

Deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde bulanık mantık yaklaşımı

Mahmut KÖMÜR*, Melike ALTAN

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

*Deprem hasarı gören binaların hasar düzeyinin tespiti konusu, özellikle sıkça depreme maruz kalan ülkelerde her zaman çözüm bekleyen önemli bir sorun olmuştur. Bu özelliğiyle konu bilim dünyasının hep gündeminde kalmış ve pek çok çalışmaya esas oluşturmıştır. Binalarda oluşacak hasarın tespitindeki belirsizlik, karmaşıklık ve insana ait olan yargılardaki bulanıklık bu konuda ön plana çıkan zorluklardandır. Bu çalışmada, deprem sonrası hasar görmüş yapıda deprem hasarının tespitinde kullanılan katlar arası kalıcı yer değiştirme ve karakteristik beton basınç dayanımının hasar tespitine etkisi daha gerçekçi olan bulanık mantık yaklaşımı ile ele alınmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde klasik mantığın keskin ve tavizsiz sınırlarına kıyasla, bulanık mantığın insan düşünüş ve yargısına daha uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir. **Anahtar Kelimeler:** Deprem hasarlı binalar, hasar tespiti, bulanık mantık.*

Fuzzy logic approach for damage assessment of seismic damaged buildings

Abstract

Especially in countries which are frequently exposed to earthquake, damage assessment of seismic damaged buildings has been always an important problem. Therefore, this subject has not lost its actuality in earthquake engineering. Various studies have been carried out to find a procedure for damage assessment having wide application spectrum. Studies about damage assessment methods have been fairly developed as computer technology improves in recent years. Vagueness, complexity and fuzziness in human judgements lead into several difficulties related to damage assessment of seismic damaged buildings. In this study, state of art of damage assessment of seismic damaged buildings has been studied by using fuzzy logic. In the study, the effect to damage assessment of permanent interstory displacements and characteristic concrete compression strength which have substantial effects on the extent of seismic damage of buildings, have been taken into consideration by using the fuzzy logic approach. When the results are scrutinized, it has been observed that the fuzzy logic compared with the conventional logic having crisp and nonconcession boundary has given more convenient results to human thinking and judgement and fuzzy logic solution has softened and it has clearly gained flexibility as to sharp passing of conventional solution. Furthermore, it is observed that this situation gives more reliable results.

Keywords: Seismic damaged buildings, damage assessment, fuzzy logic.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mahmut KÖMÜR. mkomur@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 33.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde Fuzzy Mantığı yaklaşımı" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 29.01.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 25.02.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

İnsanların toplu yaşadıkları şehir, kasaba ve benzeri yerleşim birimlerinde yer alan binaların büyük bir kısmında, deprem sonrasında çeşitli düzeylerde hasar ortaya çıkmakta, hatta bir kısım bina tamamen çökmektedir. Deprem sonrasında söz konusu bölgedeki hasarın hızlı ve gerçekçi bir biçimde belirlenmesi ve binaların kullanılabilirliğinin araştırılması, sorumlu ve yetkili kuruluşlar tarafından acilen yapılmak durumundadır. “Deprem Sonrası Acil Hasar Tespiti” diye adlandırılan bu işlemle, depremden hemen sonra artçı sarsıntıların devam ettiği süre içinde binaların güvenilirliğinin araştırılması ve tehlikeli binaların boşaltılması yoluyla, yöre insanının can güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu işlemin diğer bir amacı da, bölgedeki hasar görmüş yapıların hasar durumlarının incelenmesiyle, oturulabilir, kolayca onarılabilir ve onarılamaz biçiminde değerlendirmelerin yapılması, o yerleşim biriminin deprem sonrası yapılaşma gereksinimi ve onarım faaliyetlerinin büyük ölçüde belirlenmesidir. Bu yolla, gereksiz biçimde ortaya çıkabilecek yeni yapılaşmanın önüne geçilmek suretiyle ülke ekonomisine de katkıda bulunmuş olunabilmektedir. Ayrıca, o yerleşim yerinde yaşayan insanların gerek oturulabilir binalarda, gerekse onarılabilir binaların süratle onarılmasıyla elde edilecek binalarda ikamet etmesiyle, deprem sonrası evsiz kalanların sayısı da azaltılabilmektedir (Gülkan ve Yakut, 1994).

Son yıllarda, şehirlerdeki nüfusun ve sosyal yapıların artması ile şehir alanlarında yoğunlaşmış farklı bina ve yapılar, büyük hacim ve miktarlarda inşaatların yapılmasına neden olmuştur. Teknolojinin gelişmesi, yapıların depreme dayanma kapasitelerinin iyileştirilmesi ve sosyal yapıların değişimi, deprem hasarlarının karakteristiklerini de hızlı bir şekilde değiştirmiştir. Bu nedenle, şehirlerin deprem felaketine uğraması ile deprem hasarlarının daha doğru ve daha mantıklı bir şekilde nasıl değerlendirileceği probleminin çözümü için atılan her adım önemli olmaktadır (Song vd., 1996).

