgi vermektedir. Bu değerlerin dayanım kayıplarını en aza indirmek için düşük olması istenmektedir. Yapılan aşınma deneyi sonucunda mermer atığı agregaya göre %11 oranında daha fazla aşınma göstermiştir. İki malzeme arasındaki bu farktan dolayı referans malzemenin CBR değeri, içerisinde mermer atığı parçalarının bulunduğu diğer karışımlardan (Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak, referans malzemesi dışındaki karışım tiplerinin yüksek aşınma değerine sahip olması karışım içerisine giren yüksek aşınma değerine sahip mermer atığı parçalarından kaynaklanmaktadır. Yassılık indeksine bakıldığında ise yine aynı şekilde referans malzemenin yassılık indeksi değeri diğer karışım tipleri için oluşturulan numunelerin yassılık indeksi değerinden daha düşüktür. Bu düşüş referans malzemesi dışındaki karışımların (Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) içerisine referans malzemenin yassılık indeksi değerine göre daha yüksek yassılık indeksi değerine sahip mermer atık parçalarının girmesinden kaynaklanmaktadır. Yassılık indeksi yüksek olan malzemelerin çekme dayanımları düşük olduğu için çevre ve trafik etkisi altında kolayca aşınıp kırılabilirler. Agregada danelerinin yassı veya ince-uzun daneli olması durumunda stabilite oldukça düşmektedir. Bu tip agregada danelerine kısa eksen üzerinde bir yük tatbik edilmesi ile agregada daneleri kolayca kırılarak degradasyona uğrayacak ve ayrıca serim sırasında segregasyona neden olabilecektir (Şenol, 2010). Dolayısıyla yassı agregalar üzerine dört taraftan gelecek olan basınçlara karşı istenilen mukavemeti sağlayamayacaktır. Yapılan deneylerle mermer atığının yassılık indeksi değeri referans malzemenin yassılık indeksi değerine göre %12.50 daha düşük bulunmuştur. Bu nedenle referans malzemesinin CBR değeri, mermer atıkları ile oluşturulan karışımların (Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) CBR değerine göre daha yüksek çıkmıştır.

Anlık ve 7 günlük küp sonucunda karışımların kuru ve yaş CBR değerleri karşılaştırıldığında en düşük değerlere genellikle Karışım-2'de ulaşılmıştır. Bunun sebebinin Karışım-2'ye %44 oranında giren 0-5 mm mermer atığı parçalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Oluşturulan Karışım-2'ye bakıldığında 0-5 mm malzemenin karışımı oluşturan diğer aralıklardaki agregada malzemeleri ile bir kenetlenme sağlayamadığı ve bu karışımda 0-5 mm boyutlarındaki mermer atığı malzemesinin bağlayıcı özellikte bir malzeme olmadığı gözlemlenmiştir. Bu özellik numunelerde istenilen oranlarda sıkışmasının sağlanamamasına neden olmuştur. Bu durum sonucunda ulaşılan CBR değerleri diğer karışım tiplerinin CBR değerlerinden daha düşük kalmıştır

4. Sonuçlar

Katı atık sahalarında, depolanan mermer atıkları hem ekonomik açıdan bir kayıp hem de çevre açısından bir görüntü kirliliği ve tehdit oluşturmaktadır. Atıkların kullanılmamasından dolayı oluşan ekonomik kaybın yanı sıra kontrolsüz depolanması da ek bir maliyet getirmektedir. Günümüzde nüfusun hızla artması ve buna bağlı olarak doğada bulunan doğal kaynakların hızla tükenmesi bizleri atık malzemelerin geri dönüşüm olanaklarını araştırmaya yönlendirmektedir. Bu malzemelerin uygun şartlarda değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Yol kaplamaları mermer atıklarının en iyi kullanım alanlarından birisidir. Bu amaçla yol temel tabakasında Bilecik ili Yenipazar ilçesinde bir mermer ocağından temin edilen mermer atıklarının bir karayolu inşaatında kullanılan agreganın yerine farklı aralıklarda ikame edilmesinin uygunluğu araştırılmıştır. Yapılan analiz ve deney sonuçları KTŞ (2013)'te belirtilen standart değerler ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Elek analizi deney sonucuna göre oluşturulan karışım gradasyonları KTŞ'de belirtilen alt ve üst limitler arasında kalmaktadır.
- Parçalanma direncinin tayini Los Angeles aşınma deneyi metoduna göre yapılmış ve sonuç agregada için %19.46, mermer atığı için %21.68 olarak belirlenmiştir. Bu deney sonucunda elde edilecek değer KTŞ limitleri temel tabakası için maksimum %35 olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla agregada ve mermer atığı için bulunan değerler KTŞ şartlarını sağlamıştır.
- Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deney sonucu agregada için %3.24, mermer atığı için %2.50 olarak bulunmuştur. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık değeri KTŞ limitlerinde temel tabakası için maksimum %20 olarak belirtilmiştir. Agregada ve mermer atığı değerleri bu koşulu sağlamıştır.
- Yassılık indeksi deney sonucu agregada için %12.81, mermer atığı için %14.64 olarak bulunmuştur. KTŞ limitleri temel tabakası için maksimum %30 değerine kadar müsaade etmiştir. Her iki malzemede KTŞ değerlerini sağlamıştır.
- Su emme ve özgül ağırlık deney sonucu agregada için %0.35, mermer atığı için %0.19 olarak bulunmuştur. KTŞ limitleri temel tabakası için maksimum %3 değerini istemektedir. Agregada ve mermer atığı değerleri bu koşulu sağlamıştır. Ayrıca her iki malzemenin de özgül ağırlığı 2.64 gr/cm³ olarak hesaplanmıştır.

