

## **GELENEKSEL BETONDA NEM ORANI-KIRILMA PARAMETRELERİ İLİŞKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**Kürşat Esat ALYAMAÇ, Ragıp İNCE**

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

### **ÖZET**

Beton, birçok özelliği halen tam anlamıyla belirlenememiş olan önemli bir yapı malzemesidir. Dünyanın her yerinde, yeraltı ve denizaltı gibi tamamen farklı nem oranlarına sahip ortamlarda beton yapılar inşa edilmektedir. Bu yapıların tasarımında ve ileriki yaşlarda değerlendirilmesinde ortamın nem durumu göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Çatlamış bir yapı en iyi kırılma mekaniği prensipleri ile analiz edilebilir. Günümüzde, beton ile kırılma mekaniği arasındaki ilişki birçok açıdan incelenmektedir. Bu çalışma da, standart dayanımını kazanmış betondaki nem miktarının kırılma parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Taze beton çökme miktarları farklı 3 grup karışım üretilmiştir. Her grup 18 adet çentikli kiriş ve 9 adet standart küp numuneden oluşmaktadır. Yaklaşık %0, %50 ve %100 nem miktarına sahip 28 günlük kiriş numuneler, üç noktalı eğilme, küp numuneler ise basınç deneyine tabi tutularak, kırılma yükleri belirlenmiştir. Bulunan değerler, Kırılma Mekaniği Metotlarından, İki Parametrelili Model kullanılarak, beton numunelerin kırılma parametreleri belirlenmiştir. Numunelerde nem miktarı arttıkça, kırılma parametrelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Böylece nem oranı farklı ortamlarda bulunan betonların, bu özellik dikkate alınarak tasarlanması ve değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Beton, Nem, Kırılma Mekaniği, İki Parametrelili Model, Pik Yük Metodu

### **DETERMINATION OF RELATIONSHIP BETWEEN MOISTURE RATE AND FRACTURE PARAMETERS FOR CONVENTIONAL CONCRETE**

#### **ABSTRACT**

Concrete is a type of a construction supply, of which many properties are still not discovered. Concrete buildings are being built all over the world, in places with different moisture percentages such as underground and undersea. The moisture percentage is an important factor by the design of concrete buildings in such places; as well as the future conditions of such buildings. A cracked building can only be analyzed the best way utilizing the principals of fracture mechanics. Nowadays, the relationship between the concrete and the fracture mechanic is analyzed in different aspects. In this study, the influence of the amount of moisture in the concrete with standard performans on the fracture parameters are being investigated. There are three different groups of mixtures produced out of fresh concrete settled amounts. Each group consist of 18 specimens of notched girders and nine specimens of standard cubic. The peak load have been identified after having three-point bending

experiments on the 28 days old specimens with 0%, 50% and 100 % moisture; and after having compressive strength experiments on the cubic samples. One of these values, the fracture parameters of these concrete specimens were identified utilizing the two parameters method out of all methods of fracture mechanics. It has been observed in the specimens that the fracture parameters decrease as the moisture rate increases. Therefore, it has been concluded that the concretes in humid regions and places need to be designed and calculated according to this moisture circumstance.

**Keywords:** Concrete, Moisture, Fracture Mechanics, Two Parameters Model, Peak Load Method

## 1. GİRİŞ

Beton, birçok özelliği halen tam anlamıyla belirlenememiş olan önemli bir yapı malzemesidir. Dünyanın her yerinde, yeraltı ve denizaltı gibi tamamen farklı nem oranlarına sahip ortamlarda beton yapılar inşa edilmektedir. Bu yapıların tasarımında ve ileriki yaşlarda değerlendirilmesinde ortamın nem durumu göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Barajlar, nükleer santraller, yüksek katlı yapılar, köprüler vb. gibi önemli yapılarda meydana gelecek beton hasarları çok büyük maddi ve manevi zararlara yol açabilir. Bu sebeplerden dolayı betonun çatlama davranışının incelenmesine olan ilgi günden güne artmaktadır [1].

Çatlamış bir yapı ancak Kırılma Mekaniği prensipleri kullanılarak gerçekçi bir şekilde analiz edilebilir. Kırılma Mekaniği Bilimi, malzemede varolan, çentik, çatlak ve boşluk gibi gerilme yığılmasını artıran kusurları ve bunlara bağlı olarak meydana gelen hasarları inceler. Kırılma Mekaniği, öncüsü olan Griffith'in 1920'li yıllarda gevrek ve homojen bir malzeme olan camlarda yaptığı çalışmalara dayanmaktadır [2]. Daha sonra Irwin, Griffith'in yaptığı çalışmaları bir adım daha ileriye götürmüş ve gevrek olmayan malzemelerde uygulamaya başlamıştır [3].