Geçmişte meydana gelen depremlerin sonuçları oldukça iyi bir şekilde belgelendirilmiştir. Edinilen bu bilginin daha geniş bir yarar sağlaması için kuvvetli yer hareketlerine maruz kalmış

sistemlerdeki kategorize edilmiş hasar belirtilerinin bir uzman sistem yardımıyla, ileride olabilecek depremlerden etkilenebilecek sistemlere uzatılabilmesi gereklidir. Böyle bir uygulama hasar tazminatı, sigorta, vb. amaçlar için objektif karar verme ortamı yaratacağı için sadece teorik bir irdeleme niteliği taşımamaktadır. Dolayısıyla, hasarın doğru ve tartışmaya gerek bırakmayacak biçimde tayini, afet zararlarının giderilmesinde objektif bir zemin hazırlayacaktır. Bunun da ötesinde bu çalışma ile depremden hemen sonra, daha artçı sarsıntıların devam ettiği süre içinde, hangi binaların güvenli, hangilerinin ise can güvenliği bakımından sakıncalı olduğunun ayırt edilmesinin daha güvenilir olarak sağlanabilmesi amaçlanmaktadır.

Büyük yerleşim yerlerindeki deprem hasarlarının evrimi ile hasar değerlendirme problemi oldukça karmaşık bir hal almıştır. Bununla ilgili ana problem, değerlendirmelerdeki belirsiz kavramlardır. Örneğin; “Sismik Şiddet” kavramı ele alınsın. Sismik şiddetin tayinine, bina ve yapıların hasar dereceleri referans alınarak karar verilmektedir. “Zayıf yapı binalar”, “normal binalar” gibi karar vermede kullanılan bazı kavramlar, farklı kişilere göre değişebilen göreceli olarak belirli kavramlardır. Gerçekte, belirsiz kavramlar sadece sismik şiddet ile sınırlı değildir. Bina ve yapıların hasar derecelerinin sınıflandırılması esnasında, insanlar tarafından tayin edilen hasar dereceleri farklı tarihlere, farklı mantıklara ve farklı kişilere göre değişiklik göstermektedir. Bu çeşit, insana ait olan yargılar, genellikle belirsiz bilgilere dayalı olarak verilmektedir. Belirsiz bilgiler ile ilgili bulanıklık, komplekslik ve tanımsızlıktan dolayı indeksler ve ayrıntılı hasar değerlendirme arasında kıyaslama ve hesaplama yapmak oldukça zorlaşmaktadır (Song vd., 1996).

Modern bilgisayar biliminin gelişimi mühendislik problemlerinin çözüm metodlarını artırmaktadır. Bilgisayar biliminde kullanılan faydalı matematik araçlarından birisi de bulanık mantık esaslı bulanık küme teorisidir. Bulanık küme teorisi, matematik formdaki farklı belirsiz fenomenleri tanımlayabilmektedir. Böyle belirsiz fenomenler, analizi yapılan objelerin açık ve kesin sınırlarının olmayışını, belirsiz kelimeler ve kesin olmayan ifadeleri içerebilmektedir.

Bulanık küme teorisinin inşaat mühendisliği alanında uygulanması 1978'de başlamıştır. Uygulanan başlıca branşlar şunlardır: Bulanık yapı analizleri, akıllı analizler, data işleme, sistem analizleri...vb. (Akiyama, 1984). Son zamanlarda bulanık küme teorisi, risk azaltma konusunda da uygulanmaktadır.

Deprem sonrası binalarda oluşan hasarın tespitindeki belirsizlik, karmaşıklık ve insana ait olan yargılardaki bulanıklık ön plana çıkan zorluklardandır. Bu çalışmada, bulanık mantığın binalarda deprem hasarı tespiti konusundaki yeri, verilen bilgiler ışığında incelenecektir. Ayrıca, çalışma sonucunda elde edilen sonuçların gelecekteki modellere göre farklılıklarının ortaya çıkarılması ve modellerin birbirlerine göre performanslarının test edilmesi amaçlanmaktadır.

Hasar düzeyi belirleme yöntemi

Ülkemizde uygulanmakta olan, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı normlarına dayanan hasar düzeyi belirleme yöntemi, bir puanlama sistemine dayanmaktadır. Söz konusu yöntemin uygulanması sonucunda yapılarda az hasarlı, orta hasarlı ve ağır hasarlı olmak üzere üç ayrı global hasar düzeyi belirlenmektedir. Hasar düzeyi belirlenmesinde etken olan üç ana unsur ise, yapı ve yakın çevresinin geometrik durumu, yapının taşıyıcı sistem özelliği ve geometrisi ile yapıda mevcut olan şekil değiştirmelerdir. Bu üç ana unsur, kendi içinde bir puanlama mantığı ile değerlendirildikten sonra, yapının Toplam Hasar Puanı (*THP*) hesaplanıp, bu puanın sayısal olarak belirlenmiş sınırlar çerçevesinde değerlendirilmesiyle yapının global hasar düzeyi belirlenmektedir. Söz konusu sınırlar ile global hasar düzeyleri aşağıda gösterilmektedir.

Toplam Hasar Puanı sınırları diğer ülkelerde yapılan benzer uygulamalarla da karşılaştırılmış olup kalibre edilmiştir. Öte yandan, buradaki hasar belirleme metodolojisi hasara etki edebilecek ve onun bir göstergesi olacak unsurların puanlanmasına dayanmaktadır. Üç ana unsurun etken olduğu Toplam Hasar Puanı beş farklı hasar puanından oluşmaktadır. Bunlar; Hasar Arttırıcı Puan (*HAP*), Sistem Hasar Puanı (*SİHP*), Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı

(*KKYP*), Çatı ve Merdiven Hasar Puanı (*ÇMHP*) ve Aşırı Oturma Puanı (*AOP*)'dır.

