

AGREGA OCAKLARI İÇİN SINIR METİLEN MAVİSİ DEĞERİ OPTİMİZASYONUEmre Serhan BATTAL¹, Adnan KONUK^{2*}¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir,
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0013-567X>² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9577-6674>**Anahtar Kelimeler***Beton, Agregat Ocakları, Sınır Metilen Mavisini Değeri, Optimizasyon, Karlılık Göstergesi***Öz**

Betonun fiyatındaki en büyük maliyet kalemlerinden olan çimento ve kimyasal katkıları beton agregalarının safsızlığı (kil içeriği) ve kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklarda, agreganın kalitesi (kil içeriği ve kirliliği) genellikle mavi metilen (MB) değeri ile saptanmakta ve MB değerine göre kalite kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır. Beton maliyetlerinin azaltılması için, hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklarda kalite kontrol altında tutulmaya çalışılırken ise, genellikle agrega ocağının işletilebilir rezervi, yatırım ve üretim maliyetleri ihmal edilmektedir. Bu çalışmada, hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklarda sınır MB optimizasyonu algoritması geliştirilerek, beton maliyetlerin en küçüklenmesi ve agrega ocaklarının da üretim ömrü boyunca kaynak kaybı en az olacak şekilde en büyük karlılıkla işletilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Geliştirilen optimizasyon algoritması ile, hazır beton tesisine agrega üreten bir agrega ocağı verileri kullanılarak uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Uygulama çalışmasında, agrega ocağı malzemelerinin MB değeri istatistiksel dağılım ve ekonomik parametreleri ele alınarak optimizasyon gerçekleştirildiğinde, optimum sınır MB değeri 3,00 olmakta ve karlılık göstergesi %11,1'den %44,9'e çıkmaktadır. Bu çalışma sonucunda, sadece beton maliyetlerinin minimizasyonu değil, aynı zamanda optimum sınır MB değeri de dikkate alınarak, taş ocağı ve kırma-eleme tesisinin çok fazla kaynak kaybı olmadan etkin bir şekilde kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

CUTOFF METHYLENE BLUE VALUE OPTIMIZATION FOR AGGREGATE QUARRIES**Keywords***Concrete, Aggregate Mines, Cutoff Methylene Blue Value, Optimization, Profitability Index***Abstract**

Cement and chemical additives which are among the biggest cost items in the price of concrete vary depending on the impurity (clay content) and quality of concrete aggregates. In quarries that produce aggregates for ready-mixed concrete plants, the quality (clay content and dirtiness) of the aggregate is generally determined by the blue methylene (MB) value and it is tried to be kept under quality control according to the MB value. In order to reduce concrete costs, while trying to keep the quality under control in the quarries producing aggregates for ready-mixed concrete plants, the mineable reserve, investment and production costs of the aggregate quarry are generally neglected. In this study, it is aimed to minimize the concrete costs and to ensure that the aggregate quarries are operated with the greatest profitability with the least loss of resources throughout the production life by developing a cutoff MB optimization algorithm in quarries producing aggregates for ready-mixed concrete plants. With the developed optimization algorithm, an application study was carried out by using the data of an aggregate quarry producing aggregate for the ready mixed concrete plant. In the application study, when the optimization is performed by considering the statistical

* Sorumlu yazar; e-posta : akonuk@ogu.edu.trBu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

distribution and economic parameters of the MB value of the aggregate quarry materials, the optimum limit MB value is found to be 3.00 and the profitability index increases from 11.1% to 44.9%. As a result of this study, it has been determined that quarry and crushing-screening plant can be used effectively without much loss of resources by taking into account not only the minimization of concrete costs, but also the optimum cutoff MB value.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 12.08.2022	Submission Date	: 12.08.2022
Kabul Tarihi	: 13.10.2022	Accepted Date	: 13.10.2022

1. Giriş

Hazır beton imalatında yaygın olarak hacimce %70-80 oranında kullanılan ince agregalar (yapay kumlar-taş unu) genel olarak kalker veya dolomit kökenli kayaların kırılması ve sınıflandırılması ile elde edilmekte olup, bu malzeme içinde de CaCO_3 tenöründen çok, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ifade edilen kalite parametreleri oldukça önemli olmaktadır. Özellikle, ince agreganın içinde bulunan kilin oranı, beton kalitesi üzerinde önemli etkilere sahip olup, literatür araştırmaları sonucunda agregada bulunan kil miktarı ile beton kalitesi arasındaki ilişkilerin aşağıdaki gibi olduğu belirlenmiştir.

- Kil minerallerinin ince taneli yapısı ve yüzey aktivitesi, betonda işlenebilirliği sağlamak için ihtiyaç duyulan karışım suyu miktarının artmasına yol açmakta ve priz süresini (hidratasyonu) geciktirmektedir (Küçük, 2000; Hasdemir, 2005; Topçu ve Demir, 2008).
- Agreganın içerdiği kil miktarındaki artışla birlikte beton kıvamında kayıplar meydana geldiğinden, kıvamı dengelemek için su miktarı arttırılmaktadır (Özbebek ve Açık, 2011; Köksal, Abit ve Karataş, 2013; Şenbil, 2014). Betondaki su miktarının arttırılması ise betonun kuruma ve büzülmesini, dayanımlarını ve çatlak oluşumunu etkilemektedir. Bu nedenle, kil miktarı arttıkça beton dayanımlarında (basınç ve eğilme dayanımları) büyük oranda azalma meydana gelmekte, betonda plastik büzülme ve kuruma büzülmesi çatlama artmakta, donma-çözülme hasarı ve aşınma kaybı önemli ölçüde hızlanmaktadır (Farny ve Kerkhoff, 1997; Hasdemir, 2005; Beixing, Mingkai, ve Jiliang 2011; Özbebek ve Açık, 2011; Kala Maruthupandian, ve Singh 2019; Gürbüz ve Aydın, 2021).
- Agreganın içerdiği kil miktarındaki artışla birlikte betonun donma direnci de azalmaktadır (Zhan'ao, Mingkai ve Beixing, 2016).
- Kilin iri tanelere yapışık olması durumunda, çimento hamuru ile agrega ara yüzeyi arasındaki bağlantıyı bozmakta, yük etkisinde betonun bu

ara yüzeyden çatlamasına yol açmaktadır (Küçük, 2000).

