

Betonarme Yapılarda Deprem Sonrası Yapısal Hasarların Tahmini İçin Kullanılan Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinin Etkinliklerinin Belirlenmesi

Nurbanu DEMİRBAŞ^{1*}, Hümeysra ŞAHİN², Cengizhan DURUCAN³

^{1,3} İnşaat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹n.demirbas@firat.edu.tr, ²hsahin@firat.edu.tr, ³cdurucan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01/02/2021;

Kabul/Accepted: 03/04/2021)

Öz: Bu çalışmanın amacı, hızlı değerlendirme yöntemlerinin betonarme binalarda meydana gelen deprem hasarlarını tahmin etmedeki etkinliğinin belirlenmesidir. Bu amaçla çalışmada, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında yapılan hasar tespit çalışmalarında ağır hasarlı olarak belirlenen 130 adet betonarme binanın risk dağılımı, hızlı değerlendirme yöntemleri (Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslarda sunulan basitleştirmiş yöntem ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi) kullanılarak değerlendirilmiştir. Hızlı değerlendirme yöntemlerinden elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmış ve bu yöntemlerin deprem sonrası karşılaşılan mevcut hasar durumuyla uyumu incelenmiştir. Yapılan kıyaslamalarla çalışma sonucunda; (i) Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası ağır hasar derecesine sahip binaların, Kanada Sismik Tarama Yöntemine göre orta ve yüksek öncelikli bina sınıfında bulunduğu, (ii) Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslarda sunulan basitleştirmiş yöntemlere göre ise oldukça geniş bir puan aralığında dağılım gösterdiği, (iii) her iki yöntemin mevcut hasar durumuyla uyumlu sonuçlar verdiği, (iv) hasar tespit çalışmaları sonucunda binalara verilen hasar derecesi ile hızlı değerlendirme yöntemlerinden elde edilen risk dağılımları ve deprem sonrası mevcut hasar durumu arasında tam bir uyumun olmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Elazığ-Sivrice Depremi, RBTEİE yöntemi, Kanada sismik tarama yöntemi, hasar tespit çalışmaları, yapısal düzensizlikler

Determining the Effectiveness of Rapid Evaluation Methods Used for Estimate of Post-Earthquake Structural Damage in Reinforced Concrete Structures

Abstract: The aim of this study is to determine the effectiveness of rapid evaluation methods in estimate earthquake damages in reinforced concrete buildings. In this study for this purpose, risk distribution of 130 reinforced concrete buildings with severe damage rating in the damage assessment studies carried out post- Elazig-Sivrice (2020) earthquake was evaluated using rapid assessment methods (Simplified method presented in Principles Regarding Definition of Risky Buildings and Canada Seismic Screening method). The results obtained from the rapid evaluation methods were compared with each other and the compatibility of these methods with the existing damage situation post-earthquake was examined. Results of the study showed that; (i) buildings with severe damage post-Elazig-Sivrice (2020) earthquake are classified as medium and high priority buildings according to the Canada Seismic Screening method, (ii) according to the simplified method presented in principles regarding definition of risky buildings, the scores of the building vary in a very wide range, (iii) both methods have results compatible with the current damage situation, (iv) the current damage status of the buildings and scores obtained from the rapid evaluation methods are not fully consistent with the damages status of the buildings defined with the post earthquake studies.

Key words: Elazig-Sivrice Eartquake, RBTEIE method, Canada seismic screening method, damage assessment studies, structural irregularities

1.Giriş

Mevcut bina stokunun tasarım yönetmeliklerindeki koşullara uymaması, tasarım ve yapımdan kaynaklı kusurların var olması binaların deprem karşısındaki performansını düşürmekte, yapısal veya yapısal olmayan hasarlara neden olmaktadır [1-2]. Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında Fırat Yapısal Hasarları İnceleme Grubu tarafından Elazığ il merkezinde yapılan saha incelemelerinde, özellikle belirli bir dönem aralığında (1975-

* Sorumlu yazar: n.demirbas@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ ORCID 0000-0003-4439-9706, ² ORCID 0000-0001-9563-8450,

³ ORCID 0000-0002-1933-8218

1998 yılları arasında) inşa edilmiş binalarda hasarların yoğun olduğu ve bu hasarların oluşumunda tasarım ve yapımdan kaynaklanan kusurların etkili olduğu görülmüştür [3].

