

BETON BASINÇ DAYANIMI VE HARÇ BASINÇ DAYANIMI ARASINDAKİ İLİŞKİ

Yasin Engin¹, İsmail Gökalp², Teoman Erenoğlu, Hakan Ekim

Özet

Beton basınç dayanımı; çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden etkilenmektedir. Beton üreticisi genellikle çimentonun harç dayanımı ile beton basınç dayanımı arasında pozitif lineer korelasyon olduğunu düşünmektedir. Yani harç basınç dayanımı arttıkça, tek değişkenin çimento olduğu durumda, betonun basınç dayanımı da artmalıdır şeklinde bir yargıya varılabilmektedir. Oysa beton basınç dayanımını ve dayanıklılığını etkileyen en önemli parametre olan su/bağlayıcı oranı çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinden de etkilenmektedir. Çimento harç dayanımı testi eşit su/çimento oranında yapıldığı için, çimentonun betondaki su ihtiyacına etkisi bu deneyde göz ardı edilmektedir. Beton üreticisi için eşit kıvamda basınç dayanımı belirleyici bir özelliktir. Bu farklı basınç dayanımı hesaplama yöntemleri çimento ve beton üreticisinin farklı yorumlar yapmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada laboratuvar ölçeğinde yapılan analizler ile bu durum istatistiksel olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

Relation Between Concrete Compressive Strength and Mortar Compressive Strength

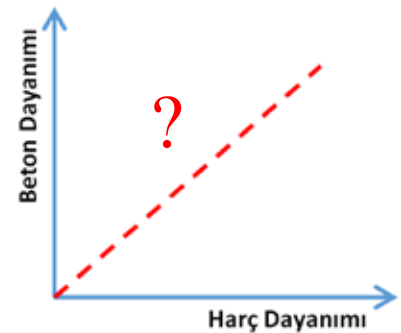
Concrete compressive strength highly depends on the physical, chemical and mechanical properties of cement. The concrete producers generally make an assumption that there is a positive linear correlation between the concrete compressive strength and the mortar (cement) compressive strength. That is to say, as the mortar strength increases, the strength of concrete, at where the only variable ingredient is cement, should also increase. However, the water/binder ratio, which is the most important parameter affecting the concrete strength and durability, is also affected by the physical and chemical properties of the cement. Since the mortar strength test is conducted at the same water/cement ratio, the effect of cement properties on the water requirement is ignored, whereas concrete compressive strength at an equal consistency is a decisive feature for the concrete producer. These different methods of measuring the compressive strength cause dissimilar evaluations for the cement and concrete producers. In this study, it was aimed to explain this situation clearly by using statistical tools.

gulanabilir.

1. A üreticisine ait 28 günlük harç basınç dayanımı ortalama 60 MPa olan CEM I 42.5 R çimentosunun kullanımı

1. GİRİŞ

Beton basınç dayanımı ile çimentonun harç basınç dayanımı arasında Şekil 1'deki gibi pozitif lineer korelasyon olduğu düşünülebilir. Yani betonda kullanılan çimentonun TS EN 196-1'e göre test edilen basınç dayanımı arttıkça, tek değişkenin çimento olduğu durumda, betonun basınç dayanımı da artmalıdır şeklinde bir yargıya varılabılır.



Şekil 1: Pozitif lineer korelasyon

Bu konuyu bir örnek ile detaylandırmak gerekirse iki farklı senaryo kur-

1) yasin.engin@gmail.com 2) ismail.gokalp@akcansa.com.tr Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ, İstanbul
(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

2. B üreticisine ait 28 günlük harç basınç dayanımı ortalama 55 MPa olan CEM I 42.5 R çimentosunun kullanımı

İki senaryoyu karşılaştırmak için öncelikle bazı kısıtlamaları belirlemek gerekmektedir.

- Her iki durumda da çimento dışında aynı özellikte malzemeler (agrega, su ve kimyasal katkı gibi) kullanılacaktır.
- Beton karışımlarındaki malzeme oranları su hariç eşit olacaktır.
- Betonların eşit kıvamda olması için su ayarlaması yapılacaktır.

Genel kabul 60 MPa harç basınç dayanımına sahip çimento kullanılan betonun daha yüksek dayanım vermesidir. Eğer çimentonun sadece dayanımının beton özelliklerini etkilediği varsayılsaydı bu kabul kesin bir doğru olacaktı, ancak gerçekte çimentonun beton performansına etkisi çok daha kapsamlıdır.

