KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN EŞİK KAYMA GERİLMELERİNİN BULANIK MANTIK YAKLAŞIMIYLA TAHMİNİ

PREDICTION OF YIELD STRESSES OF SELF CONSOLIDATING MORTARS BY FUZZY LOGIC APPROACH

İlker Bekir TOPÇU
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir

Tayfun UYGUNOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Yapı Eğitimi Bölümü, 03200, Afyonkarahisar

Özet

Yüksek akışkanlığa sahip olan kendiliğinden yerleşen betonların istenilen miktarda yayılabilmeleri için gerekli olan eşik kayma gerilmesini aşması gereklidir. Aşılması gerekli olan eşik gerilmeleri, genel olarak özel ve pahalı bir cihaz olan reometre ile kendiliğinden yerleşen harçlarda belirlenmektedir. Bu çalışmada eşik kayma gerilmelerinin tüm laboratuvar ve şantiye ortamlarında kolayca belirlenebilmesi amacıyla harcın su/bağlayıcı oranı, kimyasal katkı içeriği ve harcın yayılma çapı ile ilişkilendirilerek bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model girdi ve çıktı parametreleri olan bulanık mantık yaklaşımıdır. Modelin oluşturulmasında literatürden alınan veriler kullanılmıştır. Girdi olarak kendiliğinden yerleşen harçtaki su/bağlayıcı oranı, kimyasal katkı miktarı ve yayılma çapı değerleri kullanılmıştır. Çıktı parametresi olarak da eşik kayma gerilmesi değeri elde edilmektedir. Oluşturulan modelden elde edilen eşik kayma gerilme değerleri literatürde verilen ve reometreyle ölçülmüş olan eşik kayma gerilme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, oluşturulan modelin yüksek derecede deneysel verilerle ilişkili olduğu görülmüştür. Deneysel veriyle modelden elde edilen sonuçlar arasındaki fark en çok, yüksek eşik kayma gerilmesine sahip harçlarda % 13 oranında elde edilmiştir. Geliştirilen model deneysel sonuçlarla oldukça uyumludur.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen harç; eşik kayma gerilmesi, bulanık mantık

Abstract

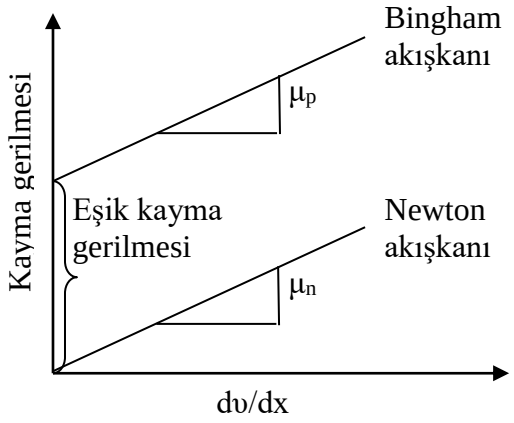
Self-consolidating mortars, which have high flow-ability, must exceed the definite yield stress in order to obtain the desired slump-flow value. In general, the yield stress value, it must be exceeded, are determined on self-consolidating mortars by instrument called as rheometer, and it is special and expensive equipment. In this study, a model, chip and

easy method for site and laboratories, was developed by using the water to binder ratio, chemical admixture content and mini slump-flow value of self-consolidating mortar in order to predict the yield stress. The developed model is fuzzy logic approach which has input and output parameters. In design of the model, dates used were obtained from literature. Water to binder ratio, chemical admixture content and mini slump-flow value of self-consolidating mortar were used as input value. The yield stress value is obtained as output value. Yield stress values obtained from the model were compared with values that experimentally determined in the literature. According to obtained results, it was observed that model was highly related with experimental results. The maximum difference between the model and experimental results were obtained in self-consolidating mortars having the low slump-flow and high yield stress value as 13 %. Developed model is rather harmonious with experimental.

Keywords: Self-consolidating mortar; yield stress, fuzzy logic.

1. GİRİŞ

Taze betonda, hazırlanışı ve yerleştirilmesi aşamalarında; karıştırma, pompalama, kendi ağırlığı veya vibrasyon etkisiyle akma gibi etkilerle ayrışma oluşur. Bu etkilere karşı betonun istenilen özeliklerini koruması reolojik açıdan kararlılığına bağlıdır. Bir taze beton karışımının kendiliğinden yerleşen özelikte olabilmesi için kendiliğinden yerleşen beton (KYB) harcının düşük eşik kayma değerine ve optimum viskoziteye sahip olması gereklidir [1]. Eşik kayma gerilmesi bir malzemenin akışa geçebilmesi (hareket edebilmesi) için gerekli en düşük gerilmedir. Newton modeline göre bir sıvı, uygulanan kayma gerilmesine karşı hemen akışa geçer ve deformasyona uğrar. Kayma gerilmesi-deformasyon oranına ait eğrinin eğimi bu sıvının plastik viskozitesini vermektedir. Ancak çimento pastası, harç ve beton gibi çimentolu süspansiyonlar Bingham modeline daha uygundur [2]. Bu modele göre de sıvının veya süspansiyonun akışa geçebilmesi için Şekil 1'deki gibi belirli bir eşik kayma gerilmesini aşması gereklidir. Aşılması gerekli olan bu eşik gerilme, yukarıda tarifi verilen eşik kayma gerilmesi değeridir [3].