- Agregada topraklar halinde kil bulunması halinde betonarme elemanın içinde boşluk gibi davrandığından, kesit zayıflamasına yol açmakta ve zamanla bünyesine su işledikçe hacim genişlemesi yaparak betonu çatlatmaktadır (Küçük, 2000).
- Çimento bileşenleri ile bazı kil türleri zararlı kimyasal reaksiyona girerek ayrışmaya ve bünyesine su alarak genleşme şeklinde betonun parçalanmasına sebep olabilmektedir (Küçük, 2000).

Ayrıca, Deşik ve Ustabas (2019), "Kireçtaşı Kökenli Kıрма Kumdaki İnce Madde Oranının Beton Kıvamına ve Dayanımına Etkisi" başlıklı çalışmalarında agrega granülometrisine göre kil türü ince malzeme içermeyen kireçtaşı kökenli ince maddenin beton boşluklarında ince malzeme vazifesi görerek betonun çökme miktarını arttırdığını tespit etmişlerdir.

Literatür araştırması da göstermekte ki, agreganın kalitesi, içeriğindeki kil miktarı ve ince madde miktarıyla ters orantılıdır. Özellikle, agreganın içerdiği kil miktarı arttıkça, kırma-eleme işleminden geçirilmiş ince agregaların kalitesinin azalmasına neden olmaktadır.

Agreganın kil içeriğinin ve kirliliğinin belirlenmesi amacıyla genellikle basit ve hızlı bir yöntem olması nedeniyle mavi metilen (MB) deneyi yapılmakta olup, deneyler sonucunda agrega içinde safsızlığı (kaliteyi) bozan zararlı kil miktarı, MB boyası tüketimine göre belirlenmektedir (Şenbil, Bağdatlı, Köseoğlu ve Andic, 2014; Battal, 2022). İnce agregaların MB değerleri ile beton özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırıldığı bir çok çalışmada, agregaların içerdiği kil miktarı ile MB değerleri arasında güçlü ilişki bulunduğu kanıtlanmıştır (Yitik, 2006; Topçu ve Demir, 2008; Beixing ve diğ., 2011; Özbebek ve Açık, 2011; Pitre, 2012; Şenbil ve diğ., 2014, Zhan'ao ve diğ., 2016; Demir, 2020;). MB değeri arttıkça ince malzemenin kil içerikli kirliliğinin arttığı, MB değeri azaldıkça ise kirliliğin azaldığı belirlenmiştir (Şenbil ve diğ., 2014).

Agreganın MB değeri yükseldiğinde, betonda istenen kıvamı elde edebilmek ve beton dayanımda meydana gelebilecek düşüşleri engellemek için betona katkı maddesi eklenmesi gerekmektedir (Köksal v.d., 2013). Ancak, yapılan katkı eklemesi ile de beton maliyetlerinde artış meydana gelmektedir (Cobanoğlu, Celik, Cam, Etiz ve Kursun, 2014; Battal, 2022).

Yapılan literatür araştırması sonucunda, MB testi ile belirlenen ince agregaların içerdiği kil içeriği ile beton dayanımı arasındaki ilişkiyi araştıran birçok çalışma yapılmış olmakla birlikte, hazır beton tesisine agrega sağlayan belirli bir maden ocağı için ocak rezerv-MB değeri dağılımını, yatırım ve işletme maliyetleri ile beton maliyetini dikkate alan ve optimize eden çalışmaların yapılmadığı tespit edilmiştir.

Hazır beton üretiminde kullanılan ince agregaların içerdiği kil miktarını azaltarak beton imalatında kullanılan katkı maddesi kullanım miktarını azaltabilmek için, agrega ocağında seçimli madencilik yaparak kil miktarı düşük kısımlardan kırma-eleme sistemine besleme yapıldığında, ocağın rezervi azalmakta ve agrega ocağı üretim maliyetleri artmaktadır. Bu nedenlerle, agrega ocağından üretilecek malzemelerin içerdiği kil varlığının tespitinde uygulanan MB değerinin optimizasyonu ile beton ve ocak maliyetlerinin optimize edilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Bu çalışmada beton ve agrega ocak maliyetleri optimize edilerek en yüksek karlılıkla çalışılabilecek optimum sınır MB değerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen model açıklanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

2.1.1. Uygulama Çalışması Yapılan Agreganın Ocağı Hakkında Genel Bilgiler

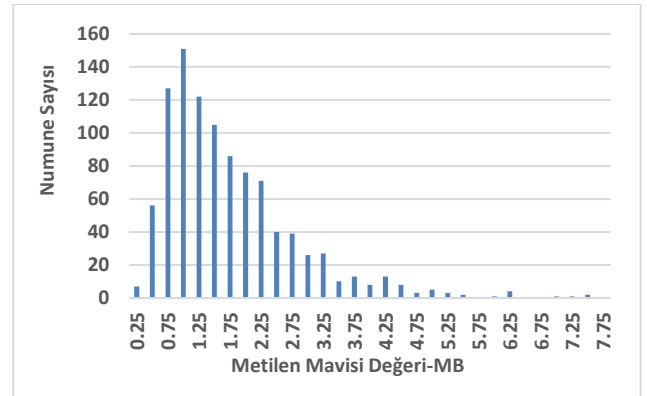
Uygulama çalışması yapılan agrega ocağı, Ege Bölgesinde dolomitik kireçtaşları içeren bir formasyonda üretim yapmaktadır. Kireçtaşları genellikle masif ve beyaz renkte olup, yer yer gri renkte dolomitler vardır. Ocağın bulunduğu bölgede bulunan birbirine paralel ve yaklaşık 10 metre yakınlıkta 2 fay hattı ocağı dik kesmektedir ve ocakta bulunan kırıklar ve çatlaklardan dolayı kireçtaşı tabakaları kil ile dolmuş durumdadır.