Kırılma Mekaniği önceleri sadece gevrek ve homojen bir malzeme olan camda ve yine bazı homojen metallere kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda bunun beton gibi yarı gevrek ve heterojen bir malzemede kullanılabilirliği araştırıldı. Bununla ilgili çalışmalar ilk kez Kaplan ile başladı [4]. Kaplan, betonu LEKM (Lineer Elastik Kırılma Mekaniği) Prensiplerini kullanarak incelemiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda, betonun kırılmasının tek bir parametre ile ifade edilemeyeceği anlaşılmıştır. Bu sebeple betonun kırılmasının karakterize edilmesi için, Lineer Olmayan Kırılma Mekaniği Yaklaşımları geliştirilmiştir. Betonun lineer olmayan kırılma davranışını karakterize etmek için önerilen metotlar, Kohezif Çatlak Modelleri ve Efektif Çatlak Modelleri olarak iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Kohezif çatlak modelleri içerisinde Kırılma-ışık-enerjisi yaklaşımı [5] ve Boyut Etkisi Modeli yer almaktadır [6]. Efektif Çatlak Modelleri sınıfında ise İki Parametrelili Model [7] ve Efektif Çatlak Modeli [8] gibi iki model yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, diğer bölümde ayrıntılarıyla açıklanan İki Parametrelili Model kullanılmıştır.

Betonun dayanım ve dayanıklılık performansı, üretimi, dökümü ve bakımı ile ilgili birçok etkene bağlıdır. Bunların hepsi betonun kırılma parametreleri üzerine de etkilidir. Betonun üretimi ile ilgili, agrega tipi, su/çimento oranı (W/C), çimento dozu ve en büyük agrega çapı ( $d_{max}$ ) gibi faktörler betonun kırılma parametreleri üzerine büyük oranda etkilidir [9]. Betonun kalıba yerleştirilme biçimi, sıkıştırılması işlemleri ve betonun kuru gibi dayanımı doğrudan etkileyen durumlarda mutlaka kırılma parametrelerini değiştirmektedir.

Nem oranı, beton dayanımını doğrudan etkileyen unsurlardan biridir [10]. Dayanım ise betonun kırılma parametreleri üzerine en etkili faktördür. Uygulamada birçok yapı, farklı nem

oranlarına sahiptir. Nem oranı düzeyi, dayanım üzerindeki etkisinden dolayı betonun kırılma parametreleri üzerinde de etkili olmaktadır.

Bu çalışma da , 9 seri olarak, toplam 54 adet çentikli kiriş (15x15x45 cm) ve 27 adet standart küp numune (15x15x15 cm) üretilmiştir. Serilerin çökme miktarları, 5-6, 10-12, 15-16 cm olarak 3 değişik şekilde düzenlenmiştir. 28 gün sonunda kiriş ve küp numuneler kırılmış ve elde edilen sonuçlar, İki Parametrelili Model ile analiz edilmiştir. Bu şekilde her bir serinin kırılma parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece nem miktarının, betonun kırılma parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Nem oranı arttıkça, betonun dayanımının ve kırılma parametrelerinin de azaldığı görülmüştür. Sonuçta, nem oranı farklı beton yapıların, beton karışım miktarları ve özellikleri aynı olmasına rağmen dayanım ve kırılma parametrelerinin farklı olduğu belirlenmiştir.

## 2. BETONUN KIRILMA MEKANIĞI

Betonun Kırılma Mekaniği Prensipleri kullanılarak incelenmesi konusu ilk kez 1961 de gündeme gelmiştir [4]. Kaplan, çalışmalarında, betonun kırılması için tek bir parametre öneren (kritik gerilme şiddet çarpanı  $K_{Ic}$  veya kırılma tokluğu  $G_{Ic}$  gibi ) LEKM prensiplerinden faydalanmıştır.

Gluckish ise LEKM'nin, homojen bir malzeme için geçerli olduğunu, beton gibi heterojen bir malzemeye değiştirilerek uygulanması gerektiğini savunmuştur (Gluckish, 1963). Bununla beraber daha sonra yapılan deneysel araştırmalar,  $K_{Ic}$  veya  $G_{Ic}$  gibi parametrelerinin numunenin boyut ve geometriye bağlı olarak değiştiğini gösterdi. LEKM nin uygulamadaki bu kusurları, çatlakın ucunda yer alan ve diğer malzemelere nazaran daha büyük bir yer işgal eden kırılma işlem süreci bölgesinin varlığından kaynaklanmaktadır. Kırılma işlem süreci bölgesi daha sonra bazı araştırmacılar tarafından karakterize edebilmek için bazı lineer-olmayan kırılma mekaniği yaklaşımları önerilmiştir. Beton için lineer olmayan kırılma mekaniği yaklaşımlarından en çok, Hayali Çatlak modeli, Boyut Etkisi Modeli ve İki Parametrelili Model kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bir sonraki bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanan İki Parametrelili Model kullanılmıştır.