- Yapılan NaOH ile organik madde tespit deneyi sonuçlarına göre iki malzemede de NaOH çözeltisinde herhangi bir renk değişimi gözlemlenmemiş ve malzemeler içerisinde organik madde bulunmadığı tespit edilmiştir. Her iki malzemede bu sonuçla KTŞ'de istenen özelliği göstermiştir.
- Kil topağı deneyi sonuçlarına göre, agregada kaba malzemeler için %0.17, ince malzemeler için %0.53 olarak bulunmuştur. Bu değerler mermer atığında kaba malzemeler için %0.11, ince malzemeler için %0.40 olarak bulunmuştur. KTŞ limitlerine göre temel tabakası için bu oran maksimum %1'dir. Deney sonuçlarına göre her iki malzemede şartname koşullarını sağlamaktadır.
- Yapılan plastik limit deneyinde agrega ve mermer atığı malzemelerinin plastik özellikte olmadığı belirlenmiştir. Plastik özellikte olmadığından, malzemeye likit limit deneyi yapılamamıştır. Bu özelliği ile agrega ve mermer atığı KTŞ verilerine uygun bulunmuştur.
- Metilen mavisi deney sonuçlarına göre, agrega için 1, mermer atığı için 0.75 olarak bulunmuştur. KTŞ limitleri bu değeri temel tabakası için maksimum 3 olarak belirtmiştir. Her iki malzemede KTŞ değerlerini sağlamıştır.
- Tip-1 PM temel tabakası için oluşturulan karışımlar ile Modifiye proktor deneyleri yapılmıştır. Her karışım için optimum su muhtevaları ve maksimum KBHA'lar belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak CBR numuneleri hazırlanmış, anlık ve 7 günlük kür sonunda CBR deneyleri yapılmıştır. Buna göre anlık kuru CBR değerleri arasında en yüksek değer Karışım-4 için %265.22, anlık yaş CBR değerleri için en yüksek değer Karışım-1 için % 285.94 olarak bulunmuştur. 7 günlük kür sonucunda kuru CBR değeri en yüksek %277.52 ile Karışım-1'de, en yüksek yaş CBR ise yine Karışım-1'de % 285.96 olarak tespit edilmiştir. KTŞ limitlerinde CBR değeri için %120'lik bir alt limit belirlemiştir. Bütün karışım tipleri bu değer üzerinde kalarak şartname koşullarını yerine getirmiştir.
- Bilecik ili için 35 firma üzerinde yapılan bir çalışmada elde edilen sonuçlara göre bir firma günlük 35 ton mermer atığı oluşturmaktadır (Kacır, 2017). Bir firmanın ayda ortalama 25 gün çalıştığı düşünülürse açığa çıkacak olan atık miktarı:

35 x 25 = 875.00 t/ay olur.

35 firmanın oluşturacağı toplam atık miktarı ise:

35 x 875.00 = 30.625 t/ay olmaktadır.

Karayolları geometrik standartlarından (KGM, 2005) kent içinden geçen 12 metre platform genişliğine sahip iki şeritli bir yolda 20 cm Tip-1 PM temel tabakası serilecek olması durumunda eşitlik (3) yardımı ile 1 metre yol yapımı için ne kadar malzeme gerektiği hesaplanır.

