

Araştırma Makalesi

Depreme Karşı Güçlendirme Gereksinimi Olan Kamu Binaları İçin Önceliklendirme Metodu Önerisi: Critic Yöntemi ve Çok Nitelikli Fayda Teorisi

Hakan AKBABA^{1,*} , Halil NOHUTCU² 

Gönderim: 29.03.2024

Kabul: 14.06.2024

^{1*} Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, İnşaat Teknolojisi Programı, Uşak, Türkiye; hakan.akbaba@usak.edu.tr

² Manisa Celâl Bayar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye; halil.nohutcu@bayar.edu.tr

*Sorumlu yazar

Özet: Bu çalışma; depreme karşı güçlendirme gereksinimi olan kamu binaları (idari ve temel eğitim kurumları) için önceliklendirme, sıralama ve seçim probleminin çözümüne yönelik öneride bulunmaktadır. Kamu yöneticileri ve bina sahipleri depremlerden kaynaklı potansiyel kayıpları azaltmak amacıyla mevcut yapıları güçlendirme kararı ile sıklıkla karşı karşıya kalmaktadır. Bahse konu binaların sayısı ve güçlendirmeye duyulan gereksinimleri düşünüldüğünde, sınırlı olan ödeneklerin daha verimli kullanılması açısından, yapılacak sıralama ve seçim işlemi büyük önem arz etmektedir. Araştırmaya, Çok Nitelikli Karar Verme (MAUT) ile Kriterler arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti (CRITIC) yöntemlerinin birlikte kullanılmasına dayalı olarak gerçekleştirilen seçim ve önceliklendirme problemi konu edilmiştir. Güçlendirme gereksinimi olan kamu binalarına ait yapısal, fiziksel ve ekonomik kategoride bazı parametreler esas alınmıştır. Kamu idari binaları ve temel eğitim binaları olmak üzere iki kategoride analizler gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Binaların güçlendirme amacıyla, önceliklendirilmesinde en önemli kriterlerin beton basınç dayanımı ve güçlendirme maliyeti olduğu sonucuna varılmıştır. Önerilen yöntemin kamu bina yöneticileri açısından seçim ve sıralamada objektif bir karar verme yaklaşımı olarak kullanılabilmesi, bu sayede kamu kaynaklarının etkin ve verimli kullanılabilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirme; karar verme; çok nitelikli fayda teorisi; CRITIC yöntemi; kamu binaları

Prioritization Method Recommendation for Public Buildings Requiring Strengthening Against Earthquake: Critic Method and Multi-Attribute Benefit Theory

Abstract: This study proposes a solution to the prioritization, ranking and selection problem for public buildings (administrative and basic educational institutions) in need of retrofitting against earthquakes. Public administrators and building owners are often faced with the decision to retrofit existing buildings in order to reduce potential losses due to earthquakes. Considering the number of buildings in question and their retrofitting needs, the ranking and selection process is of great importance for more efficient use of limited funds. The selection and prioritization problem based on the combination of Multi-Attribute Decision Making (MAUT) and

Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) methods is the subject of the research. It is based on some parameters in structural, physical and economic categories of public buildings in need of retrofitting. Analyses were carried out in two categories, public administrative buildings and basic education buildings, and the results obtained were analyzed. It is concluded that the most important criteria for prioritizing buildings for retrofitting are concrete compressive strength and retrofitting cost. It is evaluated that the proposed method can be used as an objective decision-making approach in selection and ranking for public building managers, thus contributing to the effective and efficient use of public resources.

Keywords: Decision making; multiattribute utility theory; CRITIC method; public buildings.

1. Giriş

Deprem tehlikesi altında bulunan ülkelerde, mevcut yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesi, potansiyel kayıpları azaltmak için kritik önem taşımaktadır. Bu durum bina sahipleri ve kamu yöneticileri için önemli bir problem teşkil etmektedir. Ülkemizde kamuya hizmet veren binaların büyük bir kısmı, depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından dönüm noktası kabul edilen deprem yönetmeliklerinin (DBYBHY-2007 ve TBDY-2018) yürürlükte olmadığı 2000 yılı öncesinde yapıldığı gözlemlenmektedir [1-5]. Bahse konu binalar için yapılan performans analizi sonucunda, bu binaların büyük bir kısmı için depreme karşı güçlendirilmesi gerektiği kararı alınmaktadır. Bina sayısı ve güçlendirme için gerekli parasal kaynağın büyüklüğü düşünüldüğünde, tüm binalara aynı anda güçlendirme ve onarım işlemi yapılması çok da mümkün gözükmemektedir.

Özellikle binada verilen kamu hizmetinin aksatılmadan güçlendirme ve onarım işlerinin gerçekleştirilmesi neredeyse imkânsızdır. Ayrıca kamu bina yöneticileri ve idareciler güçlendirme kararını alırken, doğru analiz parametrelerini kullanarak, sınırlı olan kamu kaynaklarının etkin, verimli ve ekonomik olarak kullanımını da sağlamaları gerekir [6].

Güçlendirme, bir yapının veya yapıya ait taşıyıcı elemanların yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini iyileştirmeyi amaçlayan bir dizi müdahaledir. Bu müdahale ile yapı veya yapıya ait taşıyıcı elemanlar hasar öncesi veya mevcut durumundan daha iyi bir seviyeye ulaşılması sağlanır [7-9].