### 2.1 İki Parametrelili Model (IPM)

Lineer olmayan kırılma mekaniği yaklaşımları içerisinde, İki Parametrelili Model, beton bir yapıda, gerilme şiddet çarpanı  $K_I$  (burada sadece Mod I durumu dikkate alınmaktadır) ve çatlak ucu açılımı  $CTOD$  değerleri, kritik gerilme şiddet çarpanı  $K_{Ic}^s$  ve kritik çatlak ucu açılımı  $CTOD_c$  olan kritik değerlerine eriştiğinde göçmenin meydana geldiğini kabul etmektedir. Bu kırılma parametreleri Lineer Elastik Kırılma Mekaniğine (LEKM) ait denklemlerle aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$K_{Ic}^s = \sigma_{Nc} \sqrt{\pi a_c} f_1 \quad (1)$$

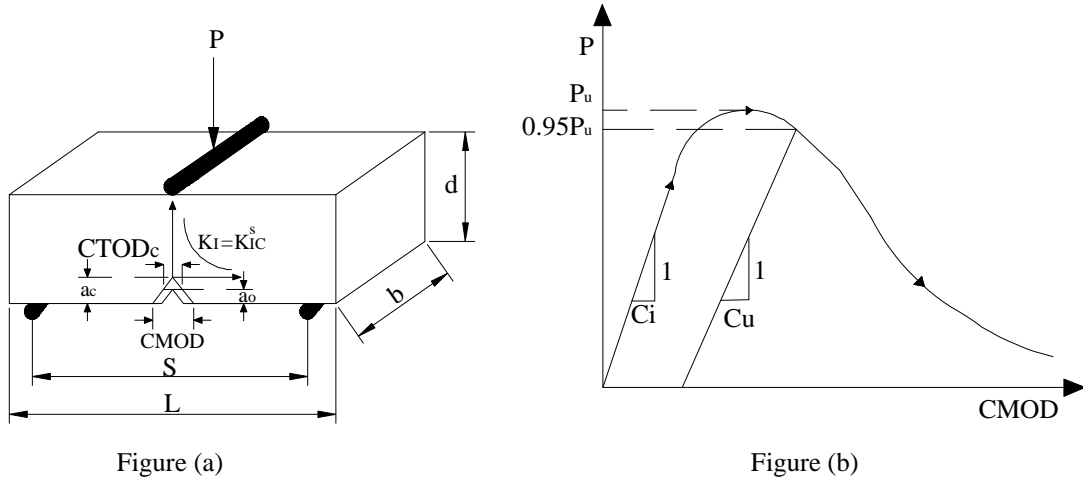
$$CTOD_c = \frac{4\sigma_{Nc} a_c}{E} f_2 f_3 \quad (2)$$

Burada  $\sigma_{Nc}$  göçmedeki nominal dayanım (maksimum yükün numune kesit alanına oranı)  $E_c$  betonun elastisite modülü ve  $f_1, f_2$  ve  $f_3$  numunenin geometrisine ve yükleme durumuna bağlı fonksiyonları ifade etmektedir. Bu fonksiyonlar herhangi bir kırılma mekaniği elkitabında

bulunabilir [12]. İfade (3) de,  $f'_c$  betonun silindir basınç mukavemeti olmak üzere, malzemenin betonun elastisite modülü ACI-318 den aşağıda verilen şekliyle hesaplanabilir [13].

$$E_c = 4785\sqrt{f'_c} \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

Yaklaşım bu parametreleri deneysel olarak iki yolla belirlemektedir. Bunlar, komplians [7] ve pik-yük metodudur [14]. Birinci yöntemde kırılma parametreleri, kapalı devre deney ekipmanı kullanarak, Şekil 1 de görüldüğü gibi çentikli bir üç noktalı eğilme numunesinin (ki bu çalışmada da bu tip numuneler kullanıldı) Yük-Çatlak Ağzı Açılımı (P-CMOD) ilişkisinden faydalanarak hesaplanır [15]. Modeldeki kritik çatlak boyu  $a_c$ , başlangıç ( $C_i$ ) ve pik yük sonrası pik yükün %95 değerinde ölçülen ( $C_u$ ) gibi iki komplians değerinden faydalanarak hesaplanır (Şekil 2b). Komplians yönteminde, aynı zamanda başlangıç ve pik yükteki komplians değerlerinden ( $C_i$  ve  $C_u$ ) betonun elastisite modülü de hesaplanabilir.



**Şekil 1.** İki parametrelili modelde kırılma parametrelerinin tayini.  
 a) Çentikli üç noktalı eğilme numunesi b) Tipik bir P-CMOD diyagramı.

İkinci yaklaşımda, birincisine nazaran daha az kapasiteli deney ekipmanına gerek duymasına rağmen, ya aynı boyutta farklı çentik boyulu ya da farklı boyutta aynı relatif çentik boyuna sahip en az iki numunenin pik yük değerinin belirlenmesi gereklidir [16]. Sonuç olarak  $K_{Ic}^s - CTOD_c$  ilişkisinden İfade (4) de tanımlanan standart sapmanın minimum olduğu değerden kırılma parametreleri hesaplanabilir.