Gerekli malzeme= platform genişliği x kalınlık x özgül ağırlık

(3)

Gerekli malzeme = 12 x 0,20 x 2,64

Gerekli malzeme = 6.336,00 t/metre

Bu sonuca göre 30.625,00 tonluk malzeme ile yaklaşık olarak 4.833,00 metrelik bir yolun temel tabakası imal edilebilmektedir. Bilecik ilinin mermer ocağı sayısının fazla olması bu ilde yapılacak olan yollarda mermer atıklarının kullanılması ile hem yolu yapacak olan firmalara hem de ülke ekonomimize büyük katkılar sağlayacaktır. Böyle bir hesap, farklı ülkelerde her bölge için hesaplanabilir. Böylelikle, gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya, zengin hammadde kaynakları ve güçlü bir ekonomi bırakma şansımız olabilecektir.

Kaynaklar

- Ahmed, A.A.M., Kareem, K.H.A., Altohamy, A.M., Rizk, A.M., (2014). Potential use of mines and quarries solid waste in road construction and as replacement soil under foundations, *Journal of Food Engineering Sciences*, 42 (4), 1094-1105.
- Alataş, T., Somunkıran, E. T., Ahmedzade, P. (2006). Ereğli Demir Çelik Fabrikası Cürufunun Asfalt Betonunda Agregada Olarak Kullanılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 225-234.
- Bilensoy, M., (2010). *Mermer fabrikaları toz atıklarının değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çetin, A., 1997, "Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- D Rezende, R, I., and Carvalho, J. C., 2003. "The Use of Quarry Waste in Pavement Construction", *Resources Conversion & Recycling, Elsevier Science*. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00123-4)
- Dhanapandian S. ve Gnanavel, B., (2009a). Studies on Granite and Marble Sawing Powder Wastes in Industrial Brick Formulation. *Asian Journal of Applied Sciences*, 2 (4), 331-340 ISSN 1996-3343. <https://doi.org/10.3923/ajaps.2009.331.340>
- Dhanapandian S., Gnanavel, B. ve Ramkumar T., (2009b). Utiliation of Granite and marble sawing Powder wastes as Brick Metaterials. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 4 (2), 47-160.
- Domitrovic, J., Rukavina, T., Dimter, S., (2016). Effect Of Moisture Content and Freeze-thaw Cycles On Bearing Capacity Of RAP/Natural Aggregate Mixtures, 4th International Conference on Road and Rail Infrastructure, 237-243, Sibenik Croatia, ISSN: 1848-9850

- Drew, L.J., Langer, W.H., Sach, Janet, S., 2002, "*Enviromentalism and Natral Aggregate Mining*", Natural Resources Research, Elsevier Sience, Vol.11 No:11. <https://doi.org/10.1023/A:1014283519471>
- 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.
- Gürer C. 2004, "*Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Kullanılması*" Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Kacı, S. (2017). Bilecik Mermer Sektörü Raporu, Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı (BEBKA)
- Kailash, K., Alingprabhu,S.P., Devaraj, S.H, Mehta, D.K., Awanti, S.S., (2013). Characterization Of Limestone Waste For Construction Of Flexible Pavement. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 221-225, eISSN: 2319-1163
- Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, (2013).
- Kushwah, R.P., Sharma, I. C., Chaurasia, P. (2015). Utilization of "marble slurry" in cement concrete replacing fine aggregate, *American Journal of Engineering Research*, 4(1), 55-58. e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936. <https://doi.org/10.9790/0847>
- Misra, A.K., Mathur, R., Rao, Y.V., Singh, A.P., Goel, P., (2010). A new technology of marble slurry waste utilisation in roads. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 69, 67-72. ISSN: 0975-1084 (Online); 0022-4456 (Print)Yılmaz, A., Süttaş, İ. (2008). Ferrokrom Cürufnun Yol Temel Malzemesi Olarak Kullanımı. *İMO Teknik Dergi*, 4455-4470, Yazı 294.
- Mostafa, A.E.A., (2016). Investigating the effect of using recycled materials in highway construction. *International Journal of Scientific & engineering Research*, 7 (2), 362-368.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00036-8](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00036-8)
- Şenol, A., (2010). *Karayolu Yol Üst Yapısı*. Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 63.
- Terzi, S., Karaşahin, M., 2003, "*Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımlarında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı*", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt 14, S.2
- Ural, N., Yakşe, G., (2015). Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (2), 53-62, ISSN: 2458-7575
- Yıldız, A. H., "*Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi*" Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta 2008.