Tüm bu unsurların ayrı ayrı değerlendirilmesi ve puanlandırılmasından sonra, global hasar düzeyini tayin etmekte kullanılan Toplam Hasar Puanı aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$THP=0.80*SİHP+ÇMHP+KKYP+HAP+AOP \quad (1)$$

Toplam Hasar Puanını hesaplamak için kullanılan parametreler ve bunların alabileceği maksimum puanlar aşağıda verilmektedir.

SİHP : Sistem Hasar Puanı ($SİHP \leq 100$)

ÇMHP : Çatı-Merdiven Hasar Puanı

($ÇMHP \leq 2.5$)

KKYP : Katlar Arası Kalıcı Yer Değiştirme Puanı ($KKYP \leq 10$)

HAP : Hasar Arttırıcı Puan ($HAP \leq 6$)

AOP : Aşırı Oturma Puanı ($AOP \leq 1.5$)

Toplam Hasar Puanı, (1) formülü ile hesaplandıktan sonra aşağıda verilmiş olan hangi sınır aralığına düştüğüne bakılmakta ve böylece yapının global hasar düzeyi belirlenmektedir.

$0 \leq THP \leq 5$ *Hasarsız*

$6 \leq THP \leq 14$ *Az Hasarlı*

$15 \leq THP \leq 43$ *Orta Hasarlı*

$THP > 43$ *Ağır Hasarlı*

AOP, *HAP*, *KKYP* ve *ÇMHP*'dan oluşan dört ana unsurun alabileceği maksimum değer 20'dir. Öte yandan, *SİHP*'nin alabileceği maksimum değer 100'dür. Toplam Hasar Puanı için 0 ile 100 arasında değerler öngörülmüştür. Dolayısıyla, *SİHP*'nin %80'i toplam hasar puanına katılmıştır.

Bulanık mantık (fuzzy logic)

Her insan günlük hayatında kesin olarak bilinemeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşmaktadır. Bu durumlara ait sayısal öngörülerin sistematik bir şekilde önceden planlanarak yapılması ancak birtakım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir.

Şu ana kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve modellemelerinde varsayım, kabul ve kavramlara kesinlik kazandırmak için değişik çalışmalarda bulunulmuştur.

İncelenen bir sistemin karmaşıklığı ne kadar fazla ise ve yeterli veri bulunamazsa bulanıklık o kadar etkili olur. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında, bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinde bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilmektedir.

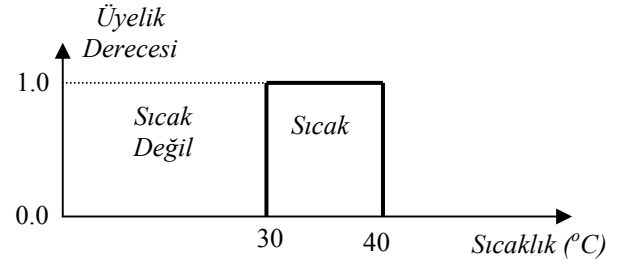
Bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler, Lutfi A. Zadeh tarafından Amerika'da ortaya atılmıştır (Zadeh, 1965). 1970 yıllarından sonra batı ve doğu dünyasında, özellikle de Japonya'da bulanık mantık ve sistem kavramlarına daha çok önem verilmiştir. Bunların teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde kullanılması sonrasında, bulanık mantık tüm dünyada bugün yaygın bir biçimde tanınmıştır (Şen, 1998).

Klasik mantık ve klasik küme teorisi

Matematikte küme veya cümle, ayırt edilebilen belirli özellikleri olan nesnelerin bütünüyle kavranmış topluluğu olarak ifade edilmektedir. Küme, kendisine neyin ait olup olmadığı konusunda herhangi bir şüphenin bulunmadığı topluluktur. Bahsedilen bu topluluk veya nesnelere, bu kümenin "elemanları" veya "üyeleri" olarak isimlendirilmektedir.

Klasik küme teorisinde, bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bunun ortası yoktur. Başka bir deyişle, bir eleman ya o kümeye aittir, yani üyelik derecesi 1'dir veya ait değildir, yani üyelik derecesi 0'dır. Doğal olarak bu ikili mantığın hiçbir esnekliği yoktur.

Bu bir örnekle şöyle açıklanabilir: Şekil 1'de klasik küme teorisine uygun olarak, eğer sıcaklık 30 °C'nin altına düşerse sıcak değildir, yani sıcak kümesine 0 derece ile üyedir. 30.5 °C ise sıcak sayılmaktadır, yani sıcak kümesine üyeliği 1'dir. Görüldüğü gibi bunda hiçbir esneklik yoktur. Yani her sıcaklık derecesi, *sıcak* kümesinin ya elemanıdır ya da değildir (Kömür ve Demir, 1996).



Şekil 1. Klasik küme teorisine uygun "Sıcak" keskin kümesinin gösterimi

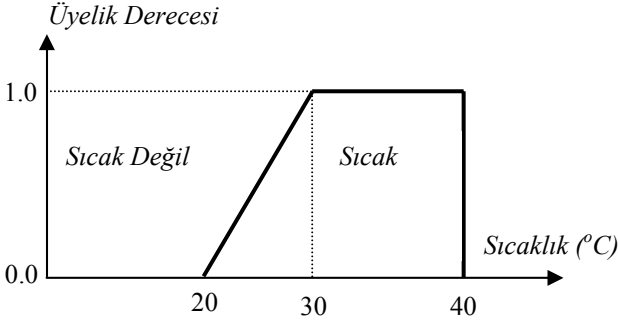
Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi

Gerçek dünyada sınırlar çok keskin değildir. Tam tersine olayların belli bir esneklikte olması istenmektedir. Bulanık küme teorisi, küme elemanlarının üyelik derecelerini göstermek için [0,1] aralığındaki gerçek sayıların kullanılmasını önermektedir. Eğer bir elemanın üyelik derecesi 1 ise tümüyle o elemanın kümenin içinde olduğu, 0 ise hiçbir şekilde o kümenin bir elemanı olmadığı yada 0.5 ise yarı yarıya o kümeye ait olduğu söylenebilmektedir.