Geçmiş depremlerden elde edilen tecrübeler, olası bir deprem sonrasında, can ve mal kayıplarının önlenmesi bakımından riskli bina stokunun hızlı bir şekilde belirlenmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu noktada deprem riski yüksek bölgelerde, risk tespitinde binada var olan kusurları (yumuşak kat, zayıf kat, kısa kolon, ağır çıkma, çarpışma etkisi, plan düzensizlikleri vb.) dikkate alan hızlı değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Binaların risk tespitinde ilk adım olarak kabul edilen bu yöntemler, sokak taramalarıyla binanın deprem performansı üzerinde etkili olan kusurlarının (yöntemlerde değerlendirme parametreleri olarak tanımlanan) gözlemsel olarak belirlenmesi, veri formlarına işlenmesi ve puanlanması şeklinde bir değerlendirme sunmaktadır.

Standartlarda ve literatürde sunulan birçok hızlı değerlendirme yönteminden söz edilirken, günümüzde daha hızlı ve daha güvenilir değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla bu konu üzerine çalışmalar devam etmektedir. FEMA-154 Hızlı Görsel Tarama (Rapid Visual Screening - RVS) Yöntemi [4], Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5], Japon Sismik İndeks Yöntemi [6], Hindistan Hızlı Görsel Tarama Yöntemi [7], Yeni Zelanda Standardı [8], Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esasların (RBTEİE) EK-A bölümünde açıklanan “Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımını Belirlemek için Kullanılabilecek Basitleştirilmiş Yöntemler” adı altında sunulan hızlı değerlendirme yöntemi [9], Sucuoğlu Hızlı Değerlendirme Yöntemi [10] ve P25 Yöntemi [11] başta olmak üzere standartlarda ve literatürde önerilen birçok yöntem sıralanabilir. Genel olarak yöntemlerin amaç ve işlem adımları benzerdir. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde; binanın taşıyıcı sistem tipi ve bulunduğu bölgenin deprem riskine bağlı olarak binalara taban puanı ile mevcut kusurlara bağlı olarak olumsuzluk puanları atanmakta ve genellikle taban puanından olumsuzluk puanları çıkarılarak performans puanı hesaplanmaktadır. Değerlendirme sonucunda hesaplanan performans puanı ile binalar arasında risk öncelik sıralaması yapılmakta veya belirlenen bir sınır değerle karşılaştırılarak binanın risk durumuna (riskli veya risksiz) karar verilmektedir.