Binalar üzerinde yapılan güçlendirme faaliyetleri, deprem riski yüksek bölgelerde kritik öneme sahiptir. Bu süreç, binanın yapısal özelliklerine, bulunduğu yere ve diğer değişkenlere bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterir. Ayrıca güçlendirme işleminde katlanılması gereken yüksek maliyetlere gereksinim duyulabilir.

Bir binanın güçlendirilmesi veya yıkılıp yeniden yapılmasına karar verilmesi, mimarlar, inşaat mühendisleri ve ekonomistler gibi farklı alanlardan uzmanların bilgi birikimlerini birleştirmesi gereken karmaşık bir süreçtir. Merkezi hükümet desteğiyle son yıllarda ivme kazanan kentsel dönüşüm faaliyetleri, mevcut binaların yıkılıp yeniden yapılmasını teşvik etmektedir. Bu durum, inşaat sektöründe önemli bir faaliyet haline gelmiştir [10-11].

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanan Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı'nda (UDSEP 2023), yoğun insan kullanımına sahip ve bina önem katsayısı yüksek olan hastaneler, okullar gibi yapıların deprem risk seviyelerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması gerektiğine vurgu yapılmıştır. Plan ayrıca, bu yapıların mevcut durum performanslarının da değerlendirilmesi ve depreme karşı yetersiz olduğu tespit edilenlerin öncelikli olarak güçlendirilmesini öngörmektedir [12].

Konuyla ilgili yapılan literatür çalışmalarında, kamu ve stratejik binalara yönelik sismik riski azaltmak ve önceliklendirme stratejisi belirlemek amacıyla en uygun güçlendirme müdahalesinin seçimine yönelik AHP, TOPSIS, VIKOR gibi çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak, sismik tehlike seviyesi, ekonomik ve sosyal zarara maruz kalma olasılığı üzerinde çalışmışlardır. Etkili kriterler bina yaşı, malzeme türü ve özellikleri, analiz yöntemi olarak belirlenmiştir [13].

Başka bir çalışmada, depremden etkilenme olasılığı yüksek bölgelerde bulunan kamu binaları için karar verme ve risk yönetimi, karmaşık bir süreç olduğuna değinilerek, bu süreçte, binanın tarihi ve kültürel değeri, ekonomik değeri, arsa değeri, yapı güçlendirme maliyeti, güçlendirme sonrası sermaye değeri, bina yenileme maliyeti ve bina faaliyetlerinin ikamesi (taşıma) sermaye değeri gibi birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörleri dikkate alan bir mantık akış diyagramı oluşturulmuştur. Bu diyagram, karar vericilerin depreme yatkın kamu binaları için en uygun çözümü seçmesine yardımcı olmak için tasarlanmıştır [14].

Literatürde genel olarak çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) ve kriter ağırlıklandırma konularında çalışmalar oldukça fazladır. Bu yöntemlerin işletme, endüstri mühendisliği, lojistik ve yatırım projesi değerlendirme gibi çok farklı alanlarında ağırlıklandırma, seçim ve sıralama kararlarının alınmasında sıkça kullanıldığı görülmektedir [15-18].

Bu çalışmada özellikle CRITIC yöntemi gibi subjektif değerlendirmeden uzak kriter ağırlıklandırılmasına ve seçim yapma sürecinde kullanılabilen çok kriterli karar verme yöntemlerinin -MAUT- uygulanmasıyla elde edilecek en faydalı alternatifin seçimine yönelik örnek bir uygulama sunulmuştur

Zamanla binalar, fiziksel ve çevresel etkenler, insan müdahaleleri ve yasal zorunluluklar gibi çeşitli faktörlerden etkilenerek ekonomik ve fonksiyonel değerlerini kaybedebilirler [19-20]. Bu durum, yıpranmış ve düşük performans gösteren binalar için iki seçeneği beraberinde getirir. Bu seçeneklerden ilki binayı yıkmaktır. Diğer seçenek ise yapının gerekli olan taşıyıcı elemanlarında güçlendirme yapılmak suretiyle kapasitesinin artırılması seçeneğidir. Ortaya çıkan bu iki sonucu destekleyecek sürdürülebilir çözümlerin ve olası sonuçlarının ne olduğunun çok iyi belirlenmesi gerekmektedir.

2. Materyal ve Metot

Genel olarak karar verme süreci mevcut alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun seçenek/seçenekleri belirleme sürecidir [21]. Özellikle son yıllarda ÇKKV yöntemleri yardımıyla, belirsizliklerin bulunduğu bir karar ortamında, karar vericinin bilgi ve tecrübelerini sistematik olarak değerlendirmesi sonucu, en iyi çözüme nasıl ulaşılabileceği konusunda yaklaşımlar geliştirilmiştir. Karar vericiden beklenen, amaç ya da amaçlarına uygun, birden fazla alternatifler arasından belirlediği kriterlere dayalı bir değerlendirme yaparak birini seçmesidir. Karar verici bazen bir kişi, bazen de aynı amacı taşıyan bir topluluk ya da farklı amaçlara sahip bir grup insan da olabilir [22-23].