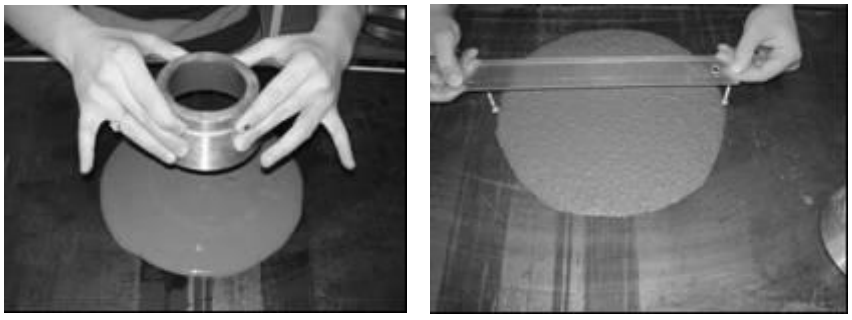


Şekil 1. Kayma gerilmesi-deformasyon oranının farklı model yaklaşımları

Eşik kayma direncini etkileyen en önemli faktörlerden birisi, agregalar arasında oluşan iç sürtünmedir. Agregalar arası iç sürtünmenin artması ve aynı zamanda iç sürtünmeden

kaynaklanan agregalar arasındaki harcın kaçması nedeniyle taze betonun eşik kayma direnci de artar. KYB'de kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkılar, çimento taneciklerinin çevresini sararak karışımın içinde homojen bir şekilde dağılmalarını sağlarlar. Agrega yüzeylerine yapışan bu çimento taneleri, agrega yüzeyleri arasında bir bakıma yağlama görevi görmektedir [4]. Böylece kimyasal katkıların kullanılmasıyla agregalar arasındaki iç sürtünme önemli ölçüde azaltılır [5]. Dolayısıyla kendiliğinden yerleşen harçların eşik kayma gerilmeleri normal beton harcınınkine göre oldukça düşüktür. Bunun bir sonucu olarak da, kendiliğinden yerleşen harçlarda çökme yüksekliği yerine mini çökmede-yayılma çapı değerleri ölçüm parametresi olarak kullanılmaktadır [6].

Kendiliğinden yerleşebilirlik için eşik kayma gerilmesinin olabildiğince sıfıra yakın olması amaçlanmalıdır. Yayılma deneyinde, harcın çökerek yayılmasını devam ettirmesi, eşik kayma gerilmesi değerini aşmasına bağlıdır. Harcın eşik kayma gerilmesi ne kadar düşükse, harç kendi ağırlığı ile o kadar çok yayılacak ve eşik kayma gerilmesiyle kendi ağırlığının yarattığı ve yayılma süresince giderek düşen gerilme eşitlenince yayılma duracaktır. Bu nedenle çökmede-yayılma deneyi eşik kayma gerilmesiyle ilişkilendirilmektedir [7]. Taze harcın çökmede-yayılma deneyinde, harcın yayılmasının durduğu anda kayma gerilmeleri ile eşik gerilmeleri eşit olduğu kabul edilir. Taze harcın eşik gerilmeleri "reometre" ile belirlenebilmektedir. Ancak bu tip cihazların pahalı olması taze betonun reolojik özelliklerinin belirlenebilmesini özellikle şantiyelerde zorlaştırmakta ve araştırmacıları kendiliğinden yerleşen harçlarda eşik gerilemesi ile çökmede-yayılma deneyi arasında modellemeler yapmaya yöneltmiştir.



(a) (b)

Şekil 2. a) Mini-çökmede-yayılma deneyi ve b) yayılan harcın çapının belirlenmesi

