

Mermer Tozu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

*¹Ahmet Raif BOĞA, ¹Gökhan KÜRKLÜ and ¹Ali ERGÜN

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyonkarahisar

Özet

Afyonkarahisar mermer endüstrisinin çok yoğun olduğu bir şehirdir. Bu yüzden çok fazla mermer atığı depolanmaktadır ve bu atıklar çevreye zarar vermektedir. Bu çalışmada, mermer tozu atıkları KYB üretiminde kullanılarak ekonomiye ve çevreye yarar sağlanması amaçlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin üretiminde mermer tozu (MT) karışımında çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların taze özelliklerini belirlemek için yayılma deneyi ve T_{50} süresi ölçümü, V-hunisi akış süresi ölçümü, L kutusu deneyi deneyleri yapılmıştır. Üretilen KYB'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için sertleşmiş betonlar üzerinde ultrases geçiş süresi deneyi, basınç dayanımı deneyi, yarmada-çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan KYB'nin taze özelliklerinin EFNARC kriterlerine uyduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca mermer tozu kullanılarak üretilen betonlardan elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının C30 beton sınıfının üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton, mermer tozu, katı atıklar ve kontrolü

Investigation of fresh and mechanical properties of self compacting concrete containing marble dust

Abstract

Afyonkarahisar is a city that marble industry is intensive. Therefore, a lot of marble wastes are stored and these wastes are damaging to the environment. In this study, it is aimed that marble dust wastes will be able to provide benefits to the economy and the environment by using it for SCC production. In production of self compacting concrete specimens, marble dust at the ratios of 0, 10 and 30 % replacing CEM I 42.5 R cement by weight, are used in SCC series. To determine the fresh properties of SCCs that will be produced flow test and T_{50} duration measure, V funnel flow time measure, L box experiment tests were performed. To determine the mechanical properties of produced SCCs, ultrasonic pulse velocity test and compressive strength test, were performed on hardened concrete. It is obtained from experimental results that produced SCC concretes provide the standards that is declared by EFNARC. The mechanical properties of produced concretes are in C30 concrete quality.

Keywords: Self compacting concrete, marble dust, solid waste management

1. Giriş

Betonun mekanik özellikleri malzeme bileşenleri, taze beton performansı ve bakım koşullarına bağlıdır. Normal beton, taze halde iken vibratör kullanılarak yerleştirilmekte ve sıkıştırılmaktadır. Normal betondan farklı olarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) vibratör gerektirmeden kolay yerleşebilmesi, yüksek dayanıklılık özelliği gibi nedenlerden dolayı dünyada ve ülkemizde kullanılmaya başlamıştır. KYB özellikle hazır-beton sektörü, onarım-güçlendirme işleri ve prefabrike sektöründe giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır [1, 2]. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde viskoziteyi düzenlemek için toz malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle kırma taş tozu, uçucu kül, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş cam tozu gibi malzemelerdir. Günümüzde KYB ile ilgili yapılan çalışmalarda bu malzemelerden başka özellikle atık durumdaki malzemelerin toz malzeme olarak KYB içerisinde kullanımları araştırılmaktadır. Bu malzemelerden bazıları da öğütülmüş tuğla tozu ve mermer tozudur [3].

Afyonkarahisar bölgesi mermer endüstrisinin Türkiye'deki merkezindedir ve çok fazla mermer atığı depolanmaktadır ve bu atıklar çevreye zarar vermektedir. Bu zararları önlemek amacıyla bu çalışmada KYB üretiminde mermer atıklarından elde edilen mermer tozları kullanılmıştır. Böylece bu atıkların çevreye vermiş oldukları zararlar önlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma, atıkların kullanılmasıyla birlikte çevrenin korunması yönü ile de kendi alanında ülke öncelikleri arasında yer almaktadır. Atık malzemelerin kullanılması ile ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanacaktır. Yapılan çalışmada kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin üretiminde mermer tozu (MT) karışımında çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların taze özelliklerini belirlemek için yayılma deneyi ve T₅₀ süresi ölçümü, V-hunisi akış süresi ölçümü, L kutusu deneyi deneyleri yapılmıştır. Üretilen KYB'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için sertleşmiş betonlar üzerinde birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyi, basınç dayanımı deneyi, yarmada-çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan KYB'nin taze özelliklerinin EFNARC [4] kriterlerine uyduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca mermer tozu kullanılarak üretilen betonlardan elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının betonarme yapılarda kullanılacak seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kullanılan Malzemeler