Agrega ocağında kırma-eleme tesisi bulunmakta olup, ocak yakınındaki beton santraline besleme yapılmaktadır. Agreganın ocağından üretilen malzemeler için yapılan kalite kontrol çalışmalarına göre, ocaktan üretilen ince agreganın MB değerlerinde çok fazla değişkenlik gözlemlenmektedir. Yapılan MB testi sonuçları değerlendirildiğinde, MB değerinde 0.25 ile 10.5 arası değişkenlik saptanmış olup, genel olarak

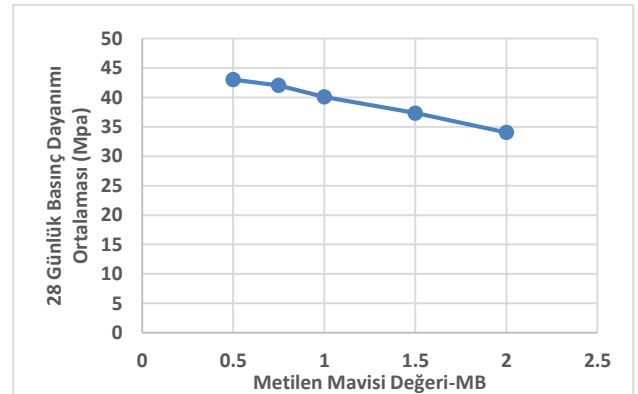
genel olarak 0.5 ile 3 arasındadır. Yapılan 1022 adet test sonucunda agrega ocağında MB dağılımı (Şekil 1) lognormal dağılım göstermekte olup, MB değeri aritmetik ortalaması 1.78, logaritmik ortalaması 0,34 ve logaritmik standart sapması 0,76'dır. Agreganın ocağında, yaklaşık olarak 40.000.000 ton rezerv saptanmıştır.

2.1.2. Ocaktan Üretilen Agregalarda Metilen Mavisini Değeri ve Beton Dayanımı İlişkisi

Ocaktan üretilen agregalarla beton dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemek için, aynı beton reçetesi ile farklı MB değerleri olan agregalar kullanılarak beton numuneleri elde edilmiş ve basınç dayanım testleri yapılmıştır. Beton numuneleri 21^o C derecede 15x15x15 cm küpler halinde 1 gün bekletilip kalıplardan çıkarıldıktan sonra, 20^o C derecedeki kür havuzunda 28 gün bekletilmiş ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Beton sınıfı C25/30 olup, tasarımı normal betondur ve kıvam sınıfı ise S4'tür. Aynı türde katkı ve çimento kullanılmıştır. Farklı MB değerlerine sahip agregalarla üretilen betonların 28 günlük kür süresi sonundaki basınç dayanım değerleri Şekil 2'de verildiği gibidir.

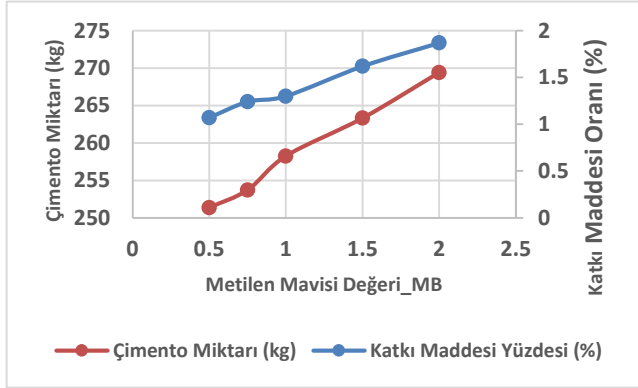


Şekil 1. Agreganın Metilen Mavisini (MB) Değeri Dağılım Grafiği



Şekil 2. Çimento ve Katkı Dozajı Sabit Tutulduğunda Metilen Mavisini (MB) Değeri Değişimine Karşın Beton Dayanımı Grafiği

Şekil 2'den de görüldüğü gibi, MB değeri ile betonun dayanımı arasında ters bir ilişki gözlemlenmekte olup, MB değeri arttıkça beton dayanımı azalmaktadır. Dayanımlardaki bu düşüş engellemek için çimento ve katkı miktarlarında artış yapıldığında ise, beton yapım maliyetlerini de artmaktadır. Aynı dayanımları (ortalama 35,7 Mpa) elde etmek için reçetelere yapılan müdahalelerdeki çimento ve katkı maddesi yüzdeleri ve Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Metilen Mavis (MB) Değeri Değişimi Karşısında Beton Dayanımını Sabit Tutmak İçin Çimento Miktarı ve Katkı Dozajının Değişim Grafiği

2.1.3. Agregada Ocağı Ekonomik Parametreleri ve Beton Maliyetleri

Agregada ocağı ve kırma-eleme tesisi için hedeflenen üretim kapasiteleri ve ekonomik parametreler hakkında bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1.

Agregada Ocağı ile Kırma-Eleme Tesisi Kapasiteleri ve Ekonomik Parametreler

Maden işletme kapasitesi	FQ _m	1.680.000	ton/yıl
Maden işletme ilk yatırım maliyeti	MI	50.000.000	TL
Kırma-eleme tesisi kapasitesi	FQ _c	1.680.000	ton/yıl
Kırma-eleme tesisi ilk yatırım maliyeti	CI	120.000.000	TL
Sabit üretim maliyeti	F _c	39.600.000	TL
Maden işletme birim maliyeti	M _m	13,00	TL/ton
Kırma-eleme tesisi birim üretim maliyeti	C _m	26,00	TL/ton
İndirgeme (faiz) oranı	r	16	%
Vergi oranı	V	22	%
Beton satış fiyatı	S	408,16	TL/ton

Yapılan reçete denemeleri sonucunda, betonun ortalama birim ağırlığı 2,45 ton/m³ ve birim maliyeti (M_b) 203,45 TL/ton olarak hesaplanmıştır. Beton birim maliyeti, redoz (katkı maddeleri), maden işletme ve kırma-eleme tesisi birim maliyetlerini kapsamaktadır.

2.1.4. Rezerv ve Metilen Mavis Değeri Dağılım Parametreleri

Agregada ocağı için yapılan istatistiksel analizler sonucunda rezerv-metilen mavis (MB) dağılımının log normal dağılım gösterdiği ve dağılım parametrelerinin Tablo 2'de verildiği gibi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2.

