

BETON KATKI MADDESİNİN EKONOMİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Mehmet MUTLU
BOTEK Müh.Müş.A.Ş.
Tarsus-İÇEL

ÖZET

Yapılan çalışmada, taze ve sertleşmiş beton özelliklerini olumlu yönde etkilediği bilinen ve büyük projelerde önemli bir yer tutan normal akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin, aynı zamanda betonu ekonomik hale getirip getirmediği araştırılmaya çalışılmıştır.

Deney planı; bilinen üç ayrı firmanın katkısı, iki ayrı tip çimento(TÇ-32,5 ve PÇ-42,5) ve iki ayrı enbüyük dane çapı (19 ve 38 mm) parametrelerinin etkilerini inceleyecek şekilde çeşitli dozajlarda betonlar üretilmesi ve alınacak küplerin katkılı - katkısız dayanımlarını karşılaştırmak esasına dayandırılmıştır.

Sonuç olarak ;

- Katkı maddeleri kullanıldığında çimentodan 30-80 Kg/m³ tasarruf edilebileceği,
- TÇ-32,5 çimentosundaki ekonominin PÇ-42,5'e göre daha çok olduğu,
- Farklı firmaların katkıları ve enbüyük dane çaplarının pek etkili olmadığı söylenebilir.

1. GİRİŞ

Taze iken akıcı, sertleştikten sonra kaya kadar sağlam olabilen, günümüz inşaat teknolojisinin temel yapı taşı olarak bilinen beton; daha kaliteli ucuz ve kısa sürede işlerin tamamlanması gibi ekonomik zorlamaların neticesi, artık katkı maddesiz olarak düşünülemez hale gelmiştir.Baraj, otoyol, yüksek yapılar gibi büyük projelerde önemli yer tutan katkı maddeleri Türk Standartlarında da yerini almış olup (TS-3452), hazır beton piyasasına ise yavaş yavaş girmektedir.İsimlendirilmesinden ne amaçla kullanıldığı anlaşılabilen katkı maddeleri, maalesef halen ekstra bir masraf olarak değerlendirilen bir tür ilaç olarak düşünülmektedir.

Amacımızı daha iyi açıklayabilmek için katkıların özelliklerini ve yararlarını, pek çok yayında değişik sınıflandırmalar bulunmakla beraber, aşağıdaki gibi tasnif etmekte fayda görülmektedir.

1.1.Katkı Maddesi Tipleri ve Özellikleri

Katkı Cinsi		Su Azaltma %	Beton Sınıfı N/mm2
1. Akışkanlaştırıcı	(Kimyasal)	5-10	20-30
2. Priz geciktirici	(")	-	Sıcak Havada Betonlama
3. Priz hızlandırıcı	(")	-	Püskürtme Betonu
4. Hava sürükleyici	(")	-	Dona Mukavim Beton
5. Gaz oluşturucu	(")	-	Hafif Beton
6. Süper akışkanlaştırıcı	(")	10-20	40-50
7. Hiper akışkanlaştırıcı	(")	20-40	50-70
8. Silis dumanı	(Mineral)	-	70-100
9. Yukarıdakilerin karma halleri (Akışkanlaştırıcı ve geciktirici gibi)			

1.2.Katkı Maddesinin Yararları

1.2.1.Taze Beton Özelliklerinin İyileştirilmesi

- Priz sürelerini uzatarak sıcak havada beton dökülebilmesi,
- Priz sürelerini kısaltarak soğuk havada beton dökülebilmesi,
- Kohezyonun artırılması, segregasyonun önlenmesi, tamir masrafının azaltılması,
- Geçirimsiz beton elde edilmesi,
- Betonun işlenebilirliğinin artırılarak işçiliğin azaltılması,
- Betonun uzak mesafelere minimum çökme (slump) kaybı ile ulaştırılması.