Karar verme süreci, problemin belirlenmesi, tercihlerin oluşturulması, alternatiflerin değerlendirilmesi ve en uygun alternatifin seçilmesi gibi aşamalardan oluşur. Bu çalışmada, depreme karşı güçlendirme ihtiyacı olan binalar arasından yapılacak seçim ve önceliklendirme kararının alınması konu edilmiştir. Bu seçim ve önceliklendirme işlemi ÇKKV yöntemleri yardımıyla gerçekleştirilecek olup, ilk aşamada kriterlerin ağırlıklandırılması objektif ağırlık belirleme yöntemi olarak kullanılan CRITIC, karar problemindeki en büyük yararı sağlayan alternatifin belirlenmesi ve sıralama işlemi ise Çok Nitelikli Fayda Teorisi (MAUT) yöntemi yardımıyla gerçekleştirilecektir.

Kriter ağırlıklandırma aşaması, karar verme problemlerinde elde edilecek çözüm üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Literatürde sıklıkla kullanılan kriter ağırlıklandırma yöntemleri teknik olarak iki sınıfa ayrılır. Objektif yöntemler ENTROPY, CRITIC, TOPSIS ile subjektif yöntemler AHP, ANP, SWARA, DEMATEL en bilindik kriter ağırlıklandırma yöntemleri arasında yer alır [24-26].

2.1. Critic

İlk olarak 1995 yılında Diakoulaki vd. tarafından literatüre kazandırılmış olan CRITIC yöntemi, karar matrisinde normalleştirilen kriter değerlerinin standart sapmaları ve kriterler arası korelasyon hesabına dayalı objektif bir ağırlıklandırma yöntemidir.

CRITIC yöntemine ait işlem basamakları aşağıda sıralanmıştır [27].

Karar problemi için belirlenmiş m adet çözüm alternatifi için $A_i (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ ve n adet kriter için $K_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$ indisleri üzerinden tanımlanarak,

1. Aşama: Karar Matrisinin Oluşturulması;

X ile simgelenen karar matrisi, alternatiflere karşılık gelen kriterlere göre (Eşitlik 2.1) oluşturulur.

$$X = \begin{matrix} A_1 & \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_m & X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.1)$$

2. Aşama: Karar Matrisinin Normalizasyonu;

Karar matrisine ait normalizasyon işleminin gerçekleştiği bu aşamada çözüm için belirlenen her bir kriterin fayda (maksimize) ve maliyet (minimize) yönlü olma durumlarına göre (Eşitlik 2.2 ve Eşitlik 2.3) normalize edilmiş kriter değerleri (X_{ij}) hesaplanır.

$$X_{ij(\text{fayda})} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad i = (1, \dots, m) \text{ ve } j = ((1, \dots, n)) \quad (2.2)$$

$$X_{ij(\text{maliyet})} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad i = (1, \dots, m) \text{ ve } j = ((1, \dots, n)) \quad (2.3)$$

3. Aşama: İlişki Katsayı Matrisinin Oluşturulması;

Değerlendirme kriterleri arasındaki ilişki gücünün belirlenmesi amacıyla (Eşitlik 2.4) kriter çiftleri arasındaki korelasyon katsayıları yardımıyla ilişki katsayı matrisi (ρ_{jk}) oluşturulur.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j) \cdot (r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad j, k = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

4. Aşama: C_j Değerinin Hesaplanması;

Bu aşama, problem çözümünde kriterlerde bulunan bilginin değerlendirilerek çelişki ve zıtlık yoğunluğuna dayalı toplam bilginin ifade edilerek C_j değerlerinin hesaplandığı (Eşitlik 2.5) adımdır.

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

5. Aşama: Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması;

CRITIC yönteminde son aşama olup, C_j değerinin, o kritere ait toplam C_j değerine oranlaması sonucu kriter ağırlık değeri W_j elde edilir (Eşitlik 2.6).

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_j} \quad (2.6)$$

Nesnel (objektif) ağırlıklandırma yöntemleri arasında yer alan CRITIC yöntemi sonucu elde edilen kriter ağırlık değerleri, aynı zamanda kriter önem düzeyini de belirlemiş olacaktır.

2.2. Çok Nitelikli Fayda Teorisi (MAUT)

Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında gösterilen bu yöntem, ilk olarak 1967’de Fisburn ve 1974’de Keeney tarafından uygulanmıştır. MAUT yönteminde amaç karar probleminde birbiriyle çelişen birden fazla kriter için, en çok faydayı sağlayan alternatifin belirlenmesidir [28-29]. Yönteme ait adımlar aşağıda sıralanmıştır.

Adım 1: Karar problemine konu edilen alternatif ve kriterlerin (X_n) belirlenmesi.

Adım 2: Kriterlere ait nitelik ve niceliklerin doğru şekilde değerlendirmesini sağlayacak kriter ağırlık (w_i) değerleri atamalarının yapılması. Kriterlere ait toplam w_i değerleri 1’e eşit olmalıdır (Eşitlik 2.7).

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2.7)$$

Adım 3: Kriterlere ait değer ölçülerinin hesaplanması yapılır. Bu hesaplama kriterin nicel veya nitel değer taşımaya dayalı olarak, nicel değer ise nicel değeri, nitel değer ise ikili karşılaştırmalara dayalı olarak hesaplanır.