Rezerv-Metilen Mavis (Kil İçeriği)	Dağılım Parametreleri	Değer
Metilen Mavis Aritmetik Ortalaması	\bar{X}	1,78
Metilen Mavis Logaritmik Ortalaması	α	0,3400
Metilen Mavis Logaritmik Standart Sapması	β	0,7600
Rezerv (Toplam agrega+pasa miktarı)	R _t	40.000.000,00 ton

Agregada ocağındaki pasa oranını %15 ve agrega (agrega/toplam malzeme) oranının %85 (PO=0,85) olduğu hesaplanmıştır. Kırma-eleme tesisinde yapılan ilk elemelerde ise stabilize malzeme oranı ortalamasının %18 (SO=0,18) olduğu hesaplanmıştır.

2.2. Yöntem

Hazır beton tesislerine hammadde sağlayan agrega ocaklarında sınır MB değeri optimizasyon için geliştirilen algoritma aşağıda açıklanmıştır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

2.2.1. Sınır MB Değeri Altında Kalan İşletilebilir Cevher Kütlesinin Tonaj Oranının Hesaplanması

Uygulama çalışması yapılan agrega ocağında MB değerleri lognormal dağılıma uyduğundan, lognormal dağılımın özelliklerinden yararlanılarak agreganın sınır MB değerinin altında kalan cevher kütlelerinin tonaj oranı (T_c) aşağıdaki eşitlik 2 ile hesaplanabilir (Yersel ve Konuk, 1997). Tonaj oranı ile toplam cevher rezerv

miktarının çarpılmasıyla, sınır MB değerinin altında kalan işletilebilir cevher kütlelerinin rezervi hesaplanır.

$$Z_c = \frac{\ln(X_c) - \alpha}{\beta} \quad (1)$$

$$T_c = F(Z_c) \quad (2)$$

Burada; X_c = sınır MB değeri, Z_c = sınır MB değerinin standart normal değeri, α = MB dağılımının logaritmik aritmetik ortalaması, β = MB dağılımının logaritmik standart sapması, T_c =tonaj oranı (sınır MB değeri altında kalan cevher miktarının toplam malzeme miktarına oranı) ve $F(Z_c)$ = sınır MB standart normal değeri için kümülatif olasılık fonksiyonunun değeridir.

2.2.2. Sınır MB Değeri Altında Kalan İşletilebilir Cevher Kütlelerinin Ortalama Metilen Değeri

Agrega üretiminde, metalik madenlerden farklı olarak sınır tenörün üstünde kalan cevher miktarı değil, sınır MB değerinin altında kalan cevherin miktarı önemlidir. Betona katılacak çimento ve katkı maddesi miktarını belirleyebilmek için, sınır MB değerinin altında kalan cevher kütlelerinin ortalama MB değeri hesaplanır.

Rezerv-metilen mavisini (MB) dağılımı log-normal dağılıma uyan agrega ocağında, sınır MB değerinin altında kalan cevher kütlelerinin ortalama MB değeri (\bar{X}_c) aşağıdaki eşitlik 3 ile hesaplanır (Yersel ve Konuk, 1997).

$$\bar{X}_c = \frac{\bar{X}}{T_c} * F(Z_c - \beta) \quad (3)$$

Burada; \bar{X}_c = sınır MB değerinin altında kalan cevher kütlelerinin ortalama MB değeri, \bar{X} = Agreg ocağı MB değerleri dağılımının aritmetik ortalaması, $F(Z_c - \beta)$ = ($Z_c - \beta$) değeri için kümülatif olasılık fonksiyonunun değeridir.

2.2.3. Maden yatağının toplam kullanılabilir rezerv miktarı

Burada maden yatağının toplam rezervi, ocaktan tesise taşınmayıp pasa sahasına götürülecek malzeme çıkartıldıktan sonra kalan kısım dır. Böylelikle tesise toplamda beslenecek malzemenin miktarı belirlenmiş olur. Bu malzeme tesiste kırma-eleme işleminden geçirildikten sonra agregaya dönüştürülür. Agreg oranı bir işletmede toplamda çıkan agrega miktarının toplamda yapılan kazı miktarına bölünmesi ile bulunabilir. Agreg oranının azalması, madencilik

faaliyetlerinin artması anlamına gelip birim agrega için daha fazla zaman, işçilik ve maliyet artışına neden olur. Ocaktaki toplam agrega rezervi (R_a) eşitlik 4'le hesaplanır.

$$R_a = R_t * PO \quad (4)$$

Burada; R_t = agrega ocağındaki toplam malzeme (agrega + pasa) rezervi ve PO = agrega (agrega/toplam malzeme) oranıdır.

2.2.4. Sınır MB Değeri Altındaki İşletilebilir Cevher Kütleli Miktarı

Toplam kullanılabilir agrega rezervi (R_a) ve tonaj oranının (T_c) çarpımı ile işletilebilir agrega kütleli miktarı (QM_j) eşitlik 5 ile bulunur. İşletilebilir agrega kütleli, beton yapımında kullanılacak agreganın miktarıdır.

$$QM_j = R_a * T_c \quad (5)$$

2.2.5. Maden Yatağının Ömrü

Maden yatağının ömrü kırma eleme tesisi üretim kapasitesine bağlıdır. Kırma eleme tesisinden üretilen agrega aynı zamanda beton santralinin yılda üretebileceği maksimum beton miktarını da belirler. Eğer tesiste bir stabilize (By-Pass) malzeme çıkışı varsa, tesise beslenen malzeme üretilen agrega miktarından fazla olur, bunun nedeni malzemenin bir miktarının agrega değil stabilize (By-Pass) malzeme olarak üretilmesinden kaynaklanır. İstenilen agrega üretim kapasitesine ulaşmak için stabilize oranına göre daha fazla malzeme tesise beslenmelidir.