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan malzemeler ile ilgili bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

2.1.1. Çimento

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde Afyon Çimento Fabrikası'nın (ÇİMSA) üretmiş olduğu TS EN 197-1 standartlı CEM I 42.5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun XRF analizi, fiziksel ve mekanik özellikler deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo1. Çimentonun XRF analizi, fiziksel ve mekanik özellik deney sonuçları

	Kimyasal Bileşim, %	CEM I 42.5 R
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO ₂	16.80
	Al ₂ O ₃	4.81
	Fe ₂ O ₃	3.55
	CaO	63.90
	MgO	1.94
	Na ₂ O	0.74
	K ₂ O	1.24
	SO ₃	3.02
	MnO	0.12
	Kükürt (S)	-
	Cl ⁻	0.01
	Kızdırma kaybı	1.24
	Çözünmeyen Kalıntı	0.44
	Serbest Kireç	1.90
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	3.15
	Özgül yüzey, cm ² /gr	3320
	Standart Kıvam Su Miktarı, %	32
	Priz Başlama Süresi, dk	177
	Priz Sona Erme Süresi, dk	244
	Hacim Genleşmesi, mm	2
Mekanik Özellikler	Basınç Dayanımı, MPa	28.2
	Basınç Dayanımı, MPa	41.7
	Basınç Dayanımı, MPa	52.3

2.1.2. Mermer Tozu

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde Afyon ili organize sanayi bölgesindeki mermer fabrikalarının çökeltme havuzlarından temin edilen mermer tozları kullanılmıştır.

Tablo 2. Mermer tozunun XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları

	Kimyasal Bileşim, %	Mermer Tozu
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO ₂	0.17
	Al ₂ O ₃	0.07
	Fe ₂ O ₃	0.07
	CaO	55.10
	MgO	0.39
	Na ₂ O	0.05
	K ₂ O	0.01
	SO ₃	0.08
	MnO	-
	Kükürt (S)	-
	Cl ⁻	0.04
	Kızdırma kaybı	44.0
	Çözünmeyen Kalıntı	-
	Serbest Kireç	-
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	2.59
	Özgül yüzey, cm ² /gr	6740

Çökeltme havuzundan alınan mermer tozları öncelikle kurutulmuş ve sonrasında öğütülerek betonda kullanılacak hale getirilmiştir. Mermer tozunun XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

2.1.3. Taş Unu (Kalker Tozu)

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde KOLSAN hazır beton tesisinin taş ocaklarından elde edilen taş unu (kalker tozu) kullanılmıştır. Taş ununun XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Taş ununun XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları

	Kimyasal Bileşim, %	Taş Unu
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO ₂	3.88
	Al ₂ O ₃	1.68
	Fe ₂ O ₃	0.23
	CaO	50.90
	MgO	0.85
	Na ₂ O	0.05
	K ₂ O	0.18
	SO ₃	0.08
	MnO	0.01
	Kükürt (S)	-
	Cl ⁻	-
	Kızdırma kaybı	41.90
	Çözünmeyen Kalıntı	-
	Serbest Kireç	-
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	2.58
	Özgül yüzey, cm ² /gr	2252

2.1.4. Agregalar

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde Afyon KOLSAN hazır beton tesisinin taş ocaklarından elde edilen kalker esaslı kırma kum ve kırma taş I agregaları kullanılmıştır. Beton üretiminden kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 4’te verilmiştir. Agregaların XRF analizi sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kırma kum ve kırmataş I sırasıyla % 55 ve % 45 oranlarında kullanılmıştır.