Ülkemizde riskli binaların tespiti, 2012 yılında yürürlüğe giren 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun uyarınca yapılmaktadır. 6306 sayılı kanunda ifade edilen RBTEİE Yönteminde diğer bazı hızlı değerlendirme yöntemlerden farklı olarak değerlendirmede kat sayısı dikkate alınmakta ve yöntem en fazla 7 katlı binalara uygulanabilmektedir [9]. Ayrıca diğer hızlı değerlendirme yöntemlerinden farklı olarak RBTEİE [9] ile yapılan değerlendirme sonucunda, binanın risk sınıflandırılmasının yapılabileceği herhangi bir sınır değerde bulunmamakta, belirli alanlarda sadece risk bakımından öncelikli binaların bölgesel dağılımı belirlenebilmektedir. Diğer hızlı değerlendirme yöntemleri incelendiğinde ise riskli binaların tespitinde performans puanlarının kıyaslandığı sınır değerler veya değer aralıkları bulunmaktadır. Örneğin, RVS [4] yönteminde hesaplanan performans puanı sınır değer (cut-off=2) ile kıyaslanarak, performans puanının sınır değerden küçük olması halinde bina riskli bina sınıfına alınmaktadır. Kanada Sismik Tarama Yöntemiyle [5] yapılan değerlendirme sonucunda ise binalar belirli performans puan aralıklarına bağlı olarak dört farklı öncelik sınıfında (düşük, orta, yüksek öncelikli ve çok tehlikeli binalar) değerlendirilmektedir. Bina, performans puanının 10 sınır değerinden düşük olması halinde düşük öncelikli, 10 ile 20 sınır değerleri aralığında bulunması halinde orta öncelikli, 20 ile 30 sınır değerleri aralığında bulunması halinde yüksek öncelikli, 30 sınır değerinin aşılması halinde ise çok tehlikeli bina sınıfında değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, olası bir deprem sonrası binanın risk durumunu belirleyen hızlı değerlendirme yöntemlerinin, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası betonarme binalarda meydana gelen deprem hasarlarını tahmin etmedeki etkinliği incelenmektedir. Bu amaçla, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası yapılan hasar tespit çalışmaları neticesinde ağır hasarlı olduğu belirlenen 130 adet betonarme bina, çalışma kapsamında hızlı değerlendirme yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Binaların değerlendirilmesinde, öncelikle ülkemizde riskli binaların tespiti için geliştirilmiş basitleştirilmiş yöntem (RBTEİE [9]) kullanılmış ve binaların performans puanlarının dağılımları belirlenmiştir. Ancak RBTEİE [9] ile yapılan değerlendirme sonucunda binanın risk durumunu belirleyen sınır bir değer bulunmadığı için binalar riskli ve risksiz olarak değerlendirilememiştir. Bu nedenle Elazığ-Sivrice (2020) depremi sonrası ağır hasar derecesine sahip binaların performans puanlarının risk sınıflandırılmasında kullanılabilmesi amacıyla RBTEİE [9]'ye ek olarak Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak da değerlendirme yapılmıştır. Böylelikle deprem sonrası aynı hasar derecesine sahip binaların RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yönteminden [5] elde edilen risk değerlendirme sonuçları kıyaslanmış, hızlı değerlendirme yöntemlerinin deprem sonrası hasar durumuyla uyumu incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle hızlı değerlendirme yöntemleri ve bu yöntemlerde dikkate alınan parametreler hakkında özet bilgi verilmiştir. Sonrasında ise çalışma kapsamında kullanılan hızlı değerlendirme yöntemlerinin (RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5]) hesap yöntemleri saha uygulamaları ve veri çalışması başlığı altında özetlenmiştir. Depremden sonra ağır hasar aldığı belirlenen 130 adet betonarme binanın, hızlı değerlendirme yöntemi

kullanılarak elde edilen performans puanlarının dağılımı bulgular ve değerlendirme başlığı altında verilmiştir. Ayrıca seçilen üç bina için hızlı değerlendirme, performans puanı ve performans puanının belirlenmesinde etkili olan parametreler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. En son olarak çalışmada dikkate alınan hızlı değerlendirme yöntemlerinin, mevcut hasarı tahmin etmedeki etkinliği sonuç ve öneriler başlığında verilmiştir.

2. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde kullanılan değerlendirme parametreleri

Hızlı değerlendirme, binanın yapısal özelliklerinin bina dışından gözlemsel olarak belirlenmesi ve bu yapısal özellikler üzerinden puanlama esasına dayanan değerlendirme şeklidir. Riskli bina tespitinde özellikle eski bina stokunun bulunduğu ve daha yüksek deprem tehlikesiyle karşı karşıya olan bölgelerde başlangıç için yeterli ve etkili bir değerlendirme de sunarlar [4]. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde değerlendirmede binanın yapısal özellikleri (değerlendirme parametreleri) dikkate alınırken, yöntemler arasında değerlendirme parametreleri bakımından farklılıklar da bulunmaktadır. Bu nedenle yöntemlerde kullanılan değerlendirme parametreleri yöntemler arasında kullanılma oranları ve puanlamaya katılma biçimleri bakımından kıyaslanmış, hızlı değerlendirme yöntemlerinin anlaşılabilmesi için aşağıda kısaca açıklanmıştır. Ayrıca, konunun daha iyi anlaşılabilmesi için dünyada ve ülkemizde sık kullanılan hızlı değerlendirme yöntemleri ve bu yöntemlerin risk değerlendirmesinde dikkate aldıkları parametreler Tablo 1’de özetlenmiştir.