Agrega ocağı işletilebilir cevher kütleli miktarı (QM_j) ve istenilen agrega üretim kapasitesine (FQ_c) bağlı olarak maden yatağının ömrü (T_j) eşitlik 6 ile hesaplanır.

$$T_j = \frac{QM_j}{FQ_c} \quad (6)$$

2.2.6. Maden İşletme ve Konkasör Kapasitesinin Belirlenmesi

Sınır MB seçeneklerine (X_c) bağlı olarak agrega ocağı madencilik kapasitesi (QM_j), agrega ocağı toplam malzeme (agrega + pasa) miktarının (R_t), maden yatağı ömrüne (T_j) bölünmesiyle eşitlik 7'deki gibi hesaplanır. Agreg ocağı madencilik kapasitesi (QM_j), tesise istenen malzemeyi sağlayabilmek için yapılan tüm madencilik faaliyetlerinin yıllık toplam miktarıdır. Bu faaliyetler

cevheri çıkartmak için yapılan pasa kazı faaliyetlerini de kapsar.

$$Qm_j = \frac{R_t}{T_j} \quad (7)$$

Kırma-eleme tesis kapasitesi (Q_{c_j}), tesisin bir yılda toplamda işleyeceği toplam agrega malzeme miktarıdır. Kırma-eleme tesis kapasitesi (Q_{c_j}), toplam kullanılabilir agrega rezervinin (R_a) maden yatağının ömrüne (T_j) bölünmesiyle eşitlik 8'deki gibi hesaplanır.

$$Q_{c_j} = \frac{R_a}{T_j} \quad (8)$$

Beton üretim kapasitesi (Q_{b_j}), tesise beslenen malzemenin stabilizeye ayrılan kısmı çıkarıldıktan sonra kalan malzeme miktarı olup, sınır MB değerine göre stoklanır. Beton üretim kapasitesi (Q_{b_j}), kırma-eleme tesis kapasitesine (Q_{c_j}), tonaj oranına (T_c) ve stabilize oranına (SO) bağlı olarak eşitlik 9'daki gibi hesaplanır.

$$Q_{b_j} = Q_{c_j} * T_c * (1 - SO) \quad (9)$$

2.2.7. Ortalama Metilen Değerlerine Göre Belirlenmiş Reçetelerin Beton Maliyetleri

Her bir MB değeri için ayrı ayrı hesaplanmış beton reçeteleri olmalıdır. Bu değer bir eşitlik ile değil beton tesisinin deneysel çalışmaları sonucu oluşturdukları beton reçetelerine göre belirlenir. Ancak beton maliyetleri, MB değerinin yüksek ya da düşük değerler alması ile değişkenlik gösterir. Dayanım düşüşünü ve su ihtiyacını gidermek için betona fazladan çimento veya kimyasal katkıları eklenmesi beton maliyetini etkilemektedir.

Sınır MB değeri seçeneklerine (X_{c_j}) bağlı olarak, hazır beton tesisinde üretilen katkı maddesi ilaveli (redoz maliyeti dahil) betonun toplam birim maliyeti (M_{bt_j}) eşitlik 10'daki gibi hesaplanır.

$$M_{bt_j} = M_b + M_{r_j} \quad (10)$$

Burada; M_b : Betonun katkı maddesi ilavesiz ton başına birim maliyeti, M_{r_j} : j'inci sınır MB değerine sahip agrega için kullanılan katkı maddesi birim maliyetidir.

2.2.8. Yatırım ve Üretim Maliyetleri

Sınır MB değeri optimizasyonunda, karlılık göstergesinin (KG_j) en büyüklüğüne karar verilmiştir. Karlılık göstergesi (KG_j), j'inci alternatif sınır MB değeri için hesaplanacak Net Bugünkü Değerin (NBD_j) toplam ilk yatırım maliyetine (TI_j) bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Toplam ilk yatırım maliyeti (TI_j), bilinen belirli bir maden işletmesi ve kırma-eleme tesisi kapasitelerine bağlı olarak üstel ilişki ile eşitlik 11'deki gibi hesaplanabilir (Gentry ve O'Neil, 1984).

$$TI_j = MI * \left(\frac{Qm_j}{FQ_m}\right)^{0,65} + CI * \left(\frac{Q_{c_j}}{FQ_c}\right)^{0,65} \quad (11)$$

Burada; FQ_m = belirli bir sabit maden üretim kapasitesi, FQ_c = belirli bir sabit kırma-eleme tesisi kapasitesi, MI = Belirli bir FQ_m kapasitesine sahip maden işletmesi ilk yatırım maliyeti, CI = Belirli bir FQ_c kapasitesine sahip kırma-eleme tesisinin ilk yatırım maliyetidir.

Her bir sınır MB değeri seçeneği (j) için hazır beton toplam üretim maliyeti (TM_j) eşitlik 12 ile hesaplanmaktadır.

$$TM_j = F_c + Q_{b_j} * M_{bt_j} + Q_{c_j} * M_c + Qm_j * M_m \quad (12)$$

Burada; F_c =sabit üretim maliyetleri, M_m =maden işletme birim üretim maliyeti, M_c = kırma-eleme tesisi birim üretim maliyeti ve M_{bt} = Betonun katkı maddesi ilaveli ton başına birim maliyetidir.

Maden işletme birim üretim maliyeti (M_m), genelde ocakta üretilen tüvanan agreganın delme-patlatma, yükleme ve nakliye giderleri toplamından oluşan birim maliyetidir. Kırma-eleme tesis üretim maliyeti (M_c), tesise gelen tüvanan agreganın kırma eleme işlemi için oluşan birim maliyeti olup, ocaktan tesise beslenen her malzeme için hemen hemen aynı birim maliyet olduğu kabul edilmektedir.

2.2.9. Satış Gelirleri

Satış gelirleri (G_j), j'inci sınır MB değeri ile hesaplanan beton santrali üretim kapasitesinin (Q_{b_j}) ve beton satış fiyatının (S) çarpımı sonucu eşitlik 13'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$G_j = S * Q_{b_j} \quad (13)$$

2.2.10. Net Nakit Akımlar, Net Bugünkü Değer ve Karlılık Göstergesi

Net nakit akımı (CF_j), j'inci sınır MB değeri için hesaplanan satış gelirlerinden (G_j) toplam hazır beton maliyetinin (TM_j) çıkarılması ile elde edilen brüt karın vergi sonrası değeri ile eşitlik 14'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$CF_j = (G_j - TM_j) * (1 - VO) \quad (14)$$

Burada, VO= vergi oranıdır.

Sınır MB değerinin değişimine göre hesaplanan agrega ocağı işletme ömründe (T_j) elde edilecek net nakit akımlarının (CF_j) bugünkü değerleri toplamı ile Net Bugünkü Değer (NBD) eşitlik 15'le hesaplanmaktadır.

$$NBD_j = \left(\sum_{i=1}^{T_j} \frac{CF_{ji}}{(1+r)^i} \right) - TI_j \quad (15)$$

Burada, r= İndirgeme (faiz) oranıdır.