2. Harç ve beton basınç dayanımı ilişkisi

2.1. Literatür taraması

Beton dayanımının; çimento matrisine, matris-agrega arasındaki bağa (ara yüzey) ve agregaya dayanımına dayandığına yaygın olarak inanılmaktadır. Normal dayanımlı beton için matris dayanımı ve matris-agrega ara yüzeyi ön planda iken, yüksek dayanımlı betonlarda agregaya dayanımı da öne çıkmaktadır. Matris (çimento hamuru) ve matris-agrega bağ dayanımı büyük oranda matrisin porozitesine bağlıdır. Porozite başlangıçta çok ince tanecikli malzemelerin ve daha sonra hidrasyon ürünlerinin boşlukları doldurması ile azalmaktadır. Dolayısıyla da su/bağlayıcı oranının azalması ve hidrasyon derecesinin artması sonucu basınç dayanımı artmaktadır. Hidrasyon derecesi çimentonun kompozisyonu ve mikro yapısı tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Ayrıca, hem su/bağlayıcı oranı hem de hidrasyon derecesi çimento inceliğinden etkilenmektedir[1]. Bu hususlara dayanarak, aynı su/çimento oranındaki ve hidrasyon derecesindeki harç basınç dayanımı ile beton basınç dayanımı arasında iyi bir korelasyon beklenebilir.

Weaver ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada aynı kaynağa ait çimentoların harç dayanımları ile bu çimentolarla yapılan betonların basınç dayanımları arasında bir korelasyon bulunmamıştır [2].

Neville harç ve beton basınç dayanımı arasında oldukça iyi doğrusal bir korelasyon olduğunu bildirmiştir [3].

Gaynor, aynı şekilde harç ve beton mukavemeti arasında iyi bir korelasyon olduğunu göstermiş ve beton dayanımının harç dayanımından, su/bağlayıcı oranından ve betonun hava içeriğinden tahmin edilebileceği sonucuna varmıştır [4].

Kırılma sürecinin doğası, harç ve beton dayanımı açısından önemli etkilere sahiptir. Beton yüke maruz kaldığında matris ve agregaya arasındaki ara yüzeyde küçük çatlaklar oluşur. Ara yüzey, matristen ve agregadan daha zayıf olduğunda çatlak oluşumu gelişmeye devam eder. Ayrıca, çatlaklar henüz beton bir yüke maruz kalmadan termal gerilmelerden veya kuruma büzülmesinden dolayı da oluşabilmektedir. Bu çatlakların gelişimi ve büyümesi beton dayanımının azalmasına neden olur.

Bununla birlikte, harç dayanımının önemi beton dayanımı ile olan ilişkisinden daha fazladır. Çimento hidrasyonundaki potansiyel problemlerin birçoğu dayanımı etkiler. Ayrıca; hidrate olmuş çimentonun geçirgenliği dayanımda olduğu gibi su/bağlayıcı oranının ve hidrasyon derecesinin bir fonksiyonudur.

2.2. Harç ve beton basınç dayanım testinin farkı

Harç ve beton basınç dayanım testleri arasındaki temel farklar aşağıda belirtilmiştir.

- TS EN 196-1'e göre harç dayanımı eşit su/çimento oranında yapılmaktadır. Betonda ise dayanım performansı, kıyaslama yapılan reçetelerde eşit kıvam referans alınarak tatbik edilmektedir.
- Harç içeriğinde şahit kum kullanılır. Betonda ise endüstriyel üretimde kullanılan agregaya kullanılır.
- Harçta iri agregaya yer almaz, bu nedenle kırılma mekaniği harç ve betonda farklıdır.
- Harç içeriğinde kimyasal katkı yoktur. Beton karışımında ise kimyasal katkı bulunabilir.
- Beton ve harç karışımlarındaki çimento pastası hacmi genelde farklıdır.

Bu farkların sonucu aşağıdaki durumlar gözlenmektedir.

- Eşit su/çimento oranında yapılan harçta çimentonun inceliği ve kimyasal yapısı kaynaklı su ihtiyacı tespit edilememektedir. Vicat deneyi ile tespit edilen su ihtiyacı ile betondaki su ihtiyacı arasında korelasyon yoktur. Ayrıca, çimentodaki su ihtiyacı değeri üretici tarafından kullanıcıya bildirilmek zorunda değildir. Analiz raporlarında bu bilgi yer almaz.
- Çimento ve kimyasal katkı uyumu harç tarafında tespit edilmez. Çimento-katkı uyumu; kıvam, kıvam kaybı ve priz süresi gibi özellikleri doğrudan etkiler.

Beton basınç dayanımı, kıvam ile birlikte değerlendirilir. Bu nedenle çimentonun dayanıma ve kıvama etkisi birlikte ele alınmalıdır.