1.2.2.Sertleşmiş Beton Özelliklerinin İyileştirilmesi

- Dayanımın artırılması, çok yüksek dayanım imkanı sağlanabilmesi,
- Fiziksel ve kimyasal dayanıklılığın artırılması,
- Rötrenin azaltılması,
- Donatının korozyondan korunması.

1.2.3.Ekonomi

- Çimentonun azaltılması ve silo kapasitelerinin artırılması,
- Kum yüzdesinin azaltılması,
- Suyun azaltılması,
- İri agreganın değerlendirilmesi,
- Daha az soğuk su-buz kullanılması,
- Dayanım artışı nedeniyle kesitlerin küçültülmesi.

Yukarıda sıralanan faydalardan kuşkusuz en can alıcı olanı 1.2.3. Ekonomi bölümünde yer alan çimento dozajının azaltılarak ekonomi sağlanması olup, çalışılan konuyu teşkil etmektedir.Kohezyonun artırılarak geçirimsizliği, pompalanabilirliği arttırmak, priz süreleri ile oynayarak soğuk-sıcak hava koşullarında beton dökülebilmek de bir avantaj

olmakla beraber, normal şartlar altında her m³'ünde peşin olarak kazanabilmek, çökme kaybına uğramış bir transmikser betonu yeniden kullanılabilir hale getirebilmek gibi özellikler katkı maddesi kullanımını cazip kılmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1.Amac

Beton karışımlarındaki çimento dozajının akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak azaltılması ve bu miktarın ne düzeyde olup, nelerden etkilendiğinin çeşitli parametrelere göre değişimini ortaya koyabilmek amaçlanmıştır. Bu gayeye uygun olarak ; iki tip çimento, iki farklı maksimum agrega dane çapı (D_{max}) ve üç farklı bilinen firmanın normal akışkanlaştırıcı katkıları ile çalışılmıştır.

Deneysel çalışma sırasında özellikle hazır beton sektöründe ve büyük projelerde yaygın olarak kullanılan pompa betonu üzerinde durulmuş ve çökme değerleri 7-12 cm arasında sabit tutularak incelemeler yapılmıştır.

2.2.Deneme Planı

Yukarıda belirtilen amaçlar doğrultusunda ; memleketimizde en çok üretimi-tüketimi yapılan traşlı çimentolara, içinde iri çakılı (19-38mm) olan beton ve 20-40 N/mm² lik beton sınıfına ağırlık vererek aşağıdaki deney planı hazırlanmış olup, tablodan görülebileceği üzere TÇ-32,5 çimento ve D_{max}=38 mm agrega içeren beton üretimleri 42 üretimin 23'ünü oluşturmaktadır. Diğer serilerde ise, katkılı üretimler tek bir dozajda üretilmişler ve çeşitli dozajlarda katkısız olarak yapılan karışımların dayanımları ile karşılaştırılmışlardır.

Çimento Cinsi	D _{max} (mm)	Katkısız Üretimler	Katkı Maddesi İçeren Üretimler	Toplam Deneme Üretimi
TÇ-32,5	38	310-375 Dozlu 10 Üretim	300-360 Dozlu A-B-C Katkılı 13 Üretim	23
	19	400-450 Dozlu 4 Üretim	380 Dozlu A-B-C Katkılı 3 Üretim	7
PÇ-42,5	38	310-350 Dozlu 3 Üretim	310 Dozlu A-B-C Katkılı 3 Üretim	6
	19	320-360 Dozlu 3 Üretim	320 Dozlu A-B-C Katkılı 3 Üretim	6

2.3.Kullanılan Malzemeler

2.3.1.Agrega

Beton üretiminde kullanılan agregalar TS 706 şartlarına uygun olarak test edilmiştir. Adana-Çakıt Deresi yatağından sallama kepçe ile çıkarılarak yıkanıp-elenip 0-5, 5-19 ve 19-38 mm olmak üzere 3'e ayrılmıştır.