Kendiliğinden yerleşen harcın eşik kayma gerilmesinin çökmede yayılma (Şekil 2) değerleri ile ilişkilendirilmesi için birçok araştırmacı bu değerler arasında ilişkiler kurmuşlardır [2]. Bunlardan modelleme açısından en yakın sonuç vereni, Roussel vd. [2] tarafından geliştirilen asimptotik akış rejimi yaklaşımıdır. Yazarlar, taze KYB'nin kayma gerilmesini mini ve abrams konisiyle çökmede-yayılma deneyinden belirlemek amacıyla bir dizi deneme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Reometreyle eşik gerilmeleri belirlenen harçların çökmede-yayılma değerleriyle ilişkilendirilerek abrams konisiyle de kayma gerilmelerinin belirlenebileceği gösterilmiştir. Aynı araştırmacı "eşik kayma gerilmelerinin ölçülmesinde 50 sentlik reometre" başlığı altında yazdığı raporda aynı taze harç için reometre ile eşik gerilmelerini belirleyip, mini-çökmede yayılmadan alınan yayılma çapları ile geliştirilen bağıntılar ve yine gerçekleştirmiş olduğu modellemeyi karşılaştırmıştır. Geliştirdiği modelde düşük eşik kayma gerilemelerinde

yüksek güvenirlikte doğru sonuç alınırken yüksek eşik gerilmesi değerlerinde hata oranı artmıştır [2,8,9]. Önerilen bağıntının kullanışlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada yüksek akışkanlığa sahip kendiliğinden yerleşen harçların eşik kayma gerilmelerinin tahmin edilebilmesi amacıyla bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. Yaklaşımda literatürde verilen ve farklı su/toz oranı ile farklı tip ve oranlardaki katkılarla hazırlanmış olan harçların eşik kayma gerilme değerleri kullanılarak model oluşturulmuş ve verilerle test edilmiştir.

2. BULANIK MANTIK

2.1. Bulanık Mantık Hakkında Genel Bilgiler

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) sistemlerin ve modellerin tanımlanmasında ve kontrol edilmesinde geniş çapta kullanılan bir sistemdir. Bu yaklaşım ilk olarak 1965 yılında yayınlanan bir makalede Lotfi A. Zadeh tarafından tanımlanmıştır [10]. Zadeh bu çalışmasında insan beyninin büyük bir bölümünün bulanık olduğunu belirtmiştir. Yapılan araştırmalar, bulanık mantık yaklaşımı ile elde edilen sonuç performansının klasik yöntemlerle elde edilen sonuçlara göre daha iyi olduğunu göstermektedir [11].

Klasik kümeler olarak bilinen kesin kümeler ait olduğu evrensel kümenin her bir elemanına 1 ya da 0 değerini atamaktadır. Bir nesne 1 değerini alırsa kümenin elemanı, 0 değerini alırsa kümenin elemanı değildir. 0 ve 1 değerlerini alan kesin kümelere karşılık olarak bulanık mantık kümelerinde 0 ve 1 arasında değişebilen değerler vererek üyelik işlevlerini ortaya koymuştur. Bulanık mantıkta belirsizlik durumları, bu durumu temsil eden küme elemanlarına üyelik fonksiyonlarının verilmesi ile tanımlanır. En büyük önem derecesine sahip olan öğelere *1* değeri atanırsa, diğerleri 0 ile 1 arasında değişim gösterir. Bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öğe için değerine üyelik derecesi ve bunun bir alt küme içindeki değişimine de üyelik fonksiyonu denilmektedir [12,13]. Bulanık mantık (BM) bulanık denetleyiciden oluşmaktadır. Bulanık denetleyici, giriş, veri tabanı, bulanıklaştırma, bulanık çıkarım motoru, kural tabanı, durulaştırma ve çıkış birimlerinden meydana gelmektedir. Bu birimler aşağıdaki gibidir:

- **Giriş/Veri Tabanı**: İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denilmesinin nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

- **Bulanıklaştırıcı**: Sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler yardımıyla sembolik değerlere dönüştürme işleminin yapıldığı bulanık mantık birimidir.

- **Bulanık Kural Tabanı:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, ***EĞER-İSE*** (**IF–THEN**) türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık bağlantıları (rule base) düşünülür. Böylece, her kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.

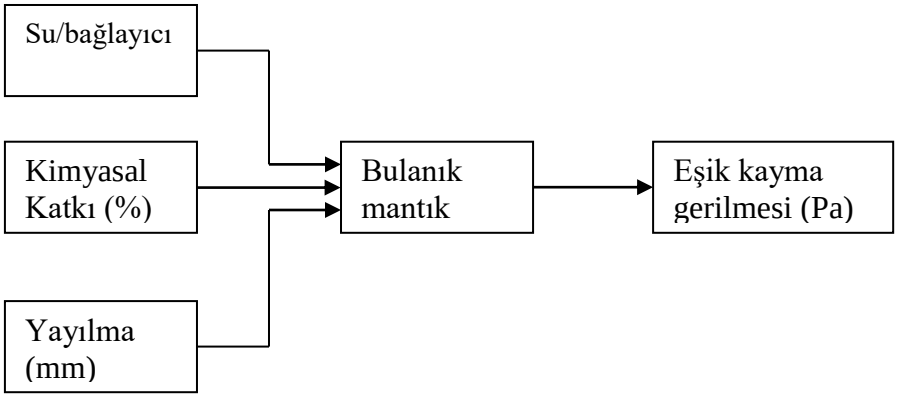
- **Bulanık Çıkarım Motoru:** Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerinin hepsini bir arada toplayarak sistemin tek bir çıkış değerine sahip olmasını temin etmek amacıyla işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu bulanık çıkarım motoru her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

• **Durulaştırma:** Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak sembolik olan değerlerin gerçek sayılara dönüştürüldüğü birimdir.