Tablo 4. Agregaların fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Kırma Kum	Kırma Taş I
Özgül ağırlık	2.641	2.688
Su emme, %	1.833	0.604
İncelik modülü	2.17	5.64

Tablo 5. Agregaların XRF analizi sonuçları

	Kimyasal Bileşim, %	Kırma Kum
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO ₂	1.72
	Al ₂ O ₃	0.82
	Fe ₂ O ₃	0.15
	CaO	52.50
	MgO	1.63
	Na ₂ O	0.03
	K ₂ O	0.08
	SO ₃	0.02
	MnO	0.01
	Kükürt (S)	-
	Cl	0.01
	Kızdırma kaybı	42.90
	Çözünmeyen Kalıntı	-
	Serbest Kireç	-

2.1.5. Hiper akışkanlaştırıcı

Deneysel çalışmalarda SİKA Yapı Kimyasalları firmasının ürünü olan ViscoCrete Hi-Tech 30 hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Kullanılan katkıının kimyasal yapısı modifiye polikarboksilat esaslı polimerdir. Bu katkı yüksek oranda su azaltma özelliğine sahiptir.

2.2. Kendiliğinden yerleşen beton karışım oranlarının belirlenmesi

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde taze özelliklerin sağlanabilmesi için yüksek oranda toz malzemenin (400-600 kg/m³) kullanılması gerekmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde toz malzeme olarak çimento kullanıldığında çok yüksek dayanımlar elde edilmektedir. Amacımız C30 dayanımında beton üretmek olduğundan deneme üretimlerinde çimento dozajı 350 kg/m³ olacak şekilde sabit tutulmuştur. Çimentoya ilave toz malzeme olarak taş unu (kalker tozu) eklenerek çeşitli deneme üretimleri yapılmıştır. Katkı miktarı, tüm karışımlarda herhangi bir ayrışmaya neden olmadan kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayacak ve 650-750 mm yayılma değerleri elde edilecek şekilde kullanılmıştır. Sonuç olarak EFNARC'da [4] taze beton için verilen sınır değerleri sağlayan karışımlar elde edilmiştir. Elde edilen karışım oranları Tablo 6'da verilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin üretiminde toz malzeme miktarı 475 kg/m³ (350 kg/m³ çimento+125 kg/m³ kalker tozu) olarak seçilmiştir. Üretilen her seride kalker tozu karışıma 125 kg/m³ olacak şekilde ilave edilmiştir. Mermer Tozu (MT) karışımlarda çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Kontrol olarak verilen indis herhangi bir mineral katkıının kullanılmadığı kendiliğinden yerleşen beton serilerini göstermektedir. MT10, MT20 ve MT30 olarak verilen kısaltmalar ise çimento yerine %10, 20 ve 30 oranlarında mermer tozunun kullanıldığı kendiliğinden yerleşen beton serilerini göstermektedir.

Tablo 6. Kendiliğinden yerleşen beton karışım oranları

Karışım Kodu	Su/Toz Malz.	Su kg/m ³	Çimento kg/m ³	Kalker Tozu kg/m ³	MT kg/m ³	Kum kg/m ³	K.Taş I, kg/m ³	SA kg/m ³
Kontrol	0.36	171	350	125	-	937	781	4.51
MT10	0.36	171	315	125	35	934	778	4.28
MT20	0.36	171	280	125	70	932	776	3.56
MT30	0.36	171	245	125	105	929	774	2.85

2.3. Yapılan Deneyler:

2.3.1. Taze beton deneyleri

Kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinde yayılma deneyi ve T_{50} süresi ölçümü, V-hunisi akış süresi ölçümü, L kutusu deneyleri yapılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton deneyleri sonucunda üretilen betonların Tablo 7’de verilen EFNARC [4] sınır değerlerini sağlayıp sağlamadığı belirlenmiştir. Yayılma ve T_{50} süresi ölçümü deneyinin yapılışı Şekil 1’de, V-hunisi akış süresi ölçümü ve L kutusu deneyinin yapılışı Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Çökme yayılma, V hunisi ve L kutusu için EFNARC [4] sınır değerleri