2.3.2.Çimento

Mersin'deki çimento fabrikasından alınan iki ayrı tip çimento (PÇ-42,5 ve TÇ-32,5) kullanılmış olup, KGM Araştırma Dairesi ve fabrika sertifikalarından alınan deney sonuçları tablo halinde Ek-2'de özetlenmiştir.Tabloda ayrıca, çimentoların nerelerde kullanıldığı ve şartnamesine uygunluğu ifade edilmektedir.

2.3.3.Katkı Maddesi/Su

Dünya'da ve Türkiye'de bilinen üç normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi, önerilen dozajlarında (% 0.3-0.4) kullanılmıştır.Beton üretiminde içilebilir özellikteki sudan istifade edilmiştir.

2.3.4.Beton

42 adet yapılan beton karışımlarının bileşimi, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleriyle birlikte iki sahife olarak Ek-1'de yer almaktadır.

3. İRDELEME VE YORUM

Elde edilen deney sonuçlarının TÇ-32,5 çimentosu ile üretilenleri Grafik-1 ve PÇ-42,5 ile üretilenleri Grafik-2'de değerlendirmeye alınmıştır.Her bir grafik, incelenen parametreler dikkate alınarak 4'e bölünmüş olup, alt iki bölme 7 günlük, üst 28 günlük deney sonuçları ve düşey olarak da 38 ve 19 mm'lik Dmax'lara ayrılmıştır.Örnek olarak, Grafik-1'de yer alan ; TÇ-32,5 çimentosu, Dmax=38 mm ve 28 günlük basınç dayanımlarının incelendiği sol üst bölüm ele alınırsa ;

1. Çimento dozajı 300-360 kg/m³ arasında değişen katkılı n=13 adet üretimin regresyon doğrusunun ($Y=0.15*X-11.5$) $r=0.89$ 'luk anlamlı korelasyon katsayısı ile ve 310-375 kg/m³'lük dozaj aralığına sahip katkısız n=10 üretimin regresyon doğrusunun ($Y=0.095*X-1.94$) $r=0.75$ 'lik anlamlı bir korelasyon ile yer aldığı,

2. Regresyon doğruları üzerinden gidildiği takdirde, 35 N/mm² gibi herhangi bir dayanım elde etmek için katkı kullanıldığında 310 kg/m³ çimento yeterli iken katkı kullanılmaması halinde 80 kg/m³ daha fazla çimentoya ihtiyaç duyulduğu, yani 310 yerine 390 kg/m³'lük bir dozajın gerekli olduğu, yüzde olarak ifade edilirse, katkı kullanılması halinde çimentodaki 80 kg/m³'lük tasarrufun %21 çimentoda azalma anlamına geldiği söylenebilir.

Benzer şekilde, diğer bölümler Grafik-1 ve Grafik-2'den alınarak çimentodaki azalma miktarı ve yüzdesi hesaplanmış ve aşağıdaki özet Tablo-1 ve Tablo-2 hazırlanmıştır.Yalnız, Grafik-1'deki sol alt ve üst haricindeki serilerde deney sayısının aşırı derecede

arttırılmaması amacı ile katkıli betonlar bir tek dozajda üretilirken katkısız olanlar 3-4 ayrı dozaj ile sınırlandırılmıştır. Bu durumda, katkıli karışımların ortalama değeri ile katkısız karışımların regresyon doğrusu (Numune sayısı az olmakla beraber fikir vermesi amacıyla yapılmıştır.) üstündeki değeri karşılaştırılmıştır. Örneğin, Grafik-1 sağ-üst bölümde bulunan $D_{max}=19$ mm ve 28 günlük basınç dayanımı 37.3 N/mm²'lik katkıli bir değer 380 kg/m³ dozajla üretilirken, katkısız olarak 435 kg/m³ çimentoya gereksinim duyduğu görülmektedir. Sonuç olarak, katkı kullanılması halinde 55 kg/m³ veya %13 daha az çimento kullanıldığı söylenebilir.