• **Çıkış:** Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin (sayılar) topluluğunu belirten birim.

2.2. Eşik Gerilmelerinin Tahmini İçin Bulanık Mantık Modelinin Oluşturulması

Kendiliğinden yerleşen harçlardaki eşik kayma gerilmelerinin pahalı bir cihaz olan reometre ile ölçüldüğü daha önce bahsedilmişti. Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen harçların çökmede yayılma, su/bağlayıcı oranı ve kimyasal katkı miktarları kullanılarak, kolay ve ucuz bir şekilde eşik kayma gerilmelerinin tahmin edilebilmesi amacıyla bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Modelin geliştirilmesinde girdi parametresi, harcın yayılma değeri, su/bağlayıcı oranı ve kimyasal katkı miktarıdır. Kimyasal katkı miktarının girdi parametresi olarak seçilmesinin nedeni süperakışkanlaştırıcı katkıların yanı sıra viskozite düzenleyici gibi katkıların da etkisini göz önünde bulundurmaktır. Girdi parametreleri bulanık mantık ile bulanıklaştırılıp, bulanık çıkarım motoru ile durulaştırıldıktan sonra çıktı parametresi olarak harcın eşik kayma gerilmesi elde edilebilmektedir. Şekil 3'te geliştirilmiş olan modelin şematik görünümü verilmektedir.

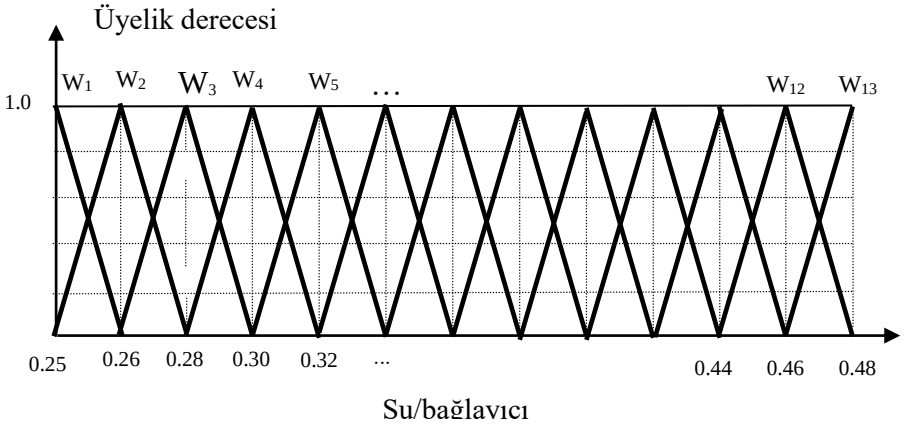


Şekil 3. Geliştirilen modelin şematik görünümü

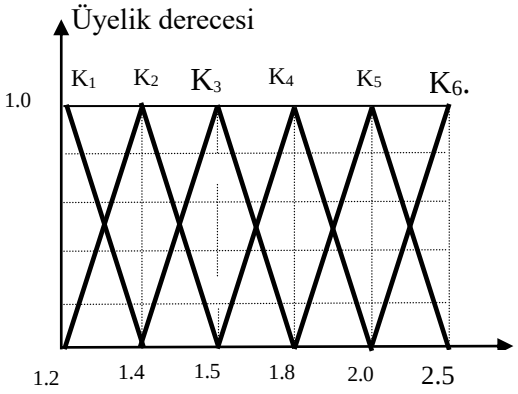
Kendiliğinden yerleşen harçlarda, su/bağlayıcı oranına, kimyasal katkı oranı ve tipine ve harcın yayılma çapına bağlı olarak eşik kayma gerilme değerleri Leemann ve Winnefeld [14] tarafından deneysel olarak ölçülmüş olan çalışmadan derlenmiştir. Toplam 50 adet verinin kullanıldığı çalışmada harçlar, çimento pastası % 57 oranında sabit tutularak, farklı su/bağlayıcı oranlarında, kimyasal katkı tipi ve miktarı içeriklerinde üretilmiştir. Tüm karışımlarda % 1 oranında süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkıya ilave olarak da % 0.2, 0.4, 0.8, 1 ve 1.5 oranlarında farklı tiplerde viskozite düzenleyici katkılar kullanılarak, yine farklı su/bağlayıcı oranlarında üretilen harçların eşik kayma gerilmeleri deneysel olarak reometreyle belirlenmiştir.