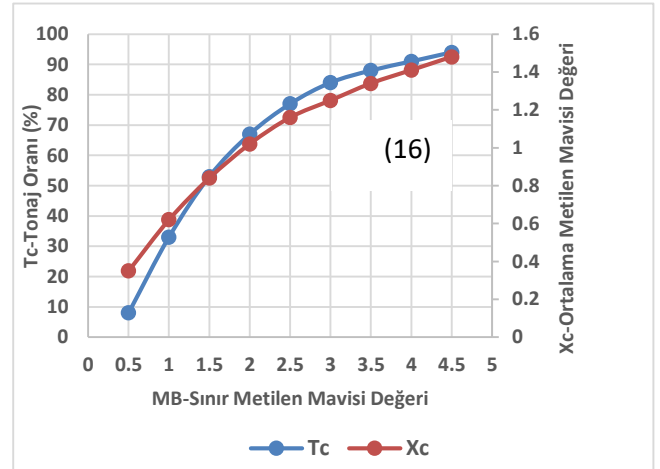
Karlılık Göstergesi (KG_j) ise net bugünkü değer toplam yatırım maliyetine oranı olup, eşitlik 16 ile hesaplanmaktadır.

$$KG_j = \frac{NBD_j}{TI_j} \quad (16)$$

3. Bulgular ve Tartışma

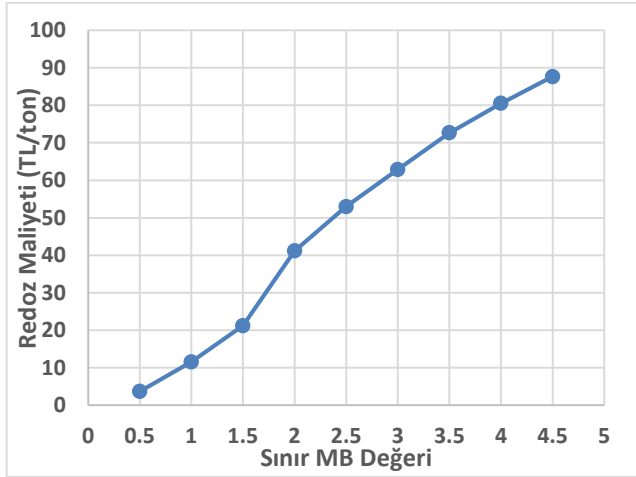
Bir agrega ocağından sınır MB değerine göre kırma-eleme tesisine besleme yapılması ve kırma-eleme tesisinden elde edilen ince agregaların hazır beton imalatında kullanılması halinde, ocak ve kırma-eleme tesisi kapasitesinin, ocak ömrünün ve betona imalatında kullanılacak çimento ve katkı maddeleri miktarına bağlı olarak hesaplanacak birim maliyetlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Üretim kapasitelerinin, maliyetlerin ve maden yatağı işletme ömrünün sınır MB değerine göre değişken olduğu durumda ise, agrega ocağının en büyük karlılıkla çalışabilmesi için optimum sınır MB değeri hakkında karar verilmesi gerekmektedir. Optimum sınır MB değerinin belirlenebilmesi için, yukarıdaki bölümde açıklanan algoritma temelinde, sınır MB değerinin değişken olduğu durum için Karlılık Göstergelerinin (KG) hesaplanması ve KG'ni en büyükleyen sınır MB değeri alternatifinin belirlenmesi gerekmektedir.

Optimum sınır MB değerine karar vermeden önce, uygulama çalışması yapılan agrega ocağının metilen mavisi dağılımı araştırıldığında, dağılımın lognormal olduğu ve dağılım aritmetik ortalamasının 1,78, logaritmik ortalamasının 0,34 ve logaritmik standart sapmasının 0,76 olduğu belirlenmiştir. MB değeri dağılım parametreleri temelinde, sınır MB değeri 0,5'ten başlayarak 0,5'er aralıkla 4,5 değerine kadar artırılarak agrega ocağının tonaj oranı ve ortalama MB değerleri hesaplandığında, Şekil 4'deki gibi değiştiği tespit edilmiştir. Şekil 4'den de görüldüğü gibi, agrega ocağında sınır MB değeri arttıkça tonaj oranı (T_c) ve işletilebilir kütlelerin ortalama MB değeri (X_c) de artmaktadır. Metalik maden yataklarında, sınır tenörün üzerindeki cevher kütleleri işletilip, altındakilerin atılması veya yerinde bırakılması söz konusu olduğundan, sınır tenör artarken tonaj oranı azalır ve sınır tenörün üzerindeki işletilebilir cevher kütlelerinin ortalama tenörü ise artar (Konuk ve Yersel, 1995). Buna karşılık agrega maden yataklarında ise, sınır MB altındaki malzemeler işletilip, üzerindeki pas olarak atılması söz konusu olduğundan, sınır MB değeri artarken tonaj oranı ve sınır metilen değerinin altındaki malzemelerin ortalama MB değeri de artmaktadır.



Şekil 4. Sınır Metilen Mavisi (MB) Değerine Karşın Agreganın Tonaj Oranı ve Ortalama Metilen Mavisi Değeri Değişimi

Sınır MB değeri arttıkça, hazır beton imalatında kullanılacak agreganın ortalama MB değeri arttığından, yapılan deneysel reçete çalışmaları sırasında betona katılacak katkı maddeleri miktarının ve birim redoz (katkı maddesi) maliyetinin de Şekil 5'deki gibi arttığı tespit edilmiştir.