Adım 4: Karar matrisinde bulunan her bir kriterin fayda veya maliyet yönlü olma durumuna göre -fayda (maksimizasyon) ve maliyet (minimizasyon)- karar matrisinin normalize edilmesi sağlanır (Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9).

$$u_j(x_{ij})_{\text{(fayda)}} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad i = (1, \dots, m) \text{ ve } j = ((1, \dots, n)) \quad (2.8)$$

$$u_j(x_{ij})_{\text{(maliyet)}} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad i = (1, \dots, m) \text{ ve } j = ((1, \dots, n)) \quad (2.9)$$

Adım 5: Bu aşama fayda değerinin belirlendiği son aşamadır. Karar verici için ağırlıklandırılmış fayda fonksiyonundan elde edilen ve tek bir sayıyla ifade edilebilen fayda değeri $U(A_i)$ hesaplanmış olur (Eşitlik-2.10). Karar vericinin en yüksek fayda değerini veren alternatifi-alternatifleri seçmesi-sıralaması sonucu karar problemi çözülmüş olur.

$$U(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j u_j(x_{ij}) \quad (2.10)$$

3. Uygulama

Binaların depreme karşı dayanıklı olup olmadığı kararı alanında uzman inşaat mühendisleri tarafından incelenen bina üzerinde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) göre yapılacak "Performans Analizi" sonucuna göre verilebilecek bir karardır. Bahse konu analiz için bina taşıyıcı sistem türü, zemin ve temel sınıfı, beton basınç dayanımı ve donatı durumu vb. çok sayıda yapısal parametreye ihtiyaç duyulur.

Bu çalışmada performans analizi sonucuna göre güçlendirme gereksinimi bulunan kamu binalarının seçimi ve önceliklendirilmesi için bir model önerilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler idari hizmet binaları (İHB) ve temel eğitim kurumları (TEK) için iki ayrı veri seti olarak düzenlenmiş ve çözümlenmiştir. Güçlendirme ve onarım ihaleleri 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu 19.madde yapım işi kapsamında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlükleri ve Kamu İhale Kurumlarınca (KİK) gerçekleştirilen ve sonuçları karara bağlanan ihale verileriyle birlikte, ekli istekli dosyalarından elde edilmiştir. Güçlendirme ve onarım projelerinde yer alan yaklaşık maliyetler kullanılmıştır. Bu kapsamda 9 adet idari hizmet binası ve 7 adet temel eğitim kurumu hizmet binası olmak üzere toplam 16 binaya ait veriler çalışmaya konu edilmiştir. Çalışmada birinci örneklem için seçilen güçlendirme gereksinimi olan 9 (dokuz) İHB (idari hizmet binası) arasında bahse konu yöntem kullanılarak önceliklendirme ve sonrasında bir sıralama elde edilecektir. İkinci örneklemde ise yine güçlendirme gereksinimi olan 7 (yedi) TEK (temel eğitim kurumları) binası verilerine dayalı önceliklendirme ve sıralama işleminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Depreme karşı güçlendirilecek bina alternatifleri arasından seçim ve sıralama işleminde kullanılacak kriterlerin, başka bir ifade ile karar değişkenlerinin belirlenmesi aşamasından sonra, bu değişkenlerin etki faktörlerinin belirlenmesi aşamasına geçilir. Karar değişkeni/kriterin belirlenen amaç için, büyük olması daha iyi ise, fayda yönlü yani maksimizasyon, küçük olması daha iyi ise, maliyet yönlü yani minimize olarak nitelendirilir. Başka bir ifadeyle, karar vericinin belirlemiş olduğu amaç (bu çalışmada: Binanın güçlendirmeye duyulan ihtiyacının kapasitesi) doğrultusunda etkili kriter değerinin küçük olması daha iyi ise, kriter yönü maliyet yönlü (minimize), kriter değerinin büyük olması daha iyi ise, kriter yönü fayda yönlü (maksimize) olarak seçilir. Kriter yönlerinin seçimine dair örnek uygulama Tablo 1'de verilmiştir.

Güçlendirme ve onarım gerektiren bahse konu binaların önceliklendirilmesinde kullanılacak kriterler beton basınç dayanımı (K-1), zemin yatak katsayısı (K-2), bina kat sayısı (K-3), bina taban alanı (K-4), toplam bina alanı (K-5) ile güçlendirme ve onarım maliyeti (K-6) olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Çalışmada, İHB için 9 adet alternatif bina A-1, A-2, ..., A-9 ve TEK için 7 adet alternatif bina B-1, B-2, ..., B-7 biçiminde kodlanarak, çalışmaya konu bina alternatifleri tanımlanmıştır. Yönteminin uygulanması sonucunda depreme karşı güçlendirme gereksinimi olan alternatif binalar arasında önceliklendirme ve sıralama işlemi yapılmış olacaktır.

Güçlendirilme kararı verilen binalar içerisinde yapılacak bir seçme işlemi için, beton basınç dayanımı en düşük olan, toplam alanı en yüksek olan, maliyeti en düşük olan vb. şeklinde etki yönlerinin seçimi amaca uygun olacaktır. Çalışmaya konu binalar için belirlenen kriter yönleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kriter Yönlerinin Belirlenmesine Dair Örnek Uygulama