Verileri kullanarak bulanık mantıkla modelleme işleminde, girdi parametrelerinden su/bağlayıcı oranı, kimyasal katkı miktarı ve harcın yayılma çapı sırasıyla W, K ve F harfleriyle simgelenmiştir. Çıktı birimindeki eşik kayma gerilmesi de Y harfi ile simgelenmiştir. Modelin geliştirilmesinde düşük su/toz oranlarını da kapsaması

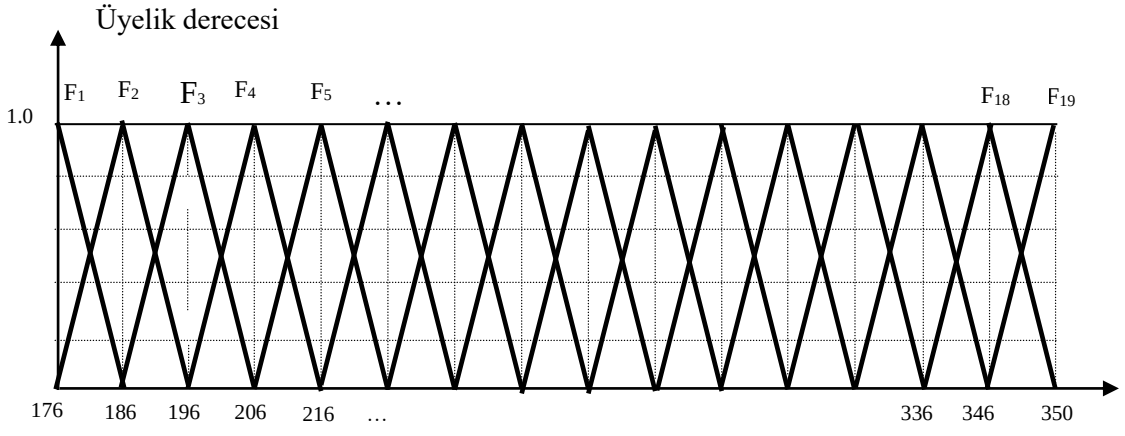
amacıyla 0.25 ile 0.48 arasında olacak şekilde 13 adet üyelik fonksiyonu (W_1, W_2, W_3, …, W_{13}) tasarlanmıştır (Şekil 4.a). Kimyasal katkı miktarı için % 1.2 ile 2.5 oranında 6 adet (K_1, K_2, K_3, …, K_6) (Şekil 4.b); harcın yayılması için de 19 adet (F_1, F_2, F_3, …, F_{19}) üyelik fonksiyonu geliştirilmiştir (Şekil 4.c). Şekil 5'te görüldüğü gibi çıktı parametresi olarak da eşik kayma gerilme değerleri için 0 ile 1 arasında üyelik derecesine sahip olan 12 adet (Y_1, Y_2, Y_3, …, Y_{12}) üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur.



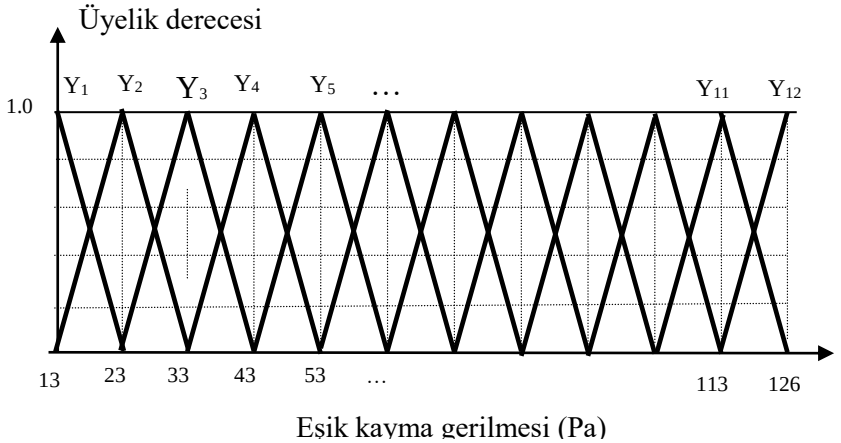
(a)



(b)