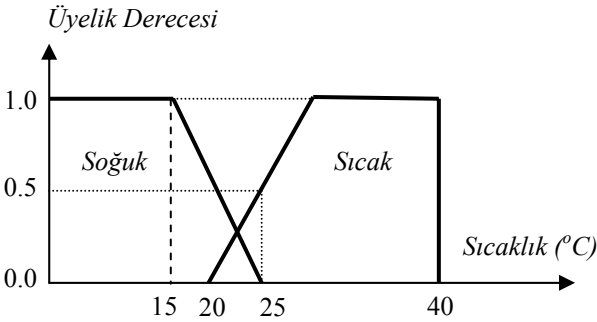
Klasik mantık ikili mantık sistemi olmasına karşın, bulanık mantık sadece iki değerli değil çok değerli bir mantık sistemidir. Bir önermenin klasik mantıkta karşılığı ya doğrudur ya da yanlıştır. Klasik mantıkta siyah ve beyaz dünyalar vardır; gerçek asla hem siyah hem beyaz, yani gri olamaz. Bulanık mantık ise gerçeğin her zaman o kadar kesin olmayacağını, doğrunun bir derecesi olduğunu ifade eder. Bir önerme az doğru yada çok doğru türünde ifade edilebilir (Kosko, 1994).

Bulanık kümeler, gerçek dünyadakine benzer olarak, olaylara esneklik kazandırır. Bulanık mantık soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, yüksek-alçak gibi ifadeleri esnek nitelilerle yumuşatarak gerçek yaşamdakine benzetir. Bu daha açık bir şekilde, başka bir örnekle şöyle açıklanabilir: Bulanık küme teorisine uygun olarak çizilen Şekil 2'de, sıcaklık gibi değişkenlerini gerçekte gözlenen değerlerine uygun olarak veren bulanık küme teorisi gösterilmektedir. Buna göre, 20°C ile 40°C arasındaki değerlerin, "Sıcak" bulanık küme üyelik derecesi ortaya çıkmış olur. Burada sıcak bulanık küme üyelik derecesinde, 30°C de 1'e karşılık gelen maksimumdan, 20°C de 0'a

karşılık gelen minimuma doğru derecelendirilmiş bir azalma vardır.



Şekil 2. Bulanık küme teorisine uygun "Sıcak" bulanık kümesinin gösterimi



Şekil 3. Bulanık kümede örtüşüm

Şekil 2'ye göre sıcaklık azaldığında, daha az sıcak durum ortaya çıkacaktır. Yani 25°C'lik sıcaklık az sıcak olarak nitelendirilirken 30°C'lik sıcaklık çok sıcak olarak nitelenecek, 20°C'lik sıcaklık sıcak olarak sayılmayacaktır. Dolayısıyla, 20°C'lik sıcaklık, sıcak bulanık kümenin bir elemanı olmayacaktır. Şekil 3'te ise bulanık mantık teorisinin bir adım daha ilerisi gösterilmektedir. Bu şekilde anlaşılabileceği üzere sıcak bulanık küme üyelik derecesi 0.5'te soğuk bulanık küme üyeliği kimliğini kazanır. Soğuk bulanık küme üyeliğinin derecesi, sıcaklık azaldığında artar. Buna göre 0'dan 15 °C'ye kadar olan sıcaklık oldukça soğuk sayılır ve bu bölge soğuk bulanık küme tam üyeliğine sahiptir. 15°C ile 25°C arasında ise soğuk bulanık küme dereceli üyeliği vardır. 20°C ile 25°C arasında ise bulanık kümelerin birbirlerini kestiği örtüşüm ortaya çıkmıştır. Bu bölge hem sıcak hem de soğuk olarak düşünülebilmektedir.

Yani, örtüşüm bölgesindeki elemanlar hem sıcak hem de soğuk kümenin elemanıdır. Bu örnekler bulanık olmayan girişler için geçerli olmasına rağmen bulanık mantık teorisinde bazen girişler de bulanık olabilir. Bu durumda bulanık küme üyelik derecesi bulanık küme ve bulanık giriş değeri arasındaki kesişim bölgesinden belirlenir. Bu durum Şekil 3'te gösterilmiştir ve üyelik derecesi yaklaşık 0.3'tür (Kömür, 1996).

Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının bulanık mantık tekniği ile çözümlenmesi

Önceki bölümlerde ifade edildiği gibi yapıda meydana gelmiş olan katlar arası kalıcı yerdeğiştirmenin büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen hasar, Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı (KKYP) olarak ele alınmaktadır. Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı, 0 ile 10 arasında değişen değerler alabilmektedir (Gülkan ve Yakut, 1994). Bu puanlama aşağıda gösterilmiştir.

$\delta/h \leq 0.0015$: 0.00 puan
$0.0015 < \delta/h \leq 0.0050$: 2.00 puan
$0.0050 < \delta/h \leq 0.0200$: 5.00 puan
$\delta/h > 0.0200$: 10.00 puan

Bu puanlamaya dikkat edilirse, $\delta/h=0.0015$ iken $KKYP=0.00$ alınırken, $\delta/h=0.0016$ olduğunda $KKYP=2.00$ alınmaktadır. Yani, δ/h oranındaki %0.01'lik bir oynama, puanı bir anda 0.00'dan 2.00'ye çıkarmaktadır. Bu ise çok gerçekçi ve adil görünmemektedir.