Özellikler	Deney Adı	Birim	Sınıflandırma	Değer Aralığı
Akıcılık/ Doldurma Yeteneği	Çökme Yayılma	mm	SF1	550-650
			SF2	660-750
			SF3	760-850
Viskozite / Akıcılık	T500 süresi	sn	VS1	≤ 2
			VS2	> 2
	V hunisi	sn	VF1	≤ 8
			VF2	9 -25
Geçme Yeteneği	L kutusu	mm	PL1	$\geq 0,80$ (2 donatı çubuklu)
			PL2	$\geq 0,80$ (3 donatı çubuklu)

Tablo 8. Kendiliğinden yerleşen betonların taze beton deney sonuçları.

Karışım Kodu	Çökme Yayılma		T500 süresi		V hunisi		L kutusu	
	Sonuç	Sınıf	Sonuç	Sınıf	Sonuç	Sınıf	Sonuç	Sınıf
Kontrol	680	SF2	5.59	VS2	14.3	VF2	0.80	PL2
MT10	705	SF2	4.00	VS2	23.8	VF2	0.74	-
MT20	700	SF2	4.42	VS2	20.4	VF2	0.78	-
MT30	700	SF2	4.70	VS2	18.1	VF2	0.83	PL2

Kendiliğinden yerleşen betonların taze beton deney sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde genel olarak Tablo 7’de verilen sınır değerlerin sağlandığı görülmektedir. Bazı serilerde h_2/h_1 sınır değerleri sağlanamamıştır.



Şekil 1. Yayılma ve T_{50} süresi ölçümü deneyinin yapılışı



Şekil 2. V hunisi akış süresi ve L kutusu deneyinin yapılışı

2.3.2. Ultrases geçiş süresi ve basınç dayanımı deneyi

Ultrases geçiş süresi deneyi basınç deneylerinde kullanılan 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyleri de 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. İlgili deneyler kür süresi dolan 28 günlük numuneler üzerinde yapılmıştır.