Güçlendirilecek iki bina (Bina-1 ve Bina-2) arasından öncelikli olarak hangisinin güçlendirileceğinin seçilmesi problemi için;		Kriter Yönü
Bina-1 ve Bina-2'den "Beton Basınç Dayanımı" na bakarak öncelikle hangisini güçlendirmek isterdiniz?	Basınç Dayanımı "KÜÇÜK" olanı.	Maliyet (minimizasyon).
Bina-1 ve Bina-2'den "Zemin Yatak Katsayısı" na bakarak öncelikle hangisini güçlendirmek isterdiniz?	Zemin Yatak Katsayısı "KÜÇÜK" olanı.	Maliyet (minimizasyon).
Bina-1 ve Bina-2'den "Kat Sayısına" bakarak öncelikle hangisini güçlendirmek isterdiniz?	Kat Sayısı "BÜYÜK" olanı.	Fayda (maksimizasyon).
Bina-1 ve Bina-2'den "Bina Taban Alanı" na bakarak öncelikle hangisini güçlendirmek isterdiniz?	Bina Taban Alanı "BÜYÜK" olanı.	Fayda (maksimizasyon).
Bina-1 ve Bina-2'den "Toplam İnşaat Alanı" na bakarak öncelikle hangisini güçlendirmek isterdiniz?	Toplam İnşaat Alanı "BÜYÜK" olanı.	Fayda (maksimizasyon).
Bina-1 ve Bina-2'den "Güçlendirme Maliyeti" ne bakarak öncelikle hangisini güçlendirmek isterdiniz?	Güçlendirme Maliyeti "KÜÇÜK" olanı.	Maliyet (minimizasyon).

Tablo 2. Seçim ve Önceliklendirmede Etkili Kriterler ve Etki Yönleri

Kriter Kodu	Kriterin Adı	Kriterin Yönü
K-1	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Maliyet (min.)
K-2	Zemin Yatak Katsayısı (kN/m ³)	Maliyet (min.)
K-3	Kat Sayısı (adet)	Fayda (max.)
K-4	Bina Taban Alanı (m ²)	Fayda (max.)
K-5	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Fayda (max.)
K-6	Güçlendirme Maliyeti (TL)	Maliyet (min.)

Çalışmada idari hizmet binaları (İHB) ve temel eğitim kurumları (TEK) için önerilen yöntem ayrı ayrı uygulanacak olup, elde edilecek sonuçlar son bölümde okuyucuya sunulacaktır.

Yöntem ilk olarak İHB sınıfına dahil güçlendirme gereksinimi olan 9 adet, TEK sınıfına dahil 7 adet binaya uygulanmıştır. Her binaya ait kriterin sayısal değer atamaları yapılarak CRITIC yönteminde ilk aşama olan karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 3) ve (Tablo 4).

Tablo 3. İdari Hizmet Binaları (İHB) İçin Oluşturulan Karar Matrisi

KRİTERLER	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
Kriter Yönleri	Maliyet (min.)	Maliyet (min.)	Fayda (max.)	Fayda (max.)	Fayda (max.)	Maliyet (min.)
Alternatifler						
A-1	9	30000	6	336	2016	181.867,43
A-2	11	24500	3	718	2098	209.998,00
A-3	20	21650	8	650	5200	3.538.902,00
A-4	6	40000	5	273	1147	394.181,56
A-5	12	30000	1	265	265	73.295,00
A-6	20	23500	4	200	800	129.998,69
A-7	10	29430	4	230	690	255.804,63
A-8	18	7848	4	342	1368	544.799,75
A-9	6	14715	5	150	757	411.630,40

Tablo 4. Temel Eğitim Kurumu (TEK) Binaları İçin Oluşturulan Karar Matrisi

KRİTERLER	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
Kriter Yönleri	Maliyet (min.)	Maliyet (min.)	Fayda (max.)	Fayda (max.)	Fayda (max.)	Maliyet (min.)
Alternatifler						
B-1	10	14850	5	657	3336	874.019,00
B-2	7	15122	4	486	1944	485.168,55
B-3	8,5	15107	4	1675	5325	964.591,30
B-4	7	21000	3	322	966	249.781,02
B-5	12	12753	4	473	1880	261.236,64
B-6	5,3	19620	4	911	3644	923.308,46
B-7	11,8	12949	4	915	2900	843.461,64

Uygulamaya konu idari hizmet binası (İHB) ve temel eğitim kurumu (TEK) için sırasıyla 9 adet ve 7 adet, farklı özelliklere sahip bina için, 6 adet nicel kriterlere dayalı olarak elde edilmiş 9×6 ve 7×6'lık karar matrisinde bulunan karar değişkenlerinin/kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olma durumlarına göre Eşitlik (2.2) ve (2.3)'ten yararlanılarak normalize edilmiştir. Hesaplamaya ilişkin örnek teşkil etmesi açısından İHB için K-5/A-1 ve TEK için K-6/B-1 kriterlerine ait normalizasyon değerlerinin belirlenmesi Eşitlik (2.11) ve Eşitlik (2.12)'de verilmiştir.

$$X_{ij}(\text{fayda}) = \frac{2016-265}{5200-265} = 0,355 \quad (2.11)$$

$$X_{ij}(\text{maliyet}) = \frac{964.591,30-874.019,00}{964.591,30-249.781,02} = 0,127 \quad (2.12)$$

İHB ve TEK binaları için hesaplanan normalize karar matrisi Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. İHB Normalize Karar Matrisi