Şekil 4. a, b, c. Bulanık mantık modellemesinde kullanılan girdi parametreleri



Şekil 5. Bulanık mantık modellemesinde kullanılan çıktı parametresi

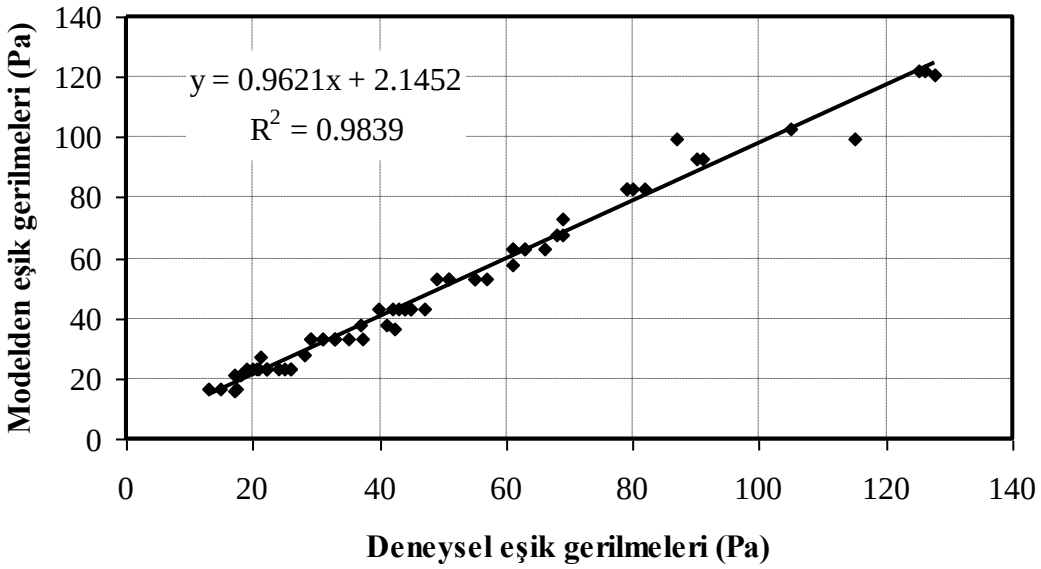
Giriş ve çıkış verileri sembolik olarak girildikten sonra (1) nolu denklem ile kural tabanları oluşturulmuştur. Kural tabanı oluşturulduktan sonra bulanık çıkarım motoru ile veriler ilişkilendirilmiş ve çıktı biriminden eşik kayma gerilmeleri alınmıştır. Bulanık mantık yaklaşımında verilerin girilmesi ve kuralların oluşturulmasından sonra oluşturulmuş kurallar çerçevesinde çıktı biriminden tek bir rakamsal sonuç çıkmaktadır.

EĞER W=i, K=j ve F=k **İSE** Y=m'dir. (i: 1, 2,…,13), (j: 1, 2,…,6), (k: 1, 2,…,19), (m: 1, 2,…,12) (1)

2.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

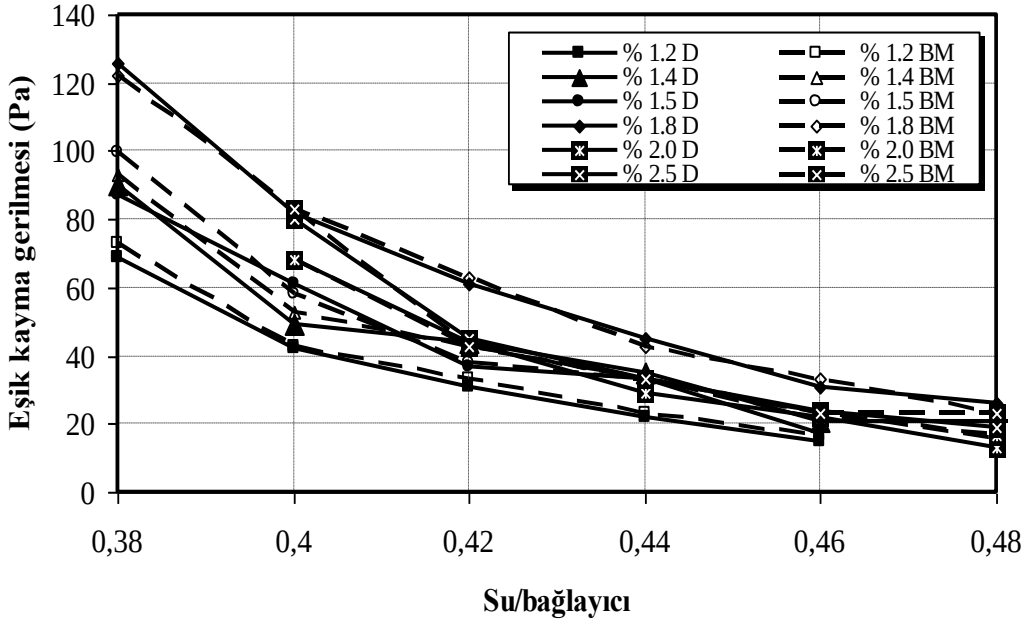
Bulanık mantık modelinde verilerin girilerek kural tabanının oluşturulmasından sonra çıktı biriminden alınan eşik kayma gerilmeleri, Leemann ve Winnefeld [14] tarafından 4 farklı kimyasal katkı tipiyle üretilen harçlarda deneysel olarak belirlenen eşik kayma gerilmeleriyle ilişkilendirilmiştir (Şekil 6). Deneysel olarak ölçülen ve oluşturulmuş olan bulanık mantık (BM) modeli ile tahmin edilen eşik kayma gerilmeleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal ilişki vardır (R= 0.99).