TABLO-1

TÇ-32,5 Çimentosu İle Yapılan Üretimlerin Analizi (Grafik-1'den)

Yaş	$D_{max} = 38$ mm	$D_{max} = 19$ mm
28 gün	35.0 N/mm ² Dayanım için Çimentodaki azalma : $390 - 310 = 80$ kg/m ³ veya (%21) bulunur.	37.3 N/mm ² Dayanım için Çimentodaki azalma : $435 - 380 = 55$ kg/m ³ veya (%13) bulunur.
7 gün	23.7 N/mm ² Dayanım için Çimentodaki azalma : $370 - 300 = 70$ kg/m ³ veya (%19) bulunur.	26.3 N/mm ² Dayanım için Çimentodaki azalma : $435 - 380 = 55$ kg/m ³ veya (%13) bulunur.

TABLO-2

PÇ-42,5 Çimentosu ile Yapılan Üretimlerin Analizi (Grafik-2'den)

Yaş	$D_{max} = 38$ mm	$D_{max} = 19$ mm
28 gün	44.8 N/mm ² Dayanım için Çimentodaki azalma : $355 - 310 = 45$ kg/m ³ veya (%13) bulunur.	44.8 N/mm ² Dayanım için Çimentodaki azalma : $380 - 320 = 60$ kg/m ³ veya (%16) bulunur.
7 gün	38.8 N/mm ² Dayanım için Çimentodaki azalma : $345 - 310 = 35$ kg/m ³ veya (%10) bulunur.	35.8 N/mm ² Dayanım için Çimentodaki azalma : $350 - 320 = 30$ kg/m ³ veya (%9) bulunur.

Tablo-1 ve 2'nin incelenmesi neticesi ;

1. TÇ-32,5 çimentosu ile yapılan üretimlerde 55-80 kg/m³ (%13-21) çimentodan tasarruf edilebilirken, PÇ-42,5 ile yapılan karışımlardan, 30-60 kg/m³ (%9-16) gibi daha az ekonomi sağlanabileceği,

2. D_{max}=19 ile 38 mm arasında da, D_{max}=38 mm kullanılması lehine az da olsa tasarruf edilebileceği (%9-16 yerine %10-21),

3. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları arasında da, çimentonun azaltılması açısından, biraz fark olduğu, betonun yaşının ilerledikçe daha karlı hale geldiği söylenebilmektedir (%9-19 yerine %13-21).

4. SONUÇ

Şantiye imkanlarının elverdiği ölçüde sadece akışkanlaştırıcı katkı ile yapılabilen 42 adet deneyle sınırlı kalan çalışmanın sonunda elde edilen bulgu ; katkılı karışımlardan oldukça ekonomi sağlanabileceği olmuştur.

Bu sonuçtan hareketle, beton bileşimine normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi katıldığında ;

1. Beton karışımı hesabında artan agrega miktarı bedelinin azalan su ile rahatlıkla karşılanacağı,

2. Katkı maddesinin bedelinin 5-10 kg/m³ çimentoya eşit olduğu kabul edilirse, bunun azalan 30-80 kg/m³ çimentoya nazaran önemli bir yekün teşkil etmediği,

3. Yurdumuzda üretilen çimentonun çoğunluğunun, TÇ-32,5 türü, traslı çimentolar olduğu düşünüldüğünde, katkı maddesinin varlığının daha çok hissedildiği bu tür çimentolarda dozaj azaltmanın öneminin ortaya çıktığı söylenebilir.

Her ne kadar çimentoyu azaltmanın dayanıklılık açısından bazı mahzurları var ise de, normal akışkanlaştırıcı katkının aşırı bir dozaj düşüklüğüne neden olmayacağı, dayanıklılık için gerekli minimum dozajın, katkının işlenebilirliği arttırması neticesi daha azalacağı düşünüldüğünde önemli sakıncalar ile karşılaşılmayacağı varsayılabilir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın sürdürülebilmesi için yardımlarını esirgemeyen Pozanti-Tarsus-Mersin Otoyolu Mühendis-Müteahhit firmalarına (BOTEK Müh.Müş.A.Ş.-DOĞUŞ İnş.Tic.A.Ş.), Laboratuvar Personeline ve Daktilo-Grafik işlerini yapan BOTEK A.Ş. İdari Personeline teşekkürü bir borç bilirim.