KRİTERLER →						
ALTERNATİFLER ↓	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
A-1	0.786	0.311	0.714	0.327	0.355	0.969
A-2	0.643	0.482	0.286	1.000	0.371	0.961
A-3	0.000	0.571	1.000	0.880	1.000	0.000
A-4	1.000	0.000	0.571	0.217	0.179	0.907
A-5	0.571	0.311	0.000	0.202	0.000	1.000
A-6	0.000	0.513	0.429	0.088	0.108	0.984
A-7	0.729	0.329	0.286	0.141	0.086	0.947
A-8	0.143	1.000	0.429	0.338	0.224	0.864
A-9	1.000	0.786	0.571	0.000	0.100	0.902

Tablo 6. TEK Normalize Karar Matrisi

KRİTERLER →						
ALTERNATİFLER ↓	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
B-1	0.299	0.746	1.000	0.248	0.544	0.127
B-2	0.746	0.713	0.500	0.121	0.224	0.671
B-3	0.522	0.715	0.500	1.000	1.000	0.000
B-4	0.746	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
B-5	0.000	1.000	0.500	0.112	0.210	0.984
B-6	1.000	0.167	0.500	0.435	0.614	0.058
B-7	0.030	0.976	0.500	0.438	0.444	0.169

Normalize karar matrisinin hesaplanması sonrasında kriterler arasındaki ilişki derecelerinin belirlenmesi amacıyla Eşitlik (2.4) yardımıyla kriterler arası korelasyon matrisi hesaplanmıştır (Tablo 7) ve (Tablo 8).

Tablo 7. Korelasyon Katsayıları (TEK)

	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
K-1	1.00	-0.83	-0.34	0.01	0.04	-0.09
K-2	-0.83	1.00	0.56	0.19	0.20	-0.12
K-3	-0.34	0.56	1.00	0.21	0.48	-0.57
K-4	0.01	0.19	0.21	1.00	0.94	-0.77
K-5	0.04	0.20	0.48	0.94	1.00	-0.88
K-6	-0.09	-0.12	-0.57	-0.77	-0.88	1.00

Tablo 8. Korelasyon Katsayıları (İHB)

	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
K-1	1.00	-0.46	-0.18	-0.31	-0.44	0.49
K-2	-0.46	1.00	0.11	0.06	0.12	-0.18
K-3	-0.18	0.11	1.00	0.28	0.77	-0.72
K-4	-0.31	0.06	0.28	1.00	0.77	-0.55
K-5	-0.44	0.12	0.77	0.77	1.00	-0.91
K-6	0.49	-0.18	-0.72	-0.55	-0.91	1.00

4. Bulgular

Karar değişkenleri olarak tanımlanan kriterlere ait standart sapma değerleri kullanılarak CRITIC yöntemine dair işlem adımlarında belirtilen Eşitlik (2.5) yardımıyla her kritere ait bilgi miktarını ifade eden C_j değerinin hesaplanması aşaması gerçekleştirilmiştir. İHB ve TEK binaları için hesaplanan C_j değerleri Tablo 9 ve Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 9. C_j Değerleri (İHB)

	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
C_j	2.351	1.563	1.353	1.659	1.408	2.179

Tablo 10. C_j Değerleri (TEK)

	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
C_j	2.376	1.932	1.345	1.484	1.386	3.287

CRITIC yöntemindeki son aşama olan kriterlerin önem ağırlıklarının (w_j) belirlenmesi Eşitlik (2.8) kullanılarak elde edilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. CRITIC Yöntemi ile Hesaplanan Kriter Önem Ağırlıkları

İdari Hizmet Binaları (İHB)						Temel Eğitim Kurumu Binaları (TEK)							
K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6		
w_j	0.224	0.149	0.129	0.158	0.134	0.207	w_j	0.201	0.164	0.114	0.126	0.117	0.278

Depreme karşı güçlendirme gereksinimi olan kamu binaları için yapılacak seçim ve bu seçimde etkili karar değişkenleri/kriterlerin ağırlıklandırılması CRITIC yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. İdari hizmet binaları (İHB) için en yüksek öneme sahip kriterler 0.224 değeri ile “beton basınç dayanımı” ve 0.207 değeri ile “onarım ve güçlendirme maliyeti” çıkmıştır. İkinci veri seti olan temel eğitim kurumları (TEK) için uygulanan yöntem sonuçlarından 0,278 değeri ile “onarım ve güçlendirme maliyeti” ve 0.201 değeri ile “beton basınç dayanımı” en yüksek öneme sahip kriterler olarak belirlenmiştir.

Objektif ağırlıklandırma yöntemleri arasında yer alan CRITIC yöntemi uygulaması sonuçlarında elde edilen kriter önem ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, çalışmaya konu birden fazla binanın (alternatiflerin) fayda değerlerinin hesaplanması ve sıralanması işlemi MAUT yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bahse konu yöntemlerin uygulanması ve sonuçların hesaplanmasında Microsoft Office Excel 2021 Standard paket program kullanılmıştır.

MAUT yöntemi aşamalarından olan karar matrisinin oluşturulması ve normalizasyon işlemleri CRITIC yönteminde de belirtilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmış, sonrasında her bir alternatifin fayda değerinin belirlenmesi adımına geçilmiştir. Güçlendirme gereksinimi bulunan her bir alternatif bina için fayda fonksiyonu formülünden Eşitlik (2.10) yardımıyla toplam fayda değeri hesaplanmış ve alternatifler sıralanmıştır. Elde edilen değerler Tablo12 ve Tablo 13’te sunulmuştur.