3. İstatiksel değerlendirme

3.1. Laboratuvar çalışması

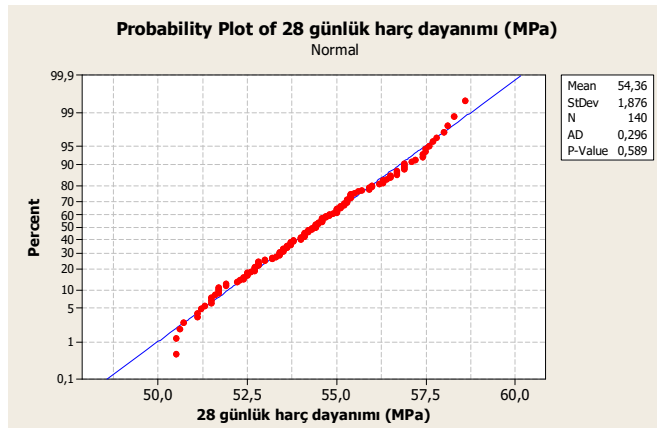
DeneySEL çalışma 2016 yılında yapılmış ve yaklaşık 7 ay sürmüştür. Çalışma ile ilgili detaylar aşağıda belirtilmiştir.

Çalışmada 140 adet CEM I 42.5 R çimentosunun harç dayanımı ve bu çimentolar ile yapılan betonların basınç dayanımları yer almaktadır.

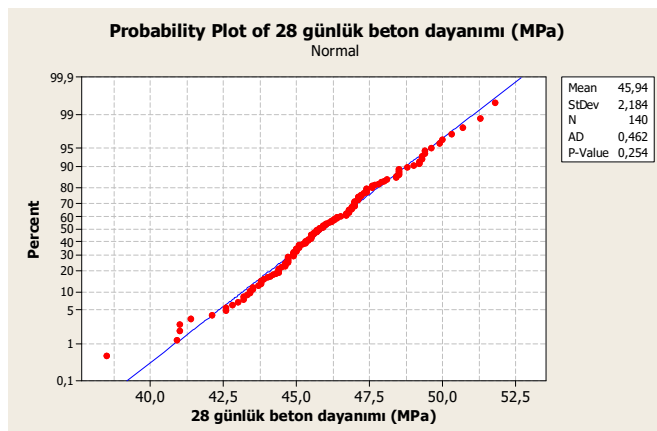
- Beton denemelerinin reçetesi aynıdır.
- Tüm beton denemelerinin kıvamı eşittir. (20 cm ± 0,5 cm)
- Beton denemelerinde aynı tip agrega ve kimyasal katkı kullanılmıştır.

3.2. Harç dayanımı, beton basınç dayanımı ve su/çimento varyans analizi

Doğru bir analiz yapmak için öncelikle deney verilerinin istatistiksel olarak kontrolü yapılmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3'te görüldüğü gibi hem harç hem de beton basınç dayanımları normal dağılım göstermektedir. Analizde etki eden parametreye (factor) harç dayanımı, etkilenen parametre (response) ise beton dayanımıdır.



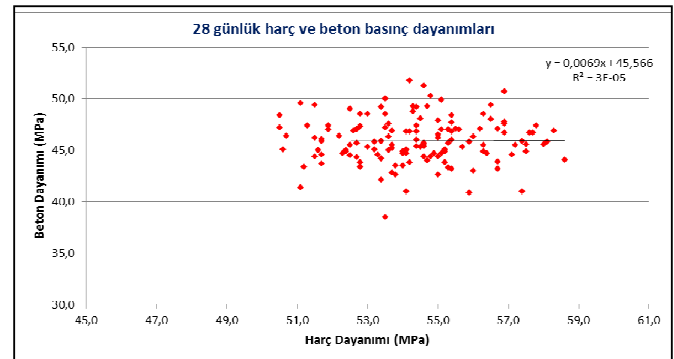
Şekil 2: 140 adet harç dayanımının ortalaması 54,4 MPa ve standart sapması 1,88 MPa



Şekil 3: 140 adet beton dayanımının ortalaması 45,9 MPa ve standart sapması 2,18 MPa

Şekil 4'te harç dayanımı - basınç dayanımı arasında yapılan regresyon analizi görülmektedir. Bu çalışmada 140 adet CEM I 42.5 R çimentosunun harç dayanım testi eşit su/çimento oranında TS EN 196-1'e göre yapılmıştır. Ayrıca, her çimento ile beton karışımı da yapılmıştır. Beton karışımlarında ham madde olarak sadece çimento değişkendir. Denemelerde eşit kıvam (20±0,5 cm çökme) referans alındığı için karışım suyunun miktarı da diğer bir değişkendir. Dolayısıyla beton denemelerinde su/çimento oranı eşit olmamaktadır.