Şekil 7'de su/bağlayıcı oranına göre % 1.2, 1.4, 1.5, 1.8, 2.0 ve 2.5 oranındaki kimyasal katkı içeriğinde üretilmiş kendiliğinden yerleşen harçların hem deneysel olarak belirlenmiş hem de BM yaklaşımıyla belirlenmiş eşik kayma gerilmeleri görülmektedir. Su/bağlayıcı oranı 0.38'den 0.46'ya kadar arttırıldığında tüm harçların eşik kayma gerilmeleri azalmıştır. Sabit katkı içeriğinde su/bağlayıcı oranının artmasıyla agregalar arasındaki iç sürtünmeler azalmış ve böylece harcın eşik kayma gerilmeleri de azalmıştır. % 1.2 kimyasal katkı içeriğindeki harçların eşik kayma gerilmeleri su/bağlayıcı oranının arttırılmasıyla 70 Pa'dan 15 Pa'a kadar azaldığı görülmektedir. BM ile elde edilen eşik gerilmeleri incelendiğinde, deneysel verilere çok yakın olduğu görülebilir. %1.2 kimyasal katkı içeriğindeki serilerde BM'den elde edilen eşik kayma gerilmesi değerleri de su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 73 Pa ile 17 Pa arasında değerler almıştır. Sadece en düşük su/bağlayıcı oranındaki harçlarda deneysel sonuçlarla BM'den elde edilen sonuçlar arasında yaklaşık 3 Pa'lık bir fark vardır. Diğer su/bağlayıcı oranlarıyla üretilmiş harçlarda da deneysel sonuçlarla BM yaklaşımından alınan sonuçlar birbirine çok yakındır. Yaklaşık olarak aynı değerler elde edilmiştir.



Şekil 6. Deneysel sonuçlarla model sonuçları arasındaki ilişki

Aynı su/bağlayıcı oranlarına sahip harçlarda kimyasal katkı miktarı arttıkça eşik kayma gerilmesinin de azalacağı düşünülebilir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal katkıların tipi farklıdır. Kimyasal katkı miktarı % 1.2 olan harçların eşik kayma gerilmeleri su/bağlayıcı oranına göre 70 ile 15 Pa arasında değişirken katkı miktarının % 1.4 oranında kullanılması durumunda eşik kayma gerilmeleri aynı su/bağlayıcı oranları için 90 ile 20 Pa arasında değerler almıştır. En yüksek eşik kayma gerilmeleri de 125 Pa olarak 0.38 su/bağlayıcı oranında ve % 1.8 kimyasal katkı içeriğindeki harçlarda elde edilmiştir. Dolayısıyla burada katkıların eşik



Şekil 7. Su/bağlayıcı oranına göre eşik kayma gerilmesinin değişimi

gerilmesi üzerindeki etkileri de farklıdır. Bu durum tüm katkı içeriklerindeki harçlar için geçerlidir. Kimyasal katkı miktarı arttıkça eşik kayma gerilmesinin arttığı görülmüştür.

Kimyasal katkı oranı % 1.4 ve % 1.5 olan kendiliğinden yerleşen harçlarda BM ile elde edilen eşik kayma gerilme değerleri deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, modelden elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu görülmektedir. % 1.4 katkı içeriğindeki değerler arasında en fazla 1 Pa fark olduğu görülebilir. 0.38 su/bağlayıcı oranında ve % 1.5 katkı içeriğinde üretilmiş olan harçlarda eşik kayma gerilmeleri arasındaki en fazla fark da % 13 değerindedir. Deneysel olarak ölçülen eşik gerilme değeri 87 Pa iken, BM yaklaşımıyla elde edilen eşik değeri 99 Pa olarak belirlenmiştir.

Sırasıyla % 1.8, 2 ve 2.5 oranındaki kimyasal katkı içeriklerinde üretilmiş harçların eşik kayma gerilmeleri incelendiğinde, kimyasal katkının etkisinden dolayı % 2.5 katkı oranındaki eşik kayma gerilmeleri % 2 katkı oranındaki harçlarınkine göre daha fazla değerler almıştır. Bununla birlikte BM modelinden elde edilen eşik kayma gerilmeleri deneysel verilerle aynı davranışı göstermiş olup, deneysel verilerle neredeyse tüm su/bağlayıcı oranlarında eşik gerilmeleri aynı değerleri almıştır. BM yaklaşımından alınan verilerle deneysel veriler arasında en fazla 3 Pa değerinde bir fark elde edilmiştir.