Tablo 12. Toplam Fayda Değeri ve Sıralama (İHB)

KRİTERLER →	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	Toplam Fayda	Sıralama
ALTERNATİFLER ↓	(0.224)	(0.149)	(0.129)	(0.158)	(0.134)	(0.207)		
A-1	0.176	0.046	0.092	0.052	0.048	0.201	0.613	3
A-2	0.144	0.072	0.037	0.158	0.050	0.199	0.659	1
A-3	0.000	0.085	0.129	0.139	0.134	0.000	0.486	6
A-4	0.224	0.000	0.074	0.034	0.024	0.188	0.543	4
A-5	0.128	0.046	0.000	0.032	0.000	0.207	0.413	8
A-6	0.000	0.076	0.055	0.014	0.015	0.204	0.364	9
A-7	0.163	0.049	0.037	0.022	0.012	0.196	0.479	7
A-8	0.032	0.149	0.055	0.053	0.030	0.179	0.498	5
A-9	0.224	0.117	0.074	0.000	0.013	0.187	0.614	2

Tablo 13. Toplam Fayda Değeri ve Sıralama (TEK)

“KRİTERLER →	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	Toplam Fayda	Sıralama
ALTERNATİFLER ↓	(0.201)	(0.164)	(0.114)	(0.126)	(0.117)	(0.278)		
B-1	0.060	0.122	0.114	0.031	0.064	0.035	0.426	6
B-2	0.150	0.117	0.057	0.015	0.026	0.187	0.552	1
B-3	0.105	0.117	0.057	0.126	0.117	0.000	0.522	3
B-4	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.278	0.428	4

B-5	0.000	0.164	0.057	0.014	0.025	0.274	0.533	2
B-6	0.201	0.027	0.057	0.055	0.072	0.016	0.427	5
B-7	0.006	0.160	0.057	0.055	0.052	0.047	0.377	7

Elde edilen verilere göre kriter ağırlıklandırması CRITIC yöntemiyle belirlenmiş toplam 6 kriter (K-1, ..., K-6) referans alınarak, MAUT yöntemi yardımıyla alternatifler sıralanmıştır. İki ayrı veri seti (İHB ve TEK) için belirlenmiş alternatif binalar arasından fayda değerleri toplamı en yüksek olandan başlanarak sıralama işlemi gerçekleştirilmiştir. Buna göre araştırmaya konu 9 adet idari hizmet binası (İHB) arasından toplam fayda değeri en yüksek olandan başlanarak A-2, A-9, A-1, A-4, A-8, A-3, A-7, A-5 ve A-6 şeklinde binaların sıralanarak önceliklendirilebileceği, temel eğitim kurumları (TEK) için ise toplam fayda değeri en yüksek olandan başlanarak B-2, B-5, B-3, B-4, B-6, B-1 ve B-7 şeklinde sıralanarak önceliklendirilebileceği görülmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada kullanılan yöntemlerin literatürde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV) dahilinde, farklı alanlarda karar verme, seçim, sıralama ve önceliklendirme problemlerinin çözümünde sıkça kullanıldığı görülmektedir.

Ülkemizin bir deprem ülkesi olduğu gerçeğinden hareketle, bu konuda alınacak önlemlerin yanında kentsel dönüşüm ve bina güçlendirme faaliyetleri gelmektedir. Bu çalışmada literatürde farklı alanlarda uygulanmış ÇKKV yöntemlerinin benzer şekilde güçlendirme uygulaması yapılacak, deprem performansı yetersiz binaların seçim ve sıralama konusunda da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yöntemin uygulanmasında kriterlerin ağırlıklandırılması CRITIC, önceliklendirmeye konu binaların seçim ve sıralaması ise çok nitelikli fayda teorisi (MAUT) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. İdari hizmet binaları (İHB) ve temel eğitim kurumları (TEK) binaları için ayrı ayrı hazırlanan veri seti değerlerinin her ikisi için de, en önemli kriterlerin (w_j) beton basınç dayanımı (K-1) ve güçlendirme maliyeti (K-6) olduğu belirlenmiştir. MAUT yöntemiyle ele alınan veriler yardımıyla, güçlendirme gereksinimi bulunan binaların fayda değerlerine göre sıralama işlemi yapılmış olup, idari hizmet binaları (İHB) için A-1 kod nolu binanın, temel eğitim kurumları (TEK) için ise B-2 kod nolu binanın öncelikli olarak onarım ve güçlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kamu kaynaklarının etkili ve verimli kullanımı açısından, ekonomik kaynaklarının sınırlı olması, buna rağmen güçlendirme gereksinim olan bina sayısının fazla olması bu konuda verilecek kararın önemini arttırmaktadır. Yöntemin uygulanması, bu konuda karar verici konumundaki kamu idarecileri ve bina yöneticileri tarafından alınacak kararların daha objektif ve isabetli olmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

İnşaat mühendisliği ve yapı yönetimi açısından değerlendirildiğinde, yöntemin nesnel verilere dayalı olarak uygulanabilmesi, elde edilen sonuçların açık ve anlaşılır olması önemli bir kazanım olarak görülmektedir. Gelecek çalışmalarda farklı örneklemeler üzerinden kriter sayısının artırılmasıyla sıralamada oluşacak değişikliklerin belirlenmesi, ayrıca kriter ağırlıklandırma ve seçimine yönelik literatürde kullanılan diğer yöntemlerin karşılaştırmalı olarak uygulanması, sonuçların kıyaslamalı olarak değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

[1] DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.