Benzer olarak, $\delta/h=0.0050$ iken $KKYP=2.00$ olurken, $\delta/h=0.0051$ olduğunda $KKYP=5.00$ olmaktadır. Aynı şekilde, $\delta/h=0.0200$ iken $KKYP=5.00$ olurken, $\delta/h=0.0201$ olduğunda $KKYP=10.00$ alınmaktadır. Görüldüğü gibi klasik küme teorisine ve Aristo mantığına göre Katlar arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının hesabında, hiçbir esnekliği olmayan çok keskin (crisp) geçişler vardır.

Yukarıda verilmiş olan (1) formülüne göre, Toplam Hasar Puanının hesabında, Sistem Hasar Puanı dışındaki puanlamaların toplamının

maksimum 20 olabileceği dikkate alındığında, en çok 10 puana ulaşabilen Katlar arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının toplam puana olan etkisinin çok önemli olduğu açıktır. Bu nedenle, Katlar arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının hesabının daha gerçekçi yapılması büyük önem arz etmektedir.

Bu kısımda, Katlar arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı bulanık mantık yaklaşımı ile elde edilmiştir. Bulanık mantık modeli kurulurken, Mamdani çözümü göz önüne alınarak sonuca gidilmiştir.

Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri

Bulanık girdi değişkeni olarak δ/h oranı alınmaktadır. Bu girdi değişkeni, kısaca, 'DELTA' olarak isimlendirilmiştir. Bulanık çıktı değişkeni olarak ise, δ/h oranına karşılık gelen puanlama dikkate alınmaktadır ve çıktı değişkeni 'YDPUANI' olarak isimlendirilmiştir. Bu bölümde kullanılan DELTA ifadesi katlar arası kalıcı rölatif yerdeğiştirmenin kat yükseliğine olan oranını, YDPUANI kısaltması ise bu orana karşılık gelen hasar puanını ifade etmektedir.

'DELTA' bulanık girdi değişkenine ait beş bulanık alt küme tanımlanmıştır. Bunlar, sırasıyla, 'AZ, ORTA, ÇOK, OLDUKÇAÇOK, AŞIRI' olarak isimlendirilmiştir. Bunlardan AZ ve AŞIRI isimli üyelik fonksiyonları için trapez, diğerleri için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Üyelik fonksiyonları birbiri ile örtüşmüştür. Üyelik fonksiyonlarının birbiri ile girişimi esnekliği sağlama açısından önemlidir.

Bulanık çıktı değişkeni olan 'YDPUANI' ile ilgili beş bulanık alt küme tanımlanmıştır. 'DÜŞÜK, ORTA, YÜKSEK, ÇOKYÜKSEK, OLDUKÇAYÜKSEK' olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir.

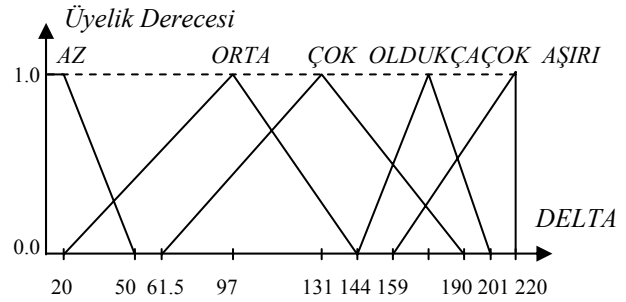
Kural tabanı

Bulanık mantık katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı kural tabanı, girdi parametrelerinden ve yerdeğiştirmelere puanların orantılı olarak dağıtılması ilkesinden faydalanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca, kural tabanı puanlamaların sınırlarındaki keskinliği azaltmak ve belli bir esnekliği

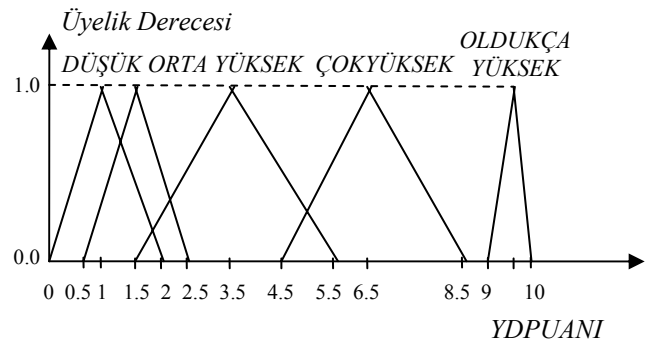
sağlaması hedefi göz önünde bulundurularak düzenlenmiştir. Kural tabanında, aşağıda verilen toplam yedi adet kural yer almaktadır.