Hızlı değerlendirme yöntemlerinde; bina kat sayısı, taşıyıcı sistem tipi, yumuşak kat/zayıf kat varlığı, ağır çıkma, görünen bina kalitesi/yapının fiziksel durumu ve bozulmalar, düşey ve plandaki düzensizlikler, kısa kolon etkisi, bitişik nizam durumu/çarpışma etkisi, deprem tehlike bölgesi ve zemin sınıfı dikkate alınan ortak değerlendirme parametreleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kat sayısı, binanın deprem davranışı üzerinde etkili bir parametre olması nedeniyle birçok hızlı değerlendirme yönteminde (Tablo 1 de sıralanan yöntemlerin %50’si) kullanılmaktadır. 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra yapılan saha incelemelerinde, Türkiye’deki binalar için kat sayısı ile yapısal hasarın şiddeti arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir [10]. Özellikle bu depremlere ait hasarlı bina verileri kullanılarak geliştirilen RBTEİE [9] ve Sucuoğlu Hızlı Değerlendirme Yönteminde [10] kat sayısına bağlı puanlama sistemi benimsenmiştir.

Tablo 1’de sıralanan hızlı değerlendirme yöntemlerinin tamamında, deprem tehlike bölgeleri ve zemin tipi değerlendirme parametresi olarak kullanılmaktadır. Bina stokunun değerlendirilmesinin, bölgeye uygun deprem kayıtları göz önünde tutularak yapılması oldukça önemlidir. Geçmiş depremlerde de, hasar seviyelerinin depremin karakteristik özellikleri ile yakın bir ilişki içerisinde olduğu kanıtlanmıştır [12,13]. Bu nedenle yöntemlerde depremin karakteristik özelliklerine bağlı deprem tehlike bölgeleri tanımlanmış ve değerlendirmede kullanılmıştır.

Binanın deprem performansını belirleyen ve önemli bir değerlendirme parametresi olarak görülen taşıyıcı sistem tipi (betonarme çerçeve sistem, betonarme perdeli sistem, çelik çerçeve sistem, yığma binalar vb.) Tablo 1’de sıralanan hızlı değerlendirme yöntemlerinin yaklaşık %60’ında dikkate alınmaktadır. Tablo 1’de sıralanan bazı yöntemlerde taşıyıcı sistem tipinin dikkate alınmaması ise bu yöntemlerin belirli taşıyıcı sistemlere özel olarak geliştirilmiş olmalarından kaynaklanmaktadır.

Yumuşak/zayıf kat düzensizliği, kat rijitliğinde ve dayanımında ani değişimlere sebep olmakta ve ana cadde üzerindeki binalarda zemin katın ticari, otopark vb. amaçlarla kullanılma durumlarında karşımıza çıkmaktadır. Yönetmeliklerde bu tip düzenlemelerden kaçınılması gerektiği belirtilirken, Tablo 1’de verilen hızlı değerlendirme yöntemlerinin tamamında yumuşak/zayıf katın varlığı puanlama sisteminde dikkate alınmaktadır.

Kısa kolon düzensizliği ile kolonun serbest boyunun, bulunduğu kattaki diğer kolonların boylarından daha az olması durumunda karşılaşılmaktadır. Gevrek bir güç tükenmesine neden olan kesme kırılmasına maruz kalarak binanın deprem performansı düşüren kısa kolon, hızlı değerlendirme yöntemlerinde de dikkate alınmaktadır [14]. Tablo 1’de sıralanan hızlı değerlendirme yöntemlerinin %75’inde puanlama sisteminde kullanılmaktadır.

Düşey düzensizlikler (düşey taşıyıcı elemanların süreksizliği, geri çekme) ve plan düzensizlikleri (burulma, taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması durumu, planda çıkıntılar bulunması ve döşeme süreksizlikleri) diğer değerlendirme parametreleri gibi bina dışından kolayca gözlemsel olarak belirlenmekte ve Tablo 1’de sıralanan hızlı değerlendirme yöntemlerinin %88’inde kullanılmaktadır.