Genel olarak geliştirilen BM modelinin, harç üretiminde kullanılan kimyasal katkı tipinden bağımsız olarak eşik kayma gerilmelerinin elde edilmesinde oldukça elverişli olduğu görülmüştür. Kendiliğinden yerleşen harcın yayılma çapı, kimyasal katkı içeriği ve su/bağlayıcı oranı bilindiği takdirde ki bu değerler harcın özeliği için gerekli olan değerleridir, eşik kayma gerilmesi de elde edilebilir. İstenilen yayılma değerine ulaşabilmek için eşik kayma gerilmesinin aşılması sağlanabilecektir. Böylece şantiye ve laboratuar ortamlarında gerçekleştirilecek olan kendiliğinden yerleşen betonların üretimi iyi tasarlanmış harç sayesinde daha kararlı bir durumda üretilmesi sağlanacaktır.

3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kendiliğinden yerleşen harçların eşik kayma gerilmesinin belirlenebilmesi amacıyla harcın su/bağlayıcı oranı, harç üretiminde kullanılan kimyasal katkı oranı ve harcın mini çökmede yayılma değerleri kullanılarak bulanık mantık yaklaşımıyla model geliştirilmiştir. Geliştirilen model sonucunda gözlenen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Modelden alınan sonuçların deneysel verilere oldukça yakın olduğu görülmüştür.
- Belirlenmesi için özel ve pahalı bir cihaza gereksinim duyulan eşik kayma gerilmeleri önerilen model yardımıyla, kimyasal katkı tipinin farklı olmasına rağmen % 13 hata oranıyla deneysel verilere çok yakın değerlerde tahmin edilmiştir.
- Geliştirilen bulanık mantık yaklaşımı yardımıyla tüm laboratuvar ve şantiye ortamlarında harç bileşen oranları ve yayılma çapını kullanarak eşik kayma gerilmeleri deneysel verilere oldukça yakın bir şekilde tahmin edilebilecektir.
- KYB harcının eşik kayma gerilmesinin bilinmesiyle, kendiliğinden yerleşen betonun istenilen miktarda yayılması için bileşenlerden su/bağlayıcı oranının belirlenmesi ve kimyasal katkı oranı seçimi daha ekonomik ve kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir.
- Farklı katkılarla üretilse de harcın istenilen miktarda yayılması için gerekli eşik gerilmeleri tahmin edilerek, betonun da istenilen miktarda yayılması sağlanacaktır.
- Bu sayede şantiye ve laboratuvarlarda taze beton özelikleri daha kararlı olan kendiliğinden yerleşen beton üretimi gerçekleştirme imkânı sağlanmış olacaktır.

Kaynaklar

1. Topçu, İ.B., Ünal, O., Uygunoğlu, T., Kendiliğinden yerleşen Betonda Mineral katkıların Taze Beton Özeliklerine Etkilerinin Araştırılması, *2. Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 12-13 Nisan 2007, Ankara, ss. 181-193.

2. Roussel, N., Stefani, C., Leroy, R., From mini-cone test to Abrams cone test: measurement of cement-based materials yield stress using slump tests, *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 817-822.

3. Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, *İTÜ Dergisi*, Cilt:1, Sayı:2, Aralık 2002, 125-144.

4. Ramyar, K., Portland çimentosu-süperakışkanlaştırıcı katkı uyumunu etkileyen faktörler, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 12-13 Nisan 2007, Ankara, ss. 197-211.

5. Yahiaa, A., Tanimurab, M., Shimoyama, Y., Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 532-539.

6. Felekoğlu, B., *Kendiliğinden yerleşen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri*, Dokuz Eylül Üniv., Fen Bil. Ens., İnşaat Müh. A.B.D., YL Tezi, 2003, 267 sayfa.

7. Schwartzentruber, L. D., Roy, R.L., J. Cordin, Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete (SCC), *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1203-1213.

8. Roussel, N., Coussot, P., "Fifty-cent rheometer" for yield stress measurements: From slump to spreading flow, *Journal of Rheology* 49 (3) 2005, 705-718.

9. Roussel, N., Roy, R.L., The Marsh cone: a test or a rheological apparatus, Cement and Concrete Research 35 (2005) 823– 830.

10. L.A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, 8, 338-352, 1965.

11. Topçu, İ.B., Sarıdemir, M., Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural networks and fuzzy logic, *Computational Materials Science* 41 (2008) 305-311.

12. Demir, F., Gençoğlu, M., Güler, K., "Çelik Tel Takviyeli Betonların Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı İçin Bir Bulanık Mantık Yaklaşımı", *Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi*, 15-16-17 Nisan 2004.

13. Topçu, İ.B., Sarıdemir, M., Prediction of mechanical properties of recycled aggregate concretes containing silica fume using artificial neural networks and fuzzy logic, *Computational Materials Science* 42 (2008) 74-82.

14. Leemann, A., Winnefeld, F., The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete, *Cement & Concrete Composites* 29 (2007) 341-349.