EK-GRAFİK LİSTESİ

EK-1/1	Beton Karışımları Listesi
EK-1/2	Beton Karışımları Listesi
EK-2	Kullanılan Çimentoların Özellikleri
GRAFİK-1	TÇ-32,5 Çimentosu İle Yapılan Karışımların Değerlendirilmesi
GRAFİK-2	PÇ-42,5 Çimentosu İle Yapılan Karışımların Değerlendirilmesi

BETON KARIŞIMLARI LİSTESİ

EK-1/1

Dmax mm	Sıra No	Su/Çim.	Su lt/m ³	Çimento kg/m ³	KATKI*		AGREGA MİKTARLARI			TAZE BETON ÖZELLİKLERİ		SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ		
					Tür	Oran %	0-5	5-19	19-38	Çökme cm	Birim Ağ. kg/m ³	Sıcaklık °C	7 gün	28 gün
							TC-32,5 Çimentosu ile Yapılanlar							
38	1	0.52	156	300	A	0.3	727	700	513	10	2408	28	22.3	
38	2	0.52	156	300	B	0.3	727	700	513	10	2417	29	27.1	
38	3	0.52	156	300	C	0.3	727	700	513	10	2410	29	22.5	
38	4	0.51	163	320	A	0.3	713	686	503	10	2397	28	25.3	
38	5	0.51	163	320	B	0.3	713	686	503	10	2397	28	27.4	
38	6	0.51	163	320	C	0.3	713	686	503	10	2398	28	26.1	
38	7	0.46	156	340	A	0.3	710	683	500	9	2413	28	28.9	
38	8	0.46	156	340	B	0.3	710	683	500	9	2411	29	32.4	
38	9	0.46	156	340	C	0.3	710	683	500	9	2410	29	28.3	
38	10	0.47	160	340	A	0.4	701	674	494	9.5	2401	27	26.8	
38	11	0.45	162	360	A	0.4	701	674	494	9	2403	27	34.1	
38	12	0.45	162	360	B	0.4	701	674	494	9	2404	27	30.8	
38	13	0.45	162	360	C	0.3	701	674	494	9	2403	27	32.4	
38	14	0.57	177	310			689	681	503	9	2360	13	15.4	
38	15	0.55	175	325			687	674	490	12	2355	15	18.7	
38	16	0.53	175	330			641	655	568	9.5	2369	22	21.1	
38	17	0.53	178	336			684	671	488	10	2357	18	17.5	
38	18	0.51	175	343			680	672	496	8	2366	19	22.8	
38	19	0.46	161	350			642	674	574	7	2391	20	24.5	
38	20	0.48	173	360			628	650	561	8.5	2372	20	23.9	
38	21	0.48	175	365			678	664	483	7	2365	20	23.1	
38	22	0.47	174	370			629	643	558	9.5	2374	22	22.6	
38	23	0.47	176	375			673	660	480	8.5	2364	15	21.5	

* Normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi

BETON KARIŞIMLARI LİSTESİ

EK-1/2

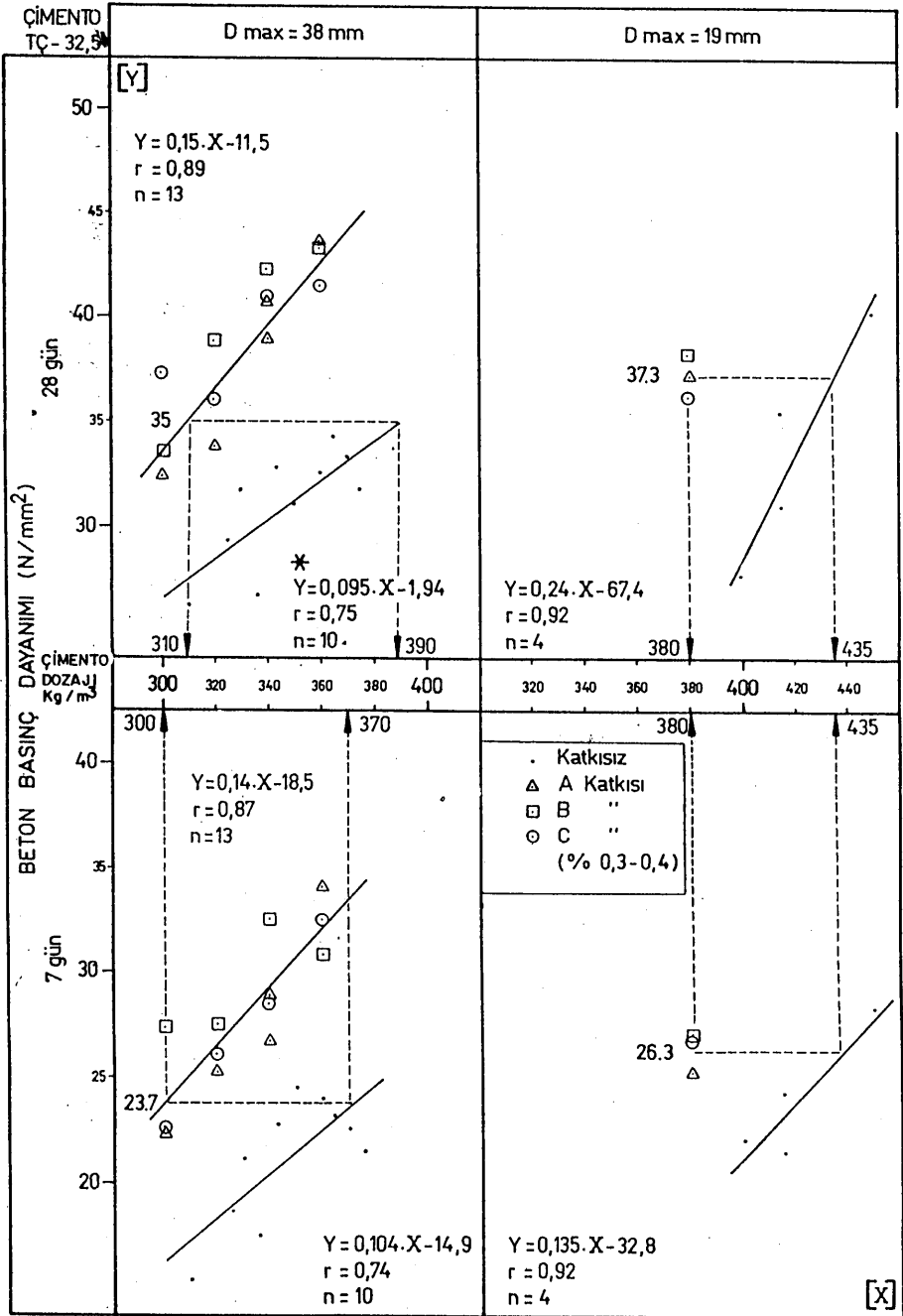
Dmax mm	Sıra No	Su/Çim.	Su l/m ³	Çimento kg/m ³	KATKI*		AGREGA MİKTARLARI			TAZE BETON ÖZELLİKLERİ			SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ	
					Tür	Oran %	0-5	5-19	19-38	Çökme cm	Birim Ağ. kg/m ³	Sıcaklık °C	7 gün	28 gün
							TC-32,5 Çimentosu ile Yapılanlar							
19	24	0.46	175	380	A	0.3	783	994	9	2367	20	25.3	37.2	
19	25	0.46	175	380	B	0.3	783	994	9	2368	20	27	38.3	
19	26	0.46	175	380	C	0.3	783	994	9	2369	21	26.7	36.3	
19	27	0.45	180	400			717	1033	11	2330	22	21.9	27.7	
19	28	0.45	187	415			718	1014	14	2334	22	21.5	31	
19	29	0.43	179	415			727	1027	10	2348	24	24.2	35.6	
19	30	0.46	207	450			734	911	10	2302	23	28.3	40.4	
							PÇ-42,5 Çimentosu ile Yapılanlar							
19	31	0.46	147	320	A	0.3	876	1070	8.5	2413	30	35.9	44.8	
19	32	0.46	147	320	B	0.3	876	1070	9		28	34.8	43.9	
19	33	0.46	147	320	C	0.3	876	1070	8		28	36.8	45.8	
19	34	0.5	160	320			861	1053	10	2394	30	30.8	39.4	
19	35	0.49	167	340			845	1033	9.5	2385	29	32.6	38.5	
19	36	0.47	169	360			835	1021	8.5	2385	29	37.9	43.5	
38	37	0.48	148	310	A	0.3	794	596	9	2445	30	37	43.1	
38	38	0.48	148	310	B	0.3	794	596	7	2445	35	39.3	45.7	
38	39	0.48	148	310	C	0.3	794	596	9	2445	34	40.1	45.6	
38	40	0.51	158	310			786	590	9	2434	26	29.3	38.6	
38	41	0.5	165	330			771	578	8	2422	30	34.8	37.2	
38	42	0.46	161	350			770	570	9	2435	29	39.6	45.6	

*Normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi

KULLANILAN ÇİMENTOLARIN ÖZELLİKLERİ

EK-2

ÖZELLİKLER			TÇ-32.5		PÇ-42.5	
			DENEY	TS 26	DENEY	TS 19
KULLANIM YERİ VE AMACI			*Zararlı etki altındaki sanat yapılarında *Toprak veya su ile teması nedeniyle geçirimsizlik sağlamak amacıyla, menfez, temel kazık vb. yapılarda		*Yüksek dayanım için prekast üretimlerde *Köprü ve Viyadük betonlamalarında	
FİZİKSEL ÖZELLİKLER						
Elek	200 mikron	% kalan	0.4	Max 0.6	0.2	Max 1.0
Analizi	90		4.3	Max 10	3.2	Max 14
Priz Süreleri	Başlama Bitim	Saat.Dakika	2.10 3.15	Min 1.00 Max 10.00	2.45 3.55	Min 1.00 Max 10.00
Hacim Genleşmesi		mm	2.0	Max 10.0	2.0	Max 10.0
Özgül Yüze	Blaine	cm ² /g	3310	Min 2800	2800	Min 2400
KİMYASAL ÖZELLİKLER						
S		%	-	-	-	-
SO ₃			1.8	Max 3.0	2.6	Max 3.5
MgO			1.6	Max 5.0	1.4	Max 5.0
Kızdırma kaybı			3.2	Max 5.0	2.2	Max 4.0
Çözünmeyen kalıntı			18.7		0.6	Max 1.5
SiO ₂			16.3		19.7	
Al ₂ O ₃			7.1		5.3	
Fe ₂ O ₃			3.5		3.8	
CaO(free)			0.2		0.5	
MEKANİK ÖZELLİKLER						
Çekme Dayanımı (Eğilmede)	2 gün	N/mm ²	- 5.2 6.1	- Min 4.0 Min 5.5	4.9 6.4 7.2	Min 4.0 Min 5.5 Min 6.2
Basınç Dayanımı	2 gün	N/mm ²	- 32.0 42.6	- Min 21.0 Min 32.5	24.7 42.6 53.9	Min 20.0 Min 31.5 Min 42.5



* Y: Regresyon Denklemi r: Korelasyon Katsayısı n: Numune Sayısı