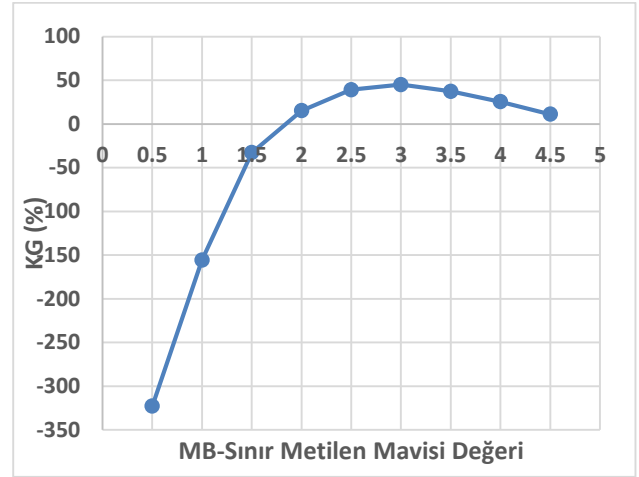


Şekil 5. Sınır Metilen Mavisi (MB) Değerine Karşın Redoz (Katkı Maddesi) Maliyeti Değişimi

Sınır MB değeri 0,5'ten başlayarak 0,5'er aralıkla 4,5 değerine kadar arttırılarak agrega ocağının tonaj oranı ve ortalama MB değerleri hesaplandıktan sonra, sınır MB değerlerine bağlı olarak agrega ocağı ve kırma-eleme tesisi kapasiteleri, maden yatağı tükenme ömrü ile ekonomik parametreler dikkate alınarak karlılık göstergeleri (KG_j) hesaplandığında, Şekil 6'daki gibi değiştiği tespit edilmiştir. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi, sınır MB değeri 1,8 değerine kadar hazır beton tesisine üretim yapan agrega ocağının zarar etmesi söz konusu iken, 1,8 değerinden sonra KG pozitif olmakta ve MB=3,0 değerinde KG=44,90 % ile en büyük değere ulaştıktan sonra azalmaya başlamaktadır. Bu nedenle, agrega ocağında optimum sınır MB=3,0 olmaktadır. Agregada ocağının optimum MB=3,0 sınır MB değeri ile işletilmesi halinde tonaj oranı $T_c=0,84$ ve ortalama MB değeri de $X_c = 1,25$ olmaktadır.

Agregada ocağında ortalama 1,25 MB değerine sahip malzemelerin işletilmesi halinde, toplam rezervin %84'ü işletilerek %16'sı ise pasa olarak atıldığında en büyük KG=44,90 % değerine ulaşmaktadır. Agregada ocağında sınır MB değeri optimizasyonu yapılmaksızın üretim yapılsaydı, %16 oranında rezerv kaybı meydana gelmeyecekti. Ancak, bu durumda da, MB ortalaması 1,78 olduğundan, KG=11,1 % olacaktır. Agregada ocağında, sınır metilen mavisi optimizasyonu gerçekleştirilerek, KG %11,1'den %44,9 değerine çıkarılabilmektedir.

Beton santralleri için agrega üreten ocaklarda sınır MB değerine göre seçimli madencilik yapılarak stok oluşturulurken, teorik olarak stok ortalamasının reçetede kullanılan agregaya yakın olması istenir. Ancak, üretim sırasında bu ortalamayı tutturmak zor olabileceğinden dolayı tek bir stok yerine birden fazla MB değerine bölünmüş stoklara ayrılıp karışım halinde beton santraline besleme yapılması daha uygundur. Özellikle yüksek kapasiteyle çalışan beton santralleri ya da baraj, tünel veya havalimanı gibi betonun yoğun



Şekil 6. Sınır Metilen Mavisi Değerine Karşın Karlılık Göstergesi (KG) Değişimi

kullanıldığı yerlerde hem maliyet hem de agregadan kaynaklı betonda istenen kalite sorunlarını minimize etmek gerekmektedir.

Sınır MB değeri optimizasyonu uygulaması ile ülkemizde agrega ocaklarından üretilen malzemelerin en doğru şekilde ve verimli kullanımını sağlamak mümkün olacaktır. Özellikle agrega ocaklarında sınır MB değeri optimizasyonu uygulamasının gerçekleştirilmesi ile ülkemizde hali hazırda yapımına devam eden ve yapılacak otoyol, baraj, tünel, havalimanları ve hastaneler gibi beton yoğun çalışmalarda yapım maliyetlerine büyük oranda etkisi olan betonun, optimum maliyetle üretilmesi ve projelerin beton maliyeti yükünün azaltılmasının sağlanabileceği düşünülmektedir.

6. Sonuçlar ve Öneriler

Metalik maden yataklarında yapılan sınır tenör optimizasyonlarında, sınır tenörün üzerindeki cevher kütlelerinin işletimi ve altındakilerin de atılması söz konusudur. Metalik maden yataklarında optimum sınır tenör, günün ekonomik ve teknolojik koşullarına göre ortaya çıkmakta ve uygulanmaktadır. Hazır beton tesislerine agrega üreten maden yataklarında ise, agrega kalitesinin önemli göstergelerinden birisi agreganın kil içeriği olup, hızlı ve kolay bir şekilde uygulanabildiği için kil içeriği MB deneyleriyle saptanabilmektedir. Agregada ocaklarından üretilen malzemelerin MB değeri ile ifade edilen kil içeriği arttığında, hazır betonun kalite standartlarına uygun olarak üretilebilmesi için kullanılan çimento ve katkı miktarları da arttırdığından, hazır beton maliyetleri de artmaktadır. Bu nedenle, hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklarda, üretim ve yatırım maliyetlerini en aza indirecek ve karlılığı en fazla arttıracak optimum sınır MB değerinin belirlenmesi, optimum sınır MB değerinin altındaki

malzemelerin işletimi ve üstündekilerin ise pasa olarak atılması gerekmektedir. Bu çalışmada, hazır beton tesislerine agrega üreten ocaklar için sınır MB değeri optimizasyonu gerçekleştirilebilmek için geliştirilen algoritma tanıtılmıştır.

Bir agrega ocağında yapılan uygulama çalışmasında, ocaktaki rezervin neredeyse tamamının kullanıldığı durumda karlılık göstergesinin %11,1 olduğu, ancak optimum sınır MB değeri 3,00 uygulandığı durumda ise ocak rezervinin %84'ü kullanılırken karlılık göstergesinin %44,9'e çıktığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, agrega ocaklarından üretilen malzemenin tamamının beton yapımında kullanılmasının karlılığı azaltacağı, buna karşılık katkı maddesi kullanılmayacak şekilde en düşük sınır MB değeri ile üretim yapılması halinde ise agrega ocağı ekonomik ömrünün azalacağı ve ocak ile kırma-eleme tesisi yatırımlarının ekonomik kullanımının gerçekleşmeyeceği tespit edilmiştir.