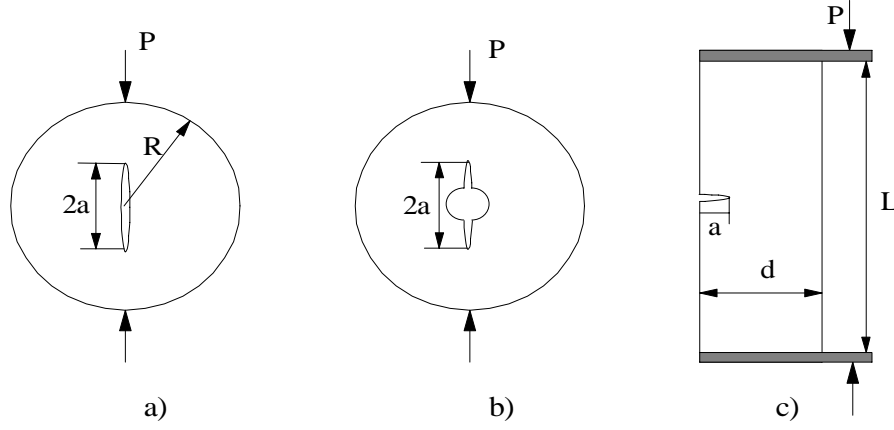
$$s(CTOD_c) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(K_{Ic}^s)^{ort} - (K_{Ic}^s)^i]^2}{n-1}} \quad (4)$$

Pratikte komplians yönteminde kırılma parametreleri genellikle üç noktalı eğilme kirişleri kullanılarak hesaplanabilirken, pik-yük metodunda bu tip numunenin yanında Şekil 2 görüldüğü gibi çentikli silindir yarma, boşluklu silindir yarma ve eksantrik basınca maruz prizmatik numuneler kullanılabilir. Özellikle silindir tipindeki numunelerin kullanımı, pik-yük metodunun mevcut yapıların kırılma mekaniğine göre analizini mümkün kılmaktadır.

Pik yük metodu yaklaşımı aynı zamanda  $K_{Ic}^s$  ve  $CTOD_c$  parametreleri ile malzemenin elastisite modülü  $E_c$  i kombine ederek yapının gevreklik indeksi adı verilen uzunluk boyutunda  $Q$  parametresini de kullanmaktadır. Büyük  $Q$  değerleri, malzemenin daha sünek bir davrandığını göstermektedir.

$$Q = \left[ \frac{E_c \cdot CTOD_c}{K_{Ic}^s} \right]^2 \quad (5)$$

Yapılan deneysel araştırmalar  $Q$  değerlerinin sertleşmiş ğimento harcı için 12.5-50 mm, harç betonu için 50-150 mm ve beton için 150-350 mm aralığında değiştiğini göstermektedir [7].



**şekil 2.** Pik-Yük metodunda kullanılan farklı numune tipleri.

a) entikli silindir yarma, b) boşluklu silindir yarma c) eksantrik yüklü çentikli prizma.

### 3. DENEYSEL ALIşMALAR

Bu alışma için 9 seri beton üretilmiştir. Her bir seri 6 adet çentikli kiriş ve 3 adet standart küp numuneden oluşmaktadır. Her 3 seri numune, 1 deney grubunu olarak ifade edilirse, bir deney grubunda toplam 18 adet çentikli kiriş ve 9 adet standart küp numune mevcuttur. Her deney grubunun betonu bir seferde üretilmiştir. Tüm seriler aynı gün üretilmiştir. Grup içerisindeki seriler, %100, %50 ve %0 nem oranlarına sahipken deneylere tabi tutulmuşlardır. Böylece nem oranı ile betonun kırılma parametreleri arasındaki ilişkinin bulunması amaçlanmıştır.

Çalışmada 15x15x15 cm standart numuneler ve 15x15x45 (bxdxL) cm beton kiriş numuneler kullanılmıştır.  $a_0$  başlangıç çentik boyu olmak üzere, kirişlerin relatif çentik boyları yaklaşık olarak  $\alpha_0 = a_0/d = 0.1, 0.2$  ve  $0.25$  olarak seçilmiş ve her bir çentik boyundan iki adet numune dökülmüştür. Çalışmada elik kalıplar kullanılmış ve beton, kalıplara çentiğe paralel pozisyonda dökülmüştür.

Beton karışım hesapları TS 802 dikkate alınarak yapılmıştır [19]. En büyük agrega çapı 16 mm olan doğal malzeme kullanılarak, 400 dozlu beton üretilmiştir. Tüm karışım gruplarında, en büyük agrega çapı, imento dozu ve imento tipi sabit tutulmuştur. Kullanılan doğal agreganın ortalama özgül ağırlığı  $2.62 \text{ g/cm}^3$ , su emme miktarı 0.02 dir. Agrega granülometrisi B eğrisi değerleri ile yaklaşık aynıdır. CEM I 42.5 N Portland imentosu kullanılmıştır (TS EN 197-1, 2002). Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı olarak; Sikament FFN,

çimento ağırlığının %1.2 si oranında karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır. Beton karışım miktarları Çizelge 1 de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Beton karışım miktarları ve karışım özellikleri[kg/m<sup>3</sup>].