1. Eğer DELTA AZ ise YDPUANI DÜŞÜK,
2. Eğer DELTA ORTA ise YDPUANI ORTA,
3. Eğer DELTA ORTA ise YDPUANI YÜKSEK,
4. Eğer DELTA ÇOK ise YDPUANI YÜKSEK,
5. Eğer DELTA ÇOK ise YDPUANI ÇOKYÜKSEK,
6. Eğer DELTA OLDUKÇAÇOK ise YDPUANI ÇOKYÜKSEK,
7. Eğer DELTA AŞIRI ise YDPUANI OLDUKÇAYÜKSEK

Bu kurallar dikkate alınarak üyelik fonksiyonları eğitilmiştir. Eğitim sonucunda şekillenen girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4. DELTA girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları



Şekil 5. YDPUANI çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları

Bulanık mantık katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı çıkarımlarının durulaştırılması

Bulanık mantık katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı kural tabanından, girdi verilerinin üyelik-

lerine göre değişik sayıda çıkarımlar elde edilmektedir. Bu çıkarımların üyelik derecelerinin belirlenmesinde bulanık girdiler için Mamdani Yöntemi esas alınmıştır. Ancak burada tek girdi olduğundan mantıksal 've' ya da 'veya' bağlacı kullanılmamıştır. Durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

DELTA girdi değişkenine bir değer verildiğinde bu değer bazı kuralları tetiklemekte bazı kuralları ise tetiklememektedir. Tetiklenen kurallar, girdi değişkenlerinin üyelikleri oranında aynı kuraldaki çıktı değişkenlerini devreye sokmaktadır. Böylece her kural için elde edilen alanlar toplanarak kompleks bir şekil elde edilmektedir. Aslında çözüm kümesi bulunan bu şeklin tabanıdır. Fakat sonuçta tek bir değer elde edilmesi gerektiğinden bulunan bu bulanık çözüm kümesi durulaştırılmalıdır. Sonuçta elde edilen toplam şeklin ağırlık merkezi bulunmak suretiyle bir tek değer bulunarak durulaştırma işlemi yapılabilmektedir. Bazı katlar arası kalıcı yerdeğiştirme değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık mantık ile elde edilen puan değerleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Bazı δ/h değerlerine karşılık gelen bulanık mantık ve klasik puan değerleri

δ/h ($*10^{-4}$)	Bulanık Mantık tekniği ile elde edilen puan değeri	Klasik olarak elde edilen puan değeri
15	1.50	0.00
25	1.60	2.00
35	2.20	2.00
45	2.80	2.00
50	2.90	2.00
100	4.20	5.00
125	4.60	5.00
150	5.00	5.00
175	5.90	5.00
200	8.80	5.00
220	10.00	10.00

Karakteristik beton basınç dayanımı puanının bulanık mantık tekniği ile çözümlenmesi

Hasar arttırıcı puanlar kategorisinde ele alınan karakteristik beton basınç dayanımının puanlamaya etkisi, "Karakteristik beton basınç daya-

nımı $< 15 \text{ N/mm}^2$ ya da gözle muayene kötü veya belirsiz ise 1.00 puan alınmalıdır" şeklinde dikkate alınmıştır (Gülkan ve Yakut, 1994). Bunun dışında karakteristik beton basınç dayanımı için herhangi bir kriter verilmemiştir.

Verilen bu kriter projesi olmayan binalar için uygun olabilir. Ancak, bununla birlikte projeli binalarda beton basınç dayanımının proje değerinin de dikkate alınarak puanlamaya dahil edilmesi daha uygun olmaktadır. Yukarıda verilen kritere ek olarak şu kriterin de puanlamada dikkate alınması faydalı olmaktadır: "Yapılan deneyler sonucu bulunan karakteristik beton basınç dayanımının, proje karakteristik beton basınç dayanımının %90'ından düşüklüğü oranında 0 ile 1.00 aralığında puanlar alınmalıdır".

Bu durumda, Tablo 2'de gösterildiği şekilde klasik bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu tablodaki rakamlar, deneyler sonucu bulunan karakteristik beton basınç dayanımının, proje karakteristik beton basınç dayanımına göre sağladığı oranı göstermektedir. Örneğin tablodaki 30 değerinin anlamı şudur: Binadan alınan numunelerden elde edilen karakteristik beton basınç dayanımı, proje karakteristik beton basınç dayanımının ancak %30'unu sağlamaktadır.

Tablo 2. Bulunan karakteristik beton basınç dayanımının proje karakteristik beton basınç dayanımına oranla sağladığı yüzdeye göre sınıflandırma

Proje Değeri (%)	Karakteristik Beton Basınç Dayanımı	Proje Değeri (%)	Puan
		≤ 30	1.00
30	$<$	≤ 50	0.75
50	$<$	≤ 70	0.50
70	$<$	≤ 90	0.25
90	$<$		0.00

Bulanık girdi-çıktı değişkenleri ve üyelik fonksiyonlarının seçimi

Bulanık girdi değişkeni olan 'PDYÜZDESİ' ne ait beş alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, 'HIÇİYİDEĞİL, İYİDEĞİL, ORTA, İYİ, ÇOKİYİ' olarak adlandırılmıştır. Bu bulanık alt kümelerden HIÇİYİDEĞİL ve ÇOKİYİ isimli

üyelik fonksiyonları için trapez, diğerleri için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir.

'PUAN' bulanık çıktı değişkeni ile ilgili beş alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, 'ÇOKDÜŞÜK, DÜŞÜK, ORTA, YÜKSEK, ÇOKYÜKSEK' olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir.

Kural tabanı

Kural tabanında kullanılan PDYÜZDESİ ifadesi, deneyler sonucu bulunan karakteristik beton basınç dayanımının, proje karakteristik beton basınç dayanımına göre sağladığı % oranını göstermektedir, PUAN ifadesi ise bu yüzdeye karşılık gelen hasar puanını ifade etmektedir. Kural tabanında toplam beş adet kural yer almaktadır. Bu kurallar aşağıda verilmiştir:

1. Eğer PDYÜZDESİ HİÇİYİDEĞİL ise PUAN ÇOKYÜKSEK,
2. Eğer PDYÜZDESİ İYİDEĞİL ise PUAN YÜKSEK,
3. Eğer PDYÜZDESİ ORTA ise PUAN ORTA,
4. Eğer PDYÜZDESİ İYİ ise PUAN DÜŞÜK,
5. Eğer PDYÜZDESİ ÇOKİYİ ise PUAN ÇOKDÜŞÜK'tür.