Beton yapımında, betondan istenen özelliklerin büyük çoğunluğu agregadan gelmekle beraber, beton reçetesine giren diğer malzemelerden de etkilenebilir. Gradasyon eğrisinin hızlı yükselip azalması, yaz-kış farklılıklarında hava şartlarına göre gerek katkı gerekse çimento miktarı değişimleri, fay hatlarının olduğu bölgelerde üretimi yapılan taşın fiziksel veya kimyasal değişimleri ve fiyat değişimleri gibi durumlarda, yapılan çalışma kalan rezerve göre tekrar yenilenip tekrar sınır MB değeri optimizasyonu yapılması daha uygun olmaktadır.

Son yıllarda nüfus artışı, kentleşme ve kentsel dönüşümle birlikte konut ihtiyacı ve buna bağlı olarak da hazır beton üretimine talep hızla artmaktadır. Bununla birlikte konut maliyetlerindeki hızlı artış ise konut üretimini yavaşlatmaktadır. Özellikle konutlarda toplam maliyet içerisindeki hazır betonun oranı %10'lara ulaştığı dikkate alındığında, konut maliyet yükünün azaltılmasında beton maliyetinin düşürülmesinin önemi ortadadır. Bununla birlikte, beton maliyetlerini düşürürken, genellikle kent merkezleri civarında konumlanmış agrega ocaklarında bulunan tükenbilir kaynaklarında etkin bir şekilde kullanımı gerekmektedir. Sınır MB değeri optimizasyonu ile agrega kaynaklarının daha etkin kullanımı, kullanım dışında kalan pasanın ise ocak içi dolgu faaliyetlerinde veya rehabilitasyon çalışmalarında kullanımı mümkündür.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Emre Serhan BATTAL'ın "Beton Agregaları Sınır Metilen Optimizasyonu" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiş olup, Adnan KONUK tez danışmanıdır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Battal E.S. (2022). Beton Agregaları Sınır Metilen Optimizasyonu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Beixing, L., Mingkai, Z., ve Jiliang, W. (2011). Effect Of The Methylene Blue Value Of Manufactured Sand On Performances Of Concrete, *Journal Of Advanced Concrete Technology*, p.127-132. doi: <https://doi.org/10.3151/jact.9.127>
- Cobanoğlu, I., Celik, S. B., Cam, O., Etiz, H., ve Kursun, M. (2014). Investigation of The Usability of Travertine Quarry Wastes as Concrete Aggregate. *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences*, p.92-99. doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.52824>
- Demir, A. (2020). A Knowledge-Based System for Fine Aggregate Material Problem Selection in Concrete Production, *Hittite Journal Of Science And Engineering*, p. 99-108. doi: <https://doi.org/10.17350/HJSE19030000178>
- Deşik, F., ve Ustabaş, İ. (2019). Kireçtaşı Kökenli Kırma Kumdaki İnce Madde Oranının Beton Kıvamına ve Dayanımına Etkisi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, s.262-271. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.429983>
- Farny, J. A., ve Kerkhoff, B. (1997). Diagnosis And Control Of Alkali-Aggregate Reactions In Concrete, The Portland Cement Association, p.26.
- Gentry D.W. ve O'Neil T.J. (1984). Mine Investment Analysis, Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, New York, N.Y. ISBN 10:0895204290 / ISBN 13:9780895204295, p.502.
- Gürbüz, G., ve Aydın, F. (2021). Agregalı Kil Oranının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, *Tr. Doğa ve Fen Derg.* Cilt 10, s.144-149. doi: <https://doi.org/10.46810/tdfd.840213>
- Hasdemir, S. (2005). Metilen Mavisi Deney Sonuçlarının Beton Basınç Dayanımlarına Etkisi. Türkiye Hazır Beton Birliği s.8.
- Kala, K.S., Maruthupandian, S., ve Singh, SK. (2019). Effect of Clay in Alternative Fine Aggregates on Performance of Concrete, *Construction and Building Materials*, s.228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116811>

- Konuk A. ve Yersel G. (1995). Sınır Tenor Kararlarında Üretim Kapasite Kısıtlarının Etkileri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*,46,44-51.
- Küçük, B. (2000). Beton Dayanımı ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:6, s.79-85.doi:
- Köksal, A., Abit, Ö., ve Karataş, E. (2013). Metilen Mavisi Değeri Yüksek Agregalar ve Farklı Özellikteki Kimyasal Katkılarla Yapılan Beton Çalışmaları, Yapıchem Kimya Sanayi AŞ İstanbul. Erişim adresi: <https://www.yapichem.com.tr/upload/texts/288-Beton-2013.pdf>
- Özbebek, H., ve Açık, H. (2011). İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi. Beton 2011 Kongresi, İstanbul.
- Pitre, B.T. (2012). Application Of The Modified Methylene Blue Test To Detect Clay Minerals In Coarse Aggregate Fines, The Office Of Graduate Studies Of Texas A&M University, Civil Engineering , Master Of Science Thesis,
- Şenbil, U., E., Bağdatlı, Ö., Köseoğlu, K., ve Andiç, Ç.Ö. (2014). Farklı Metilen Mavisi Değerlerine Sahip Kırma Kumların Karakterizasyonu ve Beton Üzerindeki Etkileri, *Mühendis ve Makina*, Cilt 55, Sayı 649, s. 74-80.
- Topçu, İ.B., ve Demir, A. (2008). Relationship Between Methylene Blue Values Of Concrete Aggregate Fines And Some Concrete Properties, *Can. J. Civ. Eng.* s.379-383. doi: <https://doi.org/10.1139/L07-111>
- Yersel, H. G. ve Konuk A. (1997). Manyezit maden işletmeciliğinde sınır %SiO₂ kararlarının riskliliği, *Madencilik*, 36, 1, 11-19.
- Yitik, H. (2006). İnce Tanelerdeki Kil İçeriğinin Metilen Mavisi Deneyi ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, , Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 75 S.
- Zhan'ao, L., Mingkai, Z.,ve Beixing, L. (2016). Relationships Between Modified Methylene Blue Value of Microfines in Manufactured Sand And Concrete Properties, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater.* doi: <https://doi.org/10.1007/s11595-016-1412-x>