Seri Adı	Malzemeler ve Özellikler							
	Çimen to	Su	İri agrega	Kum	Katkı	W/C (%)	Nem Oranı	Çökme [cm]
	[kg/m <sup>3</sup> ]							
A1	400	185	701	1051	4,8	0.46	%0	5-6
A2	400	185	701	1051	4,8	0.46	%50	5-6
A3	400	185	701	1051	4,8	0.46	%100	5-6
B1	400	195	690	1035	4,8	0.49	%0	10-12
B2	400	195	690	1035	4,8	0.49	%50	10-12
B3	400	195	690	1035	4,8	0.49	%100	10-12
C1	400	205	680	1019	4,8	0.51	%0	15-16
C2	400	205	680	1019	4,8	0.51	%50	15-16
C3	400	205	680	1019	4,8	0.51	%100	15-16

Beton karıştırıcı yardımıyla elde edilen tüm karışımlar çelik kalıplara, şişleme yöntemiyle yerleştirilmiştir. 24 saat sonra kalıplardan çıkarılan beton numuneler, standart su kürü işlemine tabi tutulmaya başlanmıştır. A1, B1 ve C1 nolu numuneler 3 gün boyunca 105 °C de etüvde kurutularak, tamamen kuru hale getirilmişlerdir. A2, B2 ve C2 nolu numuneler 3 gün boyunca ortalama 30 °C deki laboratuvarında açık havada kurumaya bırakılmıştır. A3, B3 ve C3 nolu numunelere ise 28 günlük kürün sonunda 3 gün daha su kürü uygulanmıştır. Elde edilen farklı dayanımlara ve %0, yaklaşık %50 ve %100 nem oranlarına sahip numuneler, mesnet açılığı 37.5 cm olan üç noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuş ve her bir numunenin kırılma yükü tespit edilmiştir. Ayrıca küp numuneler yardımıyla her bir serinin beton basınç dayanımı tespit edilmiştir. Numunelerin kırılmaları 2500 kN yük kapasiteli test makinesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 2 de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Deney Sonuçları.

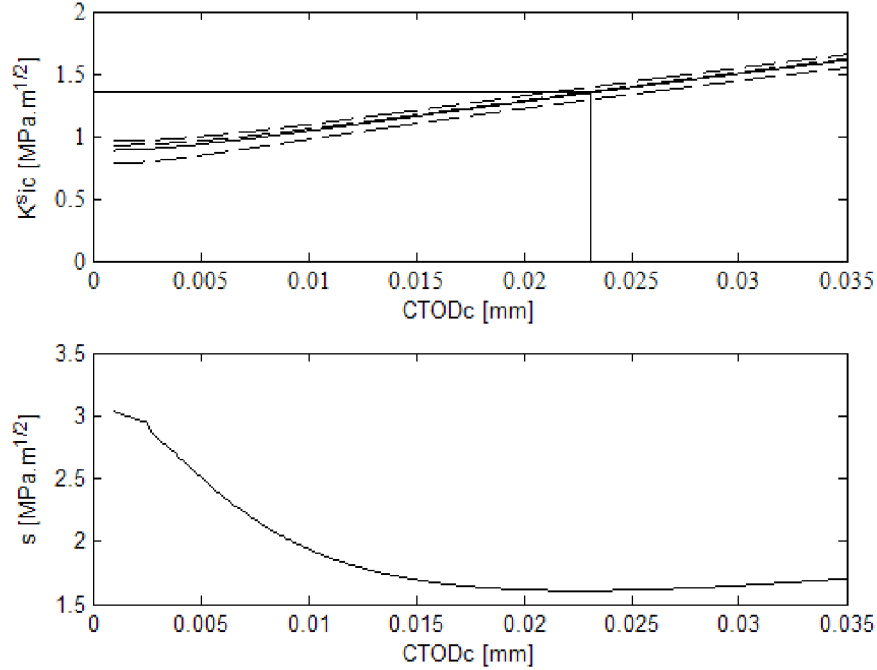
Seri Adı	Ortalama çentik boyları [mm]	Ortalama kırılma yükleri [kN]	Küp beton basınç dayanımı [MPa]	Seri Adı	Ortalama çentik boyları [mm]	Ortalama kırılma yükleri [kN]	Küp beton basınç dayanımı [MPa]	Seri Adı	Ortalama çentik boyları [mm]	Ortalama kırılma yükleri [kN]	Küp beton basınç dayanımı [MPa]
A1	16.0	23.6	47.1	B1	15.7	23.2	44.0	C1	16.7	22.5	42.2
	31.3	21.0			31.5	20.6			31.9	18.1	
	39.0	17.3			38.5	17.3			39.5	16.2	
A2	16.0	22.0	45.3	B2	17.0	21.2	42.2	C2	17.3	21.6	41.0
	31.5	19.5			31.3	18.1			31.5	18.8	
	39.0	16.5			38.5	16.6			40.5	14.4	
A3	17.0	17.9	42.0	B3	17.0	16.1	39.5	C3	16.9	14.3	39.0
	32.1	15.9			32.3	15.1			31.1	13.6	
	39.0	13.0			39.5	13.7			36.5	11.9	

Deneylerden elde edilip, Çizelge 2 de verilen değerler, Pik Yük Metodu kullanılarak, İki Parametrelili Modele göre analiz edilmiştir. Deneyde basınç mukavemetinin tespiti için küp numuneler kullanıldığından küp beton basınç dayanımı değerleri ( $f_c$ ) elde edilmiştir. Analiz

için ihtiyaç duyulan silindirik beton basınç dayanım değerleri İfade (6) yardımıyla belirlenmiştir [20].