- [2] TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- [3] Güner, B. (2020), Türkiye'deki Deprem Hasarlarına Dönemsel Bir Yaklaşım; 3 Dönem 3 Deprem. *Doğu Coğrafya Dergisi* 25(43), 139-152.
- [4] Cansız, S. (2022). Türkiye'de Kullanılan Deprem Yönetmeliklerinin Özellikleri ve Eşdeğer Yatay Deprem Yüğü Hesabının Değişimi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(1), 58-71.
- [5] Keleşoğlu, Ö., Çakar, H., ve Polat, A. (2017). Determination of the Performance of an Existing Reinforced Concrete Structure According to the 2007 Earthquake Regulations and Strengthening Proposal. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2), 58-67.
- [6] Özer, M. A. (2009). Performans Yönetimi Uygulamalarında Performansın Ölçümü ve Değerlendirilmesi. *Sayıştay Dergisi*, (73), 3-29.
- [7] Aydoğan, M, (2000), Betonarme Binalarda Onarım ve Güçlendirme Sistemleri ve Tasarımı, TMMOB İnşaat Müh. Odası, İstanbul.
- [8] Aköz, A., H., 2008. Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Ören, P. (2010). Öngermeli veya Ardçekmeli Prefabrik Betonarme Binaların Güçlendirilmesi: Bir Durum Çalışması, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [10] Purkis, S. (2016). İstanbul'da inşaat odaklı birikimin durdurulamayan yükselişi: konut fazlasına karşın artan konut açığı. *Mülkiye Dergisi*, 40(4), 91-112.
- [11] Yılmaz, Z., Çankaya, F., ve Karakaya, A. (2017). Yıkım ve yeniden yapım maliyetlerini etkileyen faktörlerin bina maliyet oranı açısından önemi. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 395-412.
- [12] Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı (UDSEP 2012-2023) Başbakanlık, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı,
- [13] Vona, M., Manganelli, B., Tataranna, S. ve Anelli, A. (2018). An Optimized Procedure to Estimate the Economic Seismic Losses of Existing Reinforced Concrete Buildings due to Seismic Damage. *Buildings*, 8, 144.
- [14] Zawacki B, S., Jafarzadeh , R. ve Walsh K, Q. (2020), Ingham J., Proposed Decision-Making Framework for the Risk Management of Publicly Owned Earthquake Prone Buildings, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 34-5.
- [15] Çakir, S. ve Perçin, S. (2013). Çok kriterli karar verme teknikleriyle lojistik firmalarında performans ölçümü/Performance measurement of logistics firms with multi-criteria decision making methods. *Ege Akademik Bakis*, 13(4), 449.
- [16] Konuşkan, Ö., Mühendisliği, A. E., ve Uygun, Ö. (2014). Çok Nitelikli Karar Verme (Maut) Yöntemi ve bir Uygulaması. Ömer Halisdemir Üniversitesi: Niğde, Turkey.
- [17] Engin, O., Sarucan, A. ve Baysal, M. E. (2018). Türkiye için çok kriterli karar verme yöntemleri ile yenilenebilir enerji alternatiflerinin analizi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 5(23), 1223-1231.

- [18] Ulutaş, A., Karaköy, Ç., Arıç, K. H. ve Cengiz, E. (2018). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile lojistik merkezi yeri seçimi. *İktisadi Yenilik Dergisi*, 5(2), 45-53.
- [19] American Society for Testing and Materials (ASTM), Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems ASTM (E917-13), USA, 2013.
- [20] Gemici, Ş. A. (2008). Gayrimenkul değerlemesi, maliyet yaklaşımına dayalı bina değer tahmin yöntemi ve İstanbul ili için bir uygulama (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [21] Aladağ, Z. (2004). Karar Teorisi. Genişletilmiş 2.b. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Yayınları.
- [22] Karakaya, K. (2003). İstanbul Boğazından Gemilerin Emniyetli Geçişinin Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Analizi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23] Başarır, B., Diri, B. Ş. Bina Cephelerinin Yenilenmesinde Kullanılan Stratejiler. 7. Ulusal Çatı& Cephe Sempozyumu 3– 4 Nisan 2014 Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş - İstanbul.
- [24] Yücel, Y. B. (2018). Çok kriterli karar verme teknikleri ile tekstil sektöründe en uygun tedarikçi seçimi ve bir yazılım uygulaması (Master's thesis, Bartın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- [25] Akandere, G. (2021). Yeşil Sertifikalı Limanların Performansının Entegre ENTROPİ-TOPSIS Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. Hacettepe University Journal of Economics & Administrative Sciences/*Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 39(4).
- [26] Caner, Ç. İ. L., Azkeskin, S. A. ve Aladağ, Z. (2022). Bir Otomotiv İşletmesinde Vikor Yöntemi ile Plastik Enjeksiyon Makinesi Seçimi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2), 507-518.
- [27] Diakoulaki, D., Mavrotas, G. ve Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- [28] Küçükönder, H. ve Demirarslan, P. Ç. (2017). PROMETHEE ve MAUT Yöntemlerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma: Karadeniz Bölgesi Örneği. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(16), 203 – 228.
- [29] Ishizaka, A. ve Nemery, P. (2013), Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software, John Wiley & Sons Ltd. Published, Chichester/UK.