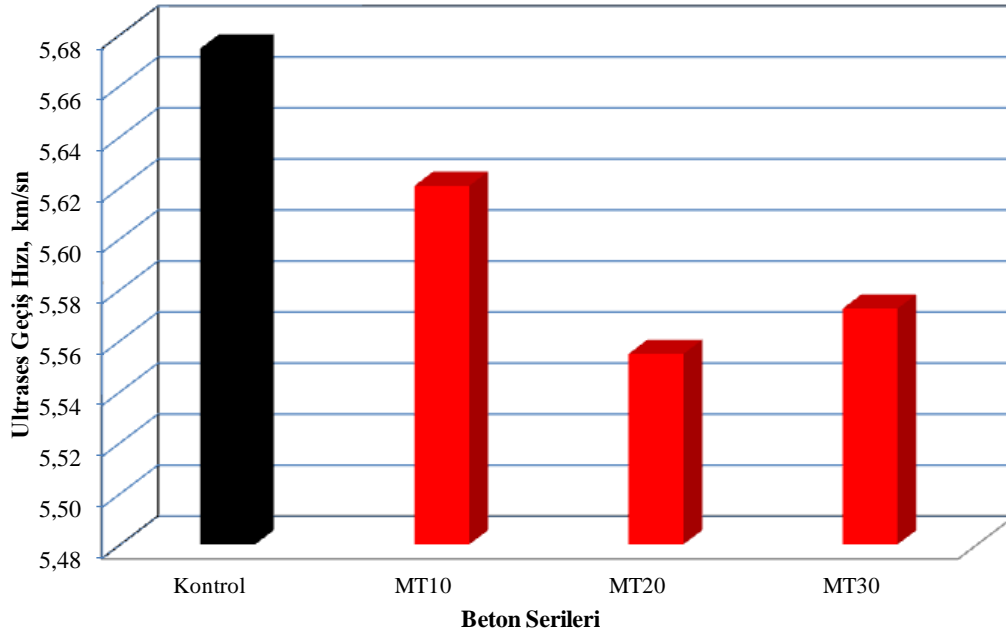
2.3.3. Yarmada-çekme dayanımı deneyi

Betonun çekme dayanımı endirekt olarak belirlemek için 100x200 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yarma deneyi yapılmıştır. Yarmada-çekme dayanımı deneyleri kür süresi dolan 28 günlük numuneler üzerinde yapılmıştır.

3. Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

3.1. Ultrases geçiş hızı sonuçları ve değerlendirilmesi

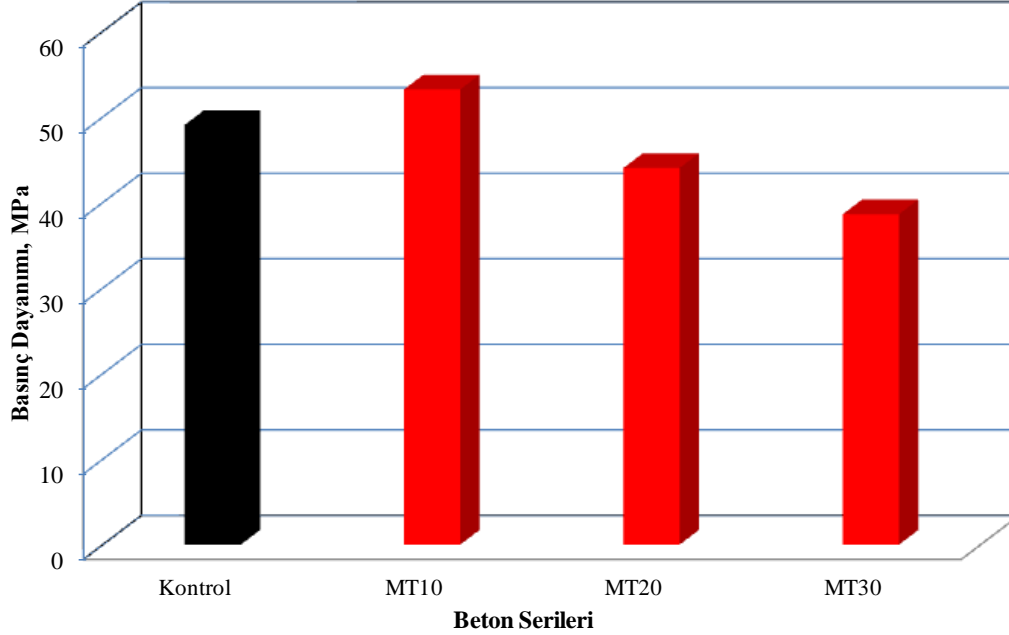
Ultrases geçiş hızı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde çimento yerine kullanılan mermer tozu oranlarının artması ile birlikte ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlardan mermer tozu katkılı betonların daha boşluklu bir içyapıya sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. Ultrases geçiş hızı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

3.2. Basınç dayanımı sonuçları ve değerlendirilmesi

Basınç dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde en düşük basınç dayanımı sonuçları mermer tozunun çimento yerine %30 oranında kullanıldığı serilerden elde edilmiştir.