$$f'_c = \left[ 0.76 + 0.2 \log \left( \frac{f_c}{19.58} \right) \right] f_c \quad (6)$$

Her bir seri için ayrı ayrı, kritik gerilme şiddet çarpanı  $K_{Ic}^s$  ve kritik çatlak ucu açılım deplasmanı  $CTOD_c$  hesaplanmıştır. Ayrıca tüm serilerin gevreklik indeksi değerleri belirlenmiştir. Şekil 3 de görüldüğü gibi standart sapmanın minimum olduğu noktanın yatay eksen değeri,  $CTOD_c$  değerine eşittir. Ortalama  $K_{Ic}^s$  -  $CTOD_c$  eğrisi ve  $CTOD_c$  değeri yardımıyla  $K_{Ic}^s$  değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplama metoduna örnek olarak, A2 serisinin analiz grafiği sunulmuştur. Elde edilen kırılma parametreleri ve gevreklik indeksi değerleri Çizelge 3 de yer almaktadır.



Şekil 3. a2 Serisi Pik Yük Metodu analiz grafiği.

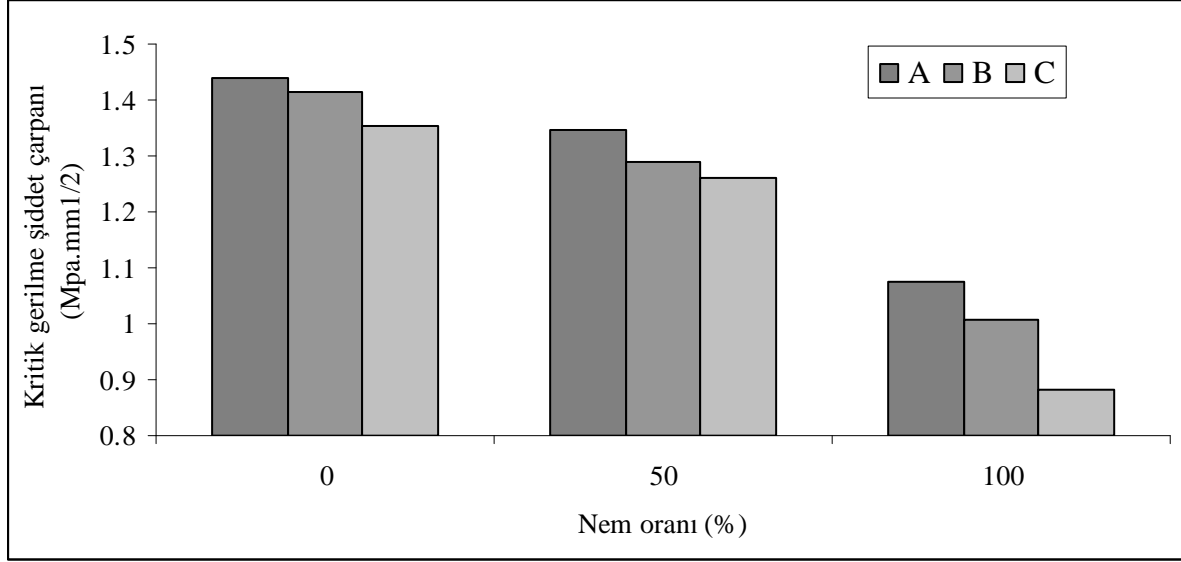
Çizelge 3. Analiz sonuçları.

Seri Adı	$K_{Ic}^s$ [ $\text{MPa.m}^{1/2}$ ]	$CTOD_c$ [mm]	Q [mm]	Seri Adı	$K_{Ic}^s$ [ $\text{MPa.m}^{1/2}$ ]	$CTOD_c$ [mm]	Q [mm]	Seri Adı	$K_{Ic}^s$ [ $\text{MPa.m}^{1/2}$ ]	$CTOD_c$ [mm]	Q [mm]
A1	1.4392	0.0243	307	B1	1.4136	0.0242	305	C1	1.3535	0.0241	325
A2	1.3478	0.0231	305	B2	1.2883	0.0225	295	C2	1.2592	0.0220	287
A3	1.0748	0.0185	284	B3	1.0078	0.0169	255	C3	0.8810	0.0152	266