Çalışmada kullanılan çimentoların harç dayanımı 50 - 59 MPa arasındadır. Bu aralık piyasaya farklı üreticiler tarafından arz edilen CEM I 42.5 R cinsi çimentoların 28 günlük basınç dayanım aralığını temsil edebilmektedir.

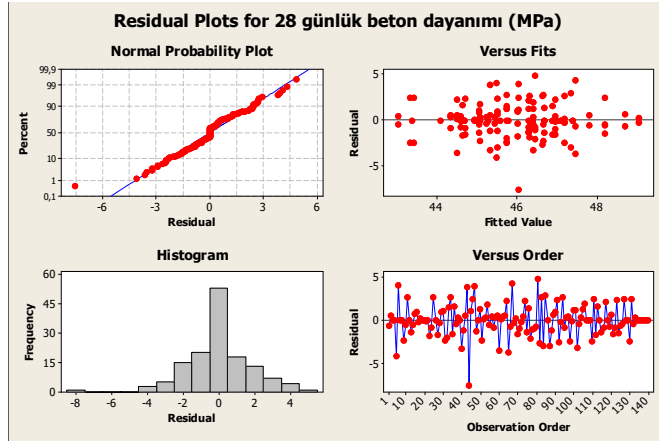


Şekil 4: Harç dayanımı - basınç dayanımı korelasyonu

Daha detaylı analiz Minitab 16 istatistik programı kullanılarak yapılmıştır. Tablo 1 ve Şekil 5'te harç dayanımı - beton basınç dayanımı varyans analizi sonuçları ve grafikleri belirtilmiştir. Analize göre harç ve beton basınç dayanımı arasında bir ilişki yoktur. Varyans analizine göre harç dayanımı - beton basınç dayanımı arasında H_0 hipotezi (sıfır hipotezi) oluşmuştur.

Tablo1: Harç dayanımı - beton basınç dayanımı varyans analizi

One-way ANOVA: 28 günlük beton dayanımı vs. 28 günlük harç dayanımı					
	DF	SS	MS	F	P
28 günlük harç dayanımı	61	212,59	3,49	0,60	0,979
Error	78	450,51	5,78		
Toplam	139	663,10			
S = 2,403 R-Sq = 32,06% R-Sq(adj) = 0,00%					



Şekil 5: Harç dayanımı - beton basınç dayanımı varyans analizi

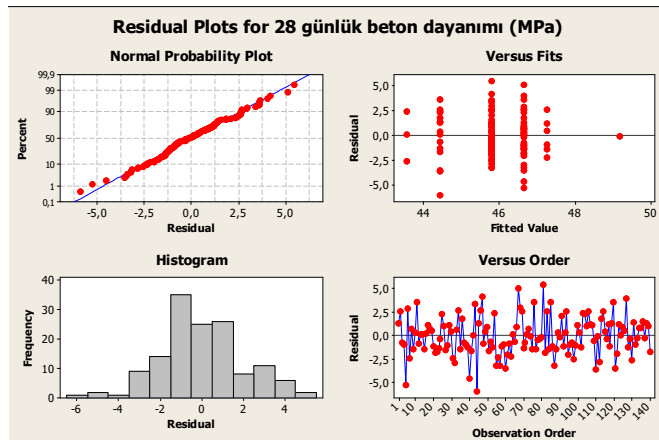
Tablo 2 ve Şekil 6'da görüleceği gibi, 140 adet farklı çimento ile yapılan 140 adet beton deneyinde su/çimento oranı - beton basınç dayanımı arasında R^2 değeri düşük olsa da daha kuvvetli bir korelasyon olduğu görülmektedir. İstatistiksel analize göre bu iki parametre arasında H_0 hipotezi (karşıt hipotezi) bulunmaktadır.