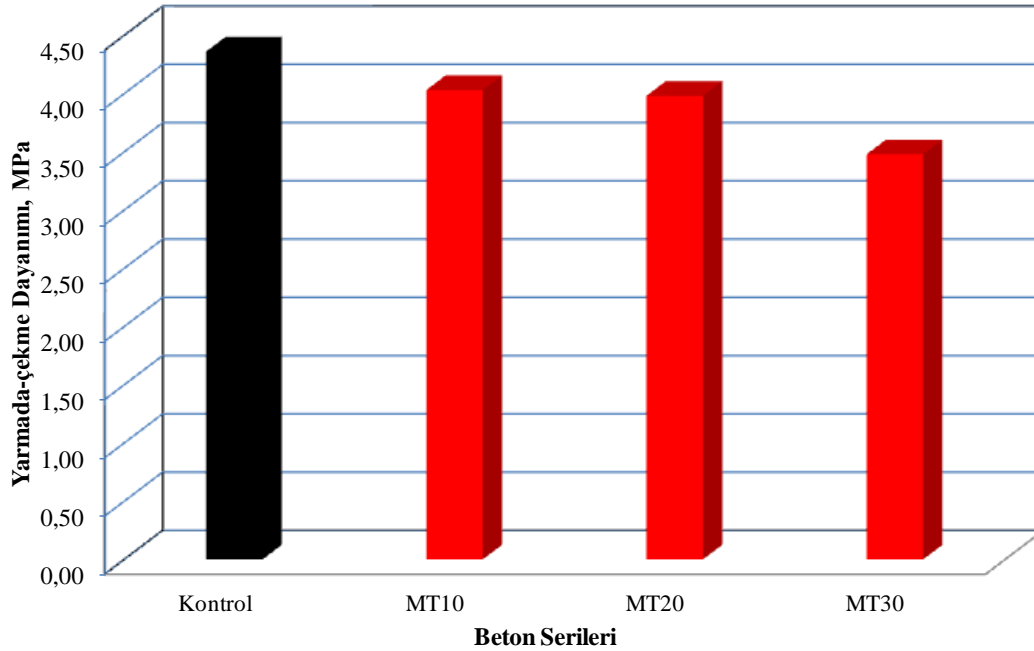


Şekil 4. Basınç dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

Mermer tozu kullanım oranlarının artırılması ile MT20 ve MT30 serilerinde basınç dayanımlarının sonuçlarının kontrol serilerine göre azaldığı sonucuna varılmıştır. Mermer tozu katkılı seriler incelendiğinde basınç dayanımı sonuçlarına göre C30 kalitesinde betonların üretilebildiği görülmektedir. Çimento yerine %30 oranında mermer tozunun kullanılması ile oldukça yüksek oranlarda atık malzemenin beton içerisinde değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

3.3.) Yarmada-çekme dayanımı sonuçları ve değerlendirilmesi

Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde en düşük yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının basınç dayanımı sonuçlarında olduğu gibi mermer tozunun çimento yerine %30 oranında kullanıldığı serilerden elde edilmiştir. Mermer tozu katkılı serilerde kullanılan mineral katkı oranlarının artması ile birlikte yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

4. Sonuçlar

Elde edilen sonuçlardan KYB'nin taze özelliklerinin EFNARC kriterlerine uyduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca mermer tozu kullanılarak üretilen betonlardan elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının C30 kalitesinde ve üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak mermer tozu kullanılarak üretilen betonlar, dayanım açısından betonarme yapılarda kullanılacak seviyededir. Atık malzemelerin kullanılması ile ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanacaktır

Teşekkür

Yazarlar 212M011 nolu projeye verdiği finansal destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Gesoğlu M, Güneyisi E, Kocabağ ME, Bayram V, Mermerdaş K, Fresh and hardened characteristics of self compacting concretes made with combined use of marble powder, limestone filler, and fly ash. *Construction and Building Materials* 2012; 37:160–170.
- [2] Güneyisi E, Gesoğlu M, Erdoğan Ö, Effects of marble powder and slag on the properties of self compacting mortars. *Materials and Structures* 2009; 42:813–826
- [3] Topçu İB, Ünal O, Uygunoğlu T, Kendiliğinden yerleşen betonda mineral katkıların taze beton özelliklerine etkilerinin araştırılması, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 23-24 Nisan, 181-193, 2007.
- [4] EFNARC (European Federation of national trade associations representing producers and applicators of specialist building products). *Specification and Guidelines for self-compacting concrete*. Hampshire, UK; 2002.