Değerlendirme parametreleri içerisinde sıklıkla karşılaştığımız ağır çıkma durumu, bazı hızlı değerlendirme yöntemlerinde (Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] ve Yeni Zelanda Standardı [8]) puanlamada düşey düzensizlik parametresi altında dikkate alınmaktadır. Tablo 1’de sıralanan diğer yöntemlerde ağır çıkma durumu puanlama sisteminde doğrudan kullanılırken, özellikle P25 yönteminde [11] ağır çıkmaların cephelerde bulunma oranları da (tek cephe, iki cephe gibi) dikkate alınmaktadır.

Bitişik binaların birbirlerine göre konumları ve binalar arasındaki boşluk miktarının minimum derz boşluğu değerinden küçük olması halinde binalarda çarpışma (çekişme etkisi) durumundan söz edilmekte ve bu durum deprem performansını olumsuz etkileyebilmektedir [3]. Bu nedenle hızlı değerlendirme yöntemlerinde değerlendirme parametresi olarak karşımıza çıkmaktadır. RVS yönteminde [4] ise çarpışma etkisinin varlığında puanlama sistemine bakılmaksızın binalar riskli olarak değerlendirilmektedir.

Görünen bina kalitesi ile malzeme, işçilik kalitesi ve binanın bakımına verilen önem anlatılmaktadır [14]. Birçok hızlı değerlendirme yönteminde, yapının kullanım ömrü içerisinde dış etkiler nedeniyle bozulma veya yıpranma durumu (binanın terkedilmiş olması, giriş ve döşeme gibi elemanlarda sehim durumu, giriş ve kolonlardaki çatlak durumu, donatıda korozyon durumu vb.) binanın risk durumu hesaplanırken dikkate alınmaktadır. RVS yönteminde [4] binanın fiziksel durumundaki bozulmalardan dolayı binalar puanlama sistemine bakılmaksızın riskli olarak değerlendirilir. Diğer yöntemlerde binanın fiziksel durumu puanlama sistemine katılırken, RBTEİE [9], Hindistan Hızlı Görsel Tarama Yöntemi [7] ve Sucuoğlu Hızlı Değerlendirme Yönteminde [10] ise binanın fiziksel durumu puanlama sisteminde iyi-orta-kötü dereceleriyle dikkate alınmakta ve gözlemcilerin mühendislik yargılarına dayanarak öznel bir değerlendirme yapılmaktadır.

Değerlendirme parametreleri içerisinde bina inşa yılı, binanın tasarımında kullanılan yönetmeliklerin yürürlüğe girme yılı ile kıyaslanarak puanlama sistemine katılmaktadır. Genellikle diğer ülkelerin standartlarında (RVS Yöntemi [4], Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] ve Yeni Zelanda Standardı [8]) bu parametre değerlendirmeye alınırken, RBTEİE [9], Sucuoğlu Yöntemi [10], P25 Yöntemi [11] ve Hindistan Hızlı Görsel Tarama Yönteminde [7] değerlendirmeye alınmamaktadır. Bu yöntemlerde bina inşa yılının değerlendirmeye alınmaması ülkemizde ve Hindistan'da binaların tasarımında, deprem yönetmeliklerinin tasarım koşullarına uyum konusunun oldukça tartışılır olmasından kaynaklanmaktadır [7].

Tablo 1. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde dikkate alınan değerlendirme parametrelerinin karşılaştırılması

Hızlı Değerlendirme Yöntemi	FEMA-154 RVS yöntemi	Kanada Sismik Tarama Yöntemi	Japon Sismik İndeks Yöntemi	Hindistan Hızlı Görsel Tarama Yöntemi	Yeni Zelanda Standardı	RBTEİE	Sucuoğlu Yöntemi	P25 Yöntemi
Kat sayısı				✓	✓	✓	✓	
Taşıyıcı sistem tipi	✓	✓	✓		✓	✓		
Yumuşak kat/Zayıf kat	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ağır çıkma		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Düşey düzensizlik	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Plan düzensizliği	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Kısa kolon	✓	✓		✓	✓	✓		✓
Çarpışma etkisi	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Bina önem sınıfı		✓			✓			✓
Görünen bina kalitesi	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Bina inşa yılı	✓	✓			✓			
Tabi zemin eğimi	✓					✓		✓
Deprem tehlike bölgesi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zemin sınıfı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3. Saha Uygulamaları ve Veri Çalışması

Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde oluşturulan teknik elemanlar tarafından hasar tespit çalışmaları yapılmıştır. Hasar tespit çalışmalarında depremin binalarda oluşturduğu hasarlar gözlemsel olarak değerlendirilmiş ve binalar hasarsız, az hasarlı, orta hasarlı ve ağır/yıkık olarak sınıflandırılmıştır [15,16]. Yapılan hasar sınıflandırmasında, depremden önce var olan bina hasar ve

kusurları değerlendirme dışında tutularak sadece depremin neden olduğu hasar dikkate alınmıştır. Hasar tespit çalışmalarında, betonarme binaların hasar değerlendirilmesinde dikkate alınan yaklaşım aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Deprem sonrası herhangi bir hasar oluşmayan binalar hasarsız,
- Sıvalarında, duvarlarında ince çatlakları olan veya yer yer sıva dökülmelerinin meydana geldiği binalar az hasarlı,
- Duvarlarında derin çatlaklar olan binalar ile taşıyıcı elemanlarda ince çatlaklar olan binalar orta hasarlı,
- Taşıyıcı elemanlarında geniş ve yaygın kesme kırılmaları/çatlakları ve/veya eğilme kırılmaları olan binalar ise ağır hasarlı olarak değerlendirilmiştir [15,16].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığından alınan sayısal veriler neticesinde, Elazığ il merkezinde tamamlanan hasar tespit çalışmalarında 51792 adet bina gözlemsel olarak incelenmiş, incelenen binaların %45'inin hasarsız, %27,4'ünün az hasarlı, %2,7'sinin orta hasarlı ve %11,8'inin ise ağır hasarlı olduğu belirlenmiştir [3].

Bu çalışma kapsamında, ağır hasarlı binaların içerisinde 1975-1998 yılları arasında inşa edilmiş olan 130 adet betonarme bina hızlı değerlendirme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından incelenen binalar ile ilgili detaylı verilerin paylaşıldığı veri bankasından, 130 adet betonarme bina ile ilgili veriler indirilmiş ve hızlı değerlendirmeye uygun bir şekilde veri formlarına işlenmiştir. Çalışma kapsamında, ağır hasarlı olarak belirlenen 130 adet betonarme binanın, RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Ancak RBTEİE [9]'de sunulan değerlendirmede en fazla 7 katlı betonarme binaların değerlendirilmesine izin verildiği için ancak 123 adet betonarme binanın değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

RBTEİE Yöntemi [9]'ne göre yapılan değerlendirmede binanın deprem davranışı üzerinde etkili yapısal özellikleri (kat sayısı, deprem tehlike bölgesi, yumuşak kat, görünen kalite, ağır çıkma, bitişik nizam durumu, düşey ve plan düzensizlikleri, kısa kolon etkisi) bina dışından belirlenerek veri toplama formlarına işlenir. Yöntem, veri formlarına işlenen bilgiler üzerinden binanın performans puanı hesabına dayanmaktadır. Performans puanı hesabında, öncelikle bina kat sayısı ve deprem tehlike bölgesine bağlı olarak binanın taban puanı (TP) belirlenmektedir (Tablo 2). Daha sonra binanın deprem performansını düşüren yapısal özelliklerine bağlı olumsuzluk parametre değerleri (O_i) Tablo 3'de verilen olumsuzluk parametre puanları (OP_i) ile çarpılarak, taban puanına eklenmektedir. Taşıyıcı sistemin betonarme çerçeve (BAÇ) veya betonarme çerçeve-perde (BAÇP) olmasına bağlı olarak yapısal sistem puanı (YSP) da eklenerek binanın performans puanı elde edilmektedir. Olumsuzluk parametre değerleri, görünen kalite ve bina nizam durumu dışındaki tüm olumsuzluk parametreleri (değerleri) için var (1) veya yok (0), görünen bina kalitesi için iyi (0), orta (1), kötü (2), yapı nizam durumu için ise ayırık (0) veya bitişik olma (1) durumlarına bağlı belirlenmektedir. Yöntemde değerlendirme