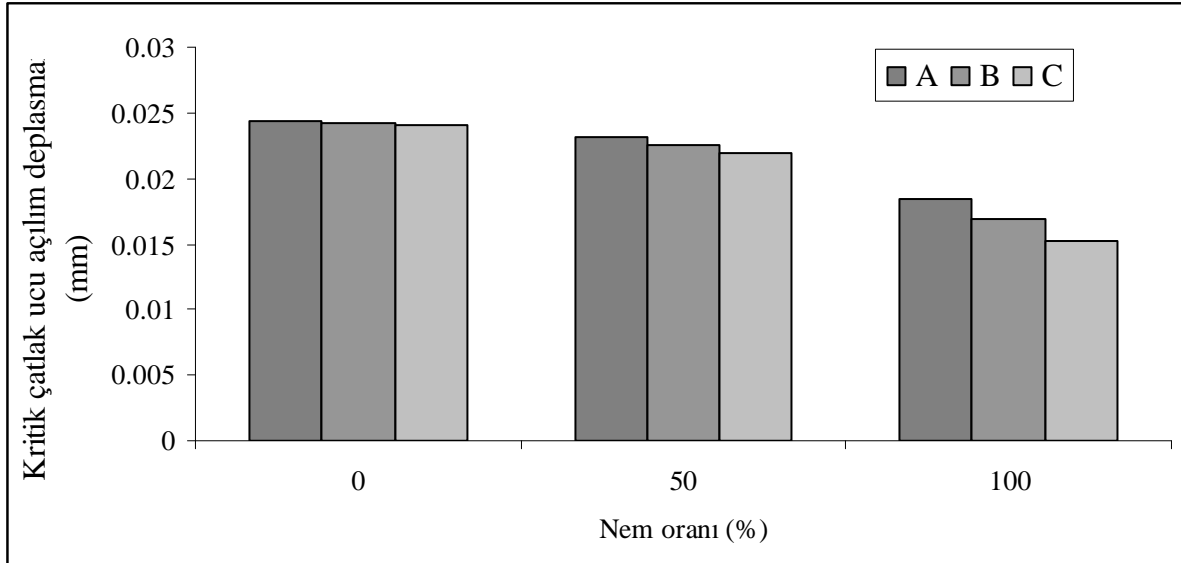
### 3.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sertleşmiş betonun dayanımını etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bu faktörlerden en önemlilerinden biri de betondaki nem oranıdır. Beton nem miktarı arttıkça dayanımın azaldığı görülmüştür. Bu sonuç daha önce birçok kez ortaya konulmuştur. Bu çalışmada da her grup karışım için nem oranı arttıkça, beton dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Dayanım betonun

kırılma parametreleri üzerinde direkt etkili olduğundan, dayanım azaldıkça kırılma parametrelerinde azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4-5). %0 ve %100 nem oranına sahip betonların kırılma parametrelerinden, kritik gerilme şiddet çarpanı,  $K_{Ic}^s$ 'si ve kritik çatlak ucu açılımı,  $CTODc$ 'yi yaklaşık %25 etkilemektedir.



Şekil 4. Kritik gerilme şiddet çarpanı  $K_{Ic}^s$  – nem oranı ilişkisi.

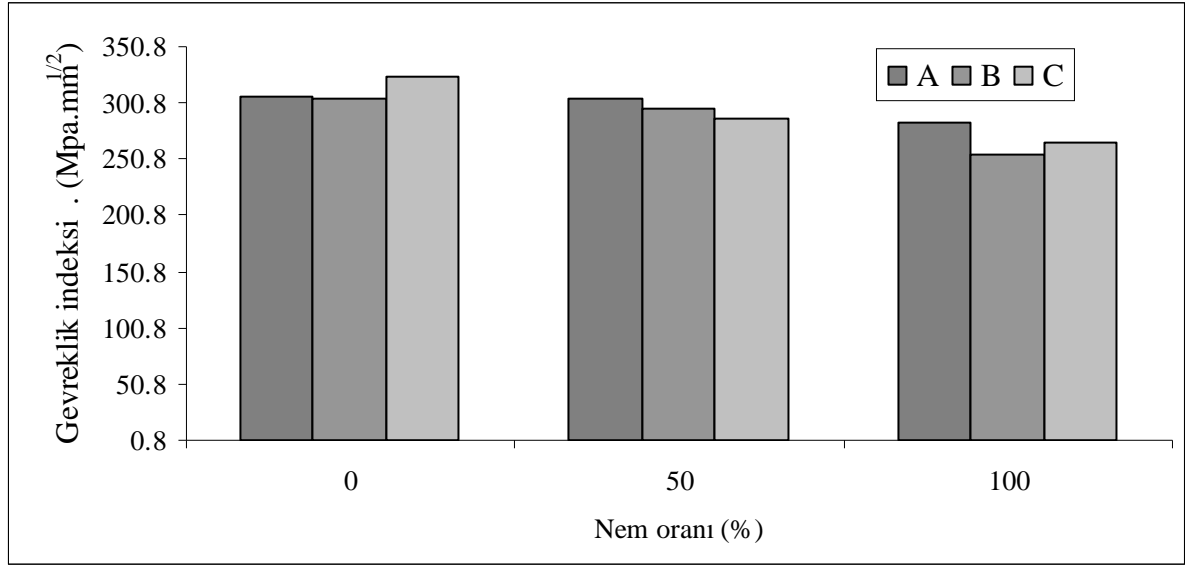


Şekil 5. Kritik çatlak ucu açılımı  $CTODc$  – nem oranı ilişkisi.

Nem oranı farklı, karışım miktarları aynı olan betonlarda nem miktarı arttıkça betonun dayanımı ve kırılma parametreleri azalmıştır. Nem oranı aynı, karışım miktarları farklı betonlarda dayanım azaldıkça betonun kırılma parametreleride azalmıştır.