Bu kurallar dikkate alınarak üyelik fonksiyonlarının eğitilmesi sonucunda eğitilmiş girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi değişmektedir.

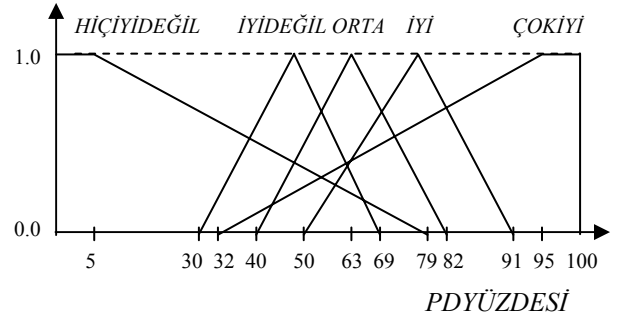
Bulanık mantık karakteristik beton basınç dayanımı puanı çıkarımlarının durulaştırılması

Bulanık mantık karakteristik beton basınç dayanımı puanı kural tabanından elde edilen çıkarımların üyelik derecelerinin belirlenmesinde bulanık girdiler için Mamdani Yöntemi dikkate alınmıştır.

Burada tek girdi olduğundan mantıksal bağlaç kullanılmamıştır. Elde edilen çıkarımlar ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak durulaştırılmıştır.

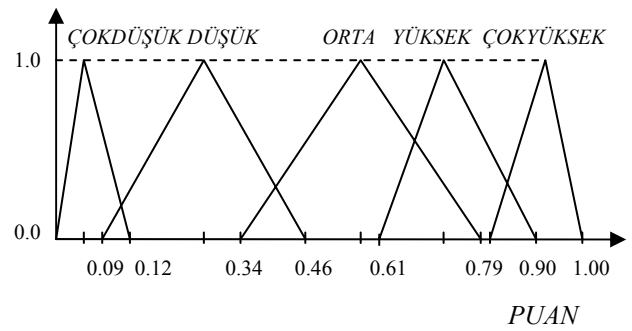
Bulanık mantık ile elde edilen bazı karakteristik beton basınç dayanımı puan değerleri Tablo 3'te verilmektedir.

Üyelik Derecesi



Şekil 6. PDYÜZDESİ girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları

Üyelik Derecesi



Şekil 7. PUAN çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları

Tablo 3. Bazı karakteristik beton basınç dayanımı değerleri için bulanık mantık tekniği ile elde edilen puan değerleri

Karakteristik beton basınç dayanımının proje değeri	Bulanık Mantık tekniği ile elde edilen puan değeri
20	1.00
30	0.91
40	0.75
50	0.63
60	0.50
70	0.41
80	0.28
90	0.11
100	0.00

Uygulama

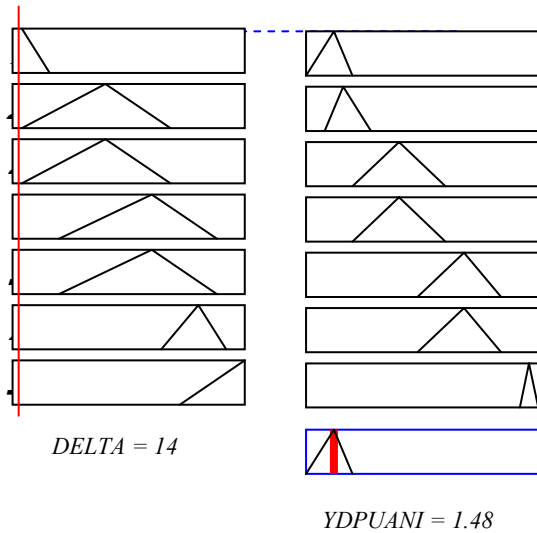
Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı ve karakteristik beton basınç dayanımı puanının bulanık mantık tekniği ile çözümlenmesi yöntemi, 1996 Dinar depreminde hasar görmüş olan üç katlı bina türü bir yapının hasar tespitine uygulan-

mıştır. Afyon ili Dinar ilçesi, Hürriyet mahallesinde bulunan bina birbirinden dilatasyonla ayrılmış iki yapıdan oluşmaktadır. Ön bina 22.50 m x 14.20 m oturma alanlı bodrum kat+zemin kat+1 normal katı olan üç katlı, arka bina ise 22.50 m x 4.00 m oturma alanlı bodrum kat+zemin katı olan iki katlı betonarme karkas bir yapıdır. Döşemeleri kirişli döşemedir. Yapının taşıyıcı sistemi her iki doğrultuda kiriş ve kolonlarla teşkil edilen çerçevelerle oluşturulmuştur. Binaların temelleri, kenar kolonlar altında sürekli, iç kolonlar altında tekil temel olarak imal edilmiştir.

Yukarıda özellikleri tanımlanmış binaya ait Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından öngörülen Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar için Hasar Tespit Formu doldurularak genel hasar puanı hesaplanmıştır. Genel hasar puanı 3.95 olarak bulunmuştur. Bu durumda incelenen bina *hasarsız* yapılar sınıfına girmektedir (Tablo 4).

Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının bulanık mantık ile hesabı

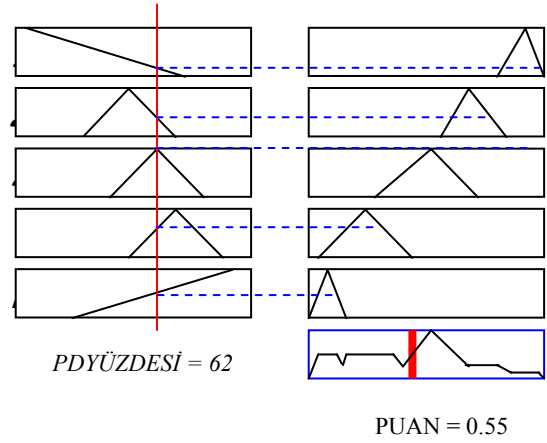
Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı, $\delta/h=14.10^{-4}$ durumu için klasik yöntemde 0.0 değerine karşılık gelirken bulanık teknik ile hesaplanan puan değeri 1.48'dir. Çünkü, klasik yöntemde 0-15.10⁻⁴ arasındaki tüm yerdeğiştirme durumları için hasar puanı 0.0 olarak alınmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. $\delta/h=14.10^{-4}$ girdi değeri için katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının elde edilmesi

Karakteristik beton basınç dayanımının bulanık mantık ile hesabı

Karakteristik beton basınç dayanımının 15.5 MPa olması durumu için klasik yöntemde 0.0 değeri alınmaktadır. Çünkü, klasik yöntemde $\sigma_c > 15$ MPa için alınan hasar puanı 0.0'dır. Bu çalışmada önerildiği gibi proje dayanımı dikkate alındığında, proje dayanımı 25 MPa olmak üzere, elde edilen dayanım proje dayanımının ancak %62'sini sağlayacaktır. Bu durumda, bulanık teknik ile hesaplanan puan değeri 0.55 olmaktadır (Şekil 9). Karakteristik beton basınç dayanımının etkisi Hasar Arttırıcı Puan (HAP) içerisinde dikkate alınmıştır. Sonuçta genel hasar puanı 5.98 olarak elde edilmiş ve bina *az hasarlı* yapılar sınıfına girmiştir (Tablo 4).



Şekil 9. Karakteristik beton basınç dayanımının proje dayanımının %62'sini sağladığı durum için hasar puanı çıktı değerinin elde edilmesi

Tablo 4. Klasik ve bulanık mantık dikkate alınarak hesaplanan toplam hasar puanları

Hasar puanları	Klasik yöntem	Bulanık yöntem
Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı ($\delta/h=14.10^{-4}$) (KKYP)	0.00	1.48
Bina türü için sistem hasar puanı (SİHP)	3.37	3.37
Hasar arttırıcı puanların toplamı (HAP)	0.25	0.80
Çatı ve merdiven hasar puanı (ÇMHP)	1.00	1.00
Aşırı oturma puanı (AOP)	0.00	0.00
Toplam hasar puanı (THP)	3.95	5.98

Tablo 4'ten görüleceği gibi, katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının bulanık mantık ile gerçekçi tespiti ve karakteristik beton basınç dayanımının proje değerinin de dikkate alınması ile bulanık teknik ile çözüm yapılması sonucunda, klasik yöntem ile hasarsız yapı grubuna giren bir bina, bulanık teknik yöntemi ile az hasarlı yapı grubuna girmekte ve hasar tespit sonucunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, deprem sonrası hasar görmüş yapıda deprem hasarının tespitinde kullanılan katlar arası kalıcı yerdeğiştirme ve karakteristik beton basınç dayanımının hasar tespitine etkisi daha gerçekçi olan bulanık mantık yaklaşımı ile ele alınmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde klasik mantığın keskin ve tavizsiz sınırlarına kıyasla, bulanık mantığın insan düşünüş ve yargısına daha uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Ayrıca, bulanık mantık çözümünün geleneksel ve klasik çözümün keskin geçişlerini yumuşattığı ve belli bir esneklik kazandırdığı, dolayısıyla daha güvenilir sonuçların elde edilmesine yardımcı olduğu söylenebilmektedir.

Kaynaklar

- Akiyama, T., (1984). Applications of Fuzzy Set Theory to Infrastructure Planning and its Prospects, *Proceedings of JSCE*, Tokyo, Japan, September 1984, 23-31.
- Gülkan, P., Yakut, A., (1994). Mühendislik hizmeti görmüş yapılar için hasar tesbit formu hazırlanması, *ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi*, Rapor No. **94-01**, Ankara.
- Kosko, B., (1994). *Fuzzy Thinking*, Flamingo Press, London.
- Kömür, M., (1996). Betonarme kirişlerin kafes-kiriş analojisinde Fuzzy Mantığı yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kömür, M. ve Demir, C., (1996). Yapı Mühendisliğinde Bulanık Mantık, *GAP 1. Mühendislik Kongresi*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Mayıs 1996, 704-710.
- Song, B., Hao, S., Murakami, S. and Sadohara, S., (1996). Comprehensive evaluation method on earthquake damage using Fuzzy Theory, *Journal of Urban Planning and Development*, **122**, 1, 1-17.
- Şen, Z., (1998). Fuzzy Algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration, *Solar Energy*, **63**, 1, 39-49.
- Zadeh, L.A., (1965). Fuzzy sets, *Information & Control*, **8**, 338-353.