Tablo 2: Su/çimento oranı - beton basınç dayanımı varyans analizi

One-way ANOVA: 28 günlük beton dayanımı (MPa) vs. Su/Çimento					
	DF	SS	MS	F	P
Su/Çimento	5	93,90	18,78	4,42	0,001
Error	134	569,19	4,25		
Toplam	139	663,10			

S = 2,061 R-Sq = 14,16% R-Sq (adj) = 10,96%

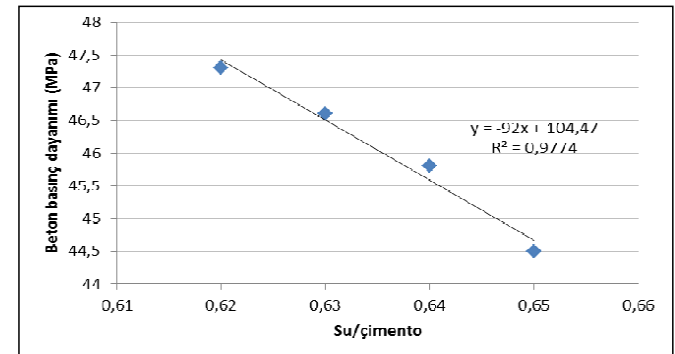
Şekil 6: Su/çimento oranı - beton basınç dayanımı varyans analizi



Su/çimento oranları gruplandırılarak Tablo 4 ve Şekil 7'de görülen daha kuvvetli korelasyona ulaşılmıştır. Su/çimento oranındaki varyasyon çimentodan kaynaklanmaktadır. Çimentoların inceliği ve kimyasal kompozisyonlarındaki sapmalar betondaki su ihtiyacını, dolayısıyla su/çimento oranını etkilemektedir.

Tablo 4: Su/çimento oranı beton basınç dayanımı ilişkisi

Deney adedi	Ort. su/çimento oranı	Ort. 28 günlük beton basınç dayanımı (MPa)
6	0,62	47,3
40	0,63	46,6
78	0,64	45,8
16	0,65	44,5



Şekil 6: Su/çimento oranı - beton basınç dayanımı varyans analizi

3.3. Harç ve beton basınç dayanımı standart sapma

Beton basınç dayanımının standart sapması birçok parametreye bağlıdır. Agreganın kirliliği, çimento dayanımındaki değişkenlik, farklı kıvam değerleri, numunenin alınışı ve koruma koşulları gibi birçok değişken buna örnek olarak verilebilir.

Laboratuvarda yapılan spot beton denemeleri ve bu denemelerde kullanılan aynı tip çimentonun (CEM I 42.5 R) 28 günlük basınç dayanımına ait standart sapmaları Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 4: Beton ve harç basınç dayanımı standart sapmalarının karşılaştırılması

	n	Harç basınç dayanım standart sapması	Beton basınç dayanım standart sapması
Fabrika A	183	2,64	2,03
Fabrika B	58	1,58	1,88
Fabrika C	59	1,56	1,87

Aynı fabrikaya ait aynı tip çimento kullanımı durumunda betonun 28 günlük basınç dayanımında yaklaşık 2 MPa değerinde standart sapma meydana gelmektedir.

Sonuç olarak laboratuvar koşulları gibi en ideal durumda bile beton basınç dayanımında sadece çimento kaynaklı (aynı üreticiye ait) 2-3 MPa değerinde standart sapma oluşabilmektedir. Endüstriyel üretimde başta agrega olmak üzere diğer parametrelerden de gelebilecek sapma ile beton basınç dayanımındaki toplam standart sapma 4-5 MPa değerine ulaşabilmektedir.

4. SONUÇ

Hazır beton üreticileri tarafından çimento, hem beton performansını belirleyen ana bileşen hem de maliyette en büyük payı alan ham madde olarak değerlendirilir. Bu nedenle beton performansındaki olumlu ve olumsuz gelişmeler çoğunlukla çimento kaynaklı algılanmaktadır.

Beton üreticileri genelde kullandıkları çimentonun harç dayanımına bakarak çimentonun betonda paralel şekilde performans sergileyeceğini düşünür. Oysa beton dayanımını belirleyen ana parametre olan su/çimento oranı çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinden doğrudan etkilenir. Harç dayanımı yüksek olan bir çimento, betonda su ihtiyacını arttırdığında beklenen performansın tam tersi ile karşılaşılabılır.

Sonuç olarak çimento üreticilerinin hazır beton üreticilerinin bu hassasiyetini göz önünde bulundurarak üretim ve kalite kontrol yapması, hazır beton üreticilerinin de çimentonun doğasından kaynaklı olan sapmaları tasarım yaparken güvenli alanda kalarak tolere etmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Karthikeyan H. O., "Improving Concrete Quality", CRC Press, 2015
2. Weaver, W. S., Isabelle, H. L., and Williamson, F., "A Study of Cement and Concrete Correlation", Journal of Testing and Evaluation, ASTM International, West Conshohocken, PA, Vol.2, 1974, pp. 260-303.
3. Neville, A. M., "Properties of Concrete", Pitman Publishing, London, 1973.
4. Gaynor, R. D., "Cement Strength and Concrete Strength—An Apparition or a Dichotomy?", Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 15, pp. 135-144, 1993