Gevreklik indeksi beton basınç dayanımı ile ters orantılıdır. Bu çalışmada da nem oranı arttıkça gevreklik indeksinin azaldığı görülmektedir (Şekil 6). Beton dayanımı arttıkça, betonun sünekliliğinin azalacağı gerçeği, çalışmanın sonucunu desteklemektedir. Ancak gevreklik indeksinin yaklaşık bir değer olduğu gözden kaçırılmamalıdır.





Şekil 6. Gevreklik indeksi.

#### 4. SONUÇLAR

Kırılma mekaniği, geleceğin beton tasarım yöntemi olarak görülmektedir. Dolayısıyla betonun dayanımı ve dayanıklılığı ile ilgili tüm parametreler kırılma mekaniği açısından incelenmelidir. Bu çalışmada da beton için büyük önem taşıyan nem konusu, kırılma mekaniği prensipleriyle incelenmiştir. Farklı dayanımlara sahip beton numuneler, farklı nem oranlarında deneye maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Nem oranı arttıkça beton basınç dayanımı ve kırılma parametreleri azalmıştır. Farklı nem oranlarına sahip beton veya betonarme yapılar bu durum göz önüne alınarak incelenmelidir.
2. Çimento oranı sabit kalmak üzere beton karışımında su oranı artırılarak dayanım farklılıkları sağlanmıştır. Taze beton çökme miktarı büyük olan serilerin dayanımı düşük olduğundan kırılma parametreleri küçük çıkmıştır.
3. Beton numunelerde dayanım arttıkça gevreklik indeksi azalmıştır. Bu da dayanım arttıkça sünekliğin azalması anlamına gelmektedir.

Bu çalışma, eğer beton tasarımı, nem oranı-kırılma parametreleri ilişkisi ile yapılacaksa, yaklaşık bir sonuca ulaşmada yardımcı olacaktır. Kesin sonuca, imal edilecek betonların kendi şartları içerisinde, kırılma parametrelerinin bulunmasıyla ulaşılabacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. Shah, S. P., and Taşdemir, M. A., “Role of Fracture Mechanics in Concrete Technology”, **Advances in Concrete Technology**, (ed. V. M. Malhotra), CANMET, Second Edition, 161-202, 1994.
2. Griffith, A. A., “The Phenomena of Rupture and Flow in Solids”, **Phil. Trans. Roy. Soc.**, A, 163-198, 1920.
3. Irwin, G. R., “Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate”, **J. Appl. Mech.**, 24, 361-364, 1957.
4. Kaplan, M. F., “Crack Propagation and the Fracture of Concrete”, **Journal of ACI**, 58, 591-610, 1961.

5. Hillerborg, A., Modeer, M., and Petersson, P. E., “Analysis of Crack Formation and Growth in Concrete by Means of Fracture Mechanics and Finite Elements”, **Cement & Concrete Research**, 6, 773-782, 1976.
6. Bazant, Z. P., and Kazemi, M. T., “Determination of Fracture Energy, Process Zone Length, and Brittleness Number from Size Effect with Application to Rock and Concrete”, **International Journal of Fracture**, 44, 111-131, 1990.
7. Jenq, Y. S., and Shah, S. P., “A Two-Parameter Model for Concrete”, **Journal of Engineering Mechanics- ASCE**, 111, 1227-1241, 1985.
8. Nallathambi, P., and Karihaloo, B. L., “Determination of the Specimen Size Independent Fracture Toughness of Plain Concrete”, **Magazine of Concrete Research**, 38, 67-76, 1986.
9. Alyamaç, K. E., “Effect of Materials Parameters on Fracture Parameters of Concrete”, Master Thesis, **Firat University Institute of Science and Technology**, 2004 (In Turkish).
10. Erdoğan, T. Y., “**Concrete**”, First Ed., Ankara: METU, 2003.
11. Glucklich, J., Fracture of Plain Concrete, **ASCE J. Engineering, Mechanics**, 89, 127-138, 1963.
12. Tang, T., Ouyang, C., and Shah, S. P., “A Simple Method for Determining Material Fracture Parameters from Peak Loads”, **ACI Materials Journal**, 93, 147-157, 1996.
13. ACI 318-1989, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, **American Concrete Institute**, Detroit.
14. Tang, T., Ouyang, C., and Shah, S. P., “A Simple Method for Determining Material Fracture Parameters from Peak Loads”, **ACI Materials Journal**, 93, 147-157, 1996.
15. RILEM Recommendation, “Determination of the Fracture Parameters ( $K_{Ic}^s$  and  $CTOD_c$ ) of Plain Concrete Using Three-Point Bend Tests”, **Materials & Structures**, 23, 457-460, 1990.
16. Bazant, Z. P., and Oh, B. H., “Crack Band Theory for Fracture Concrete”, **Materials & Structures (RILEM)**, 16, 155-157, 1983.
17. TS 500, “Requirements for design and construction of reinforced concrete structures”, **Turkish Standarts Institution**, Ankara, 2000.
18. TS 802, “Design Concrete Mixes”, **Turkish Standarts Institution**, Ankara, 1985.
19. Neville, A. M., AM. “**Properties of Concrete**”, Fourth Ed., London: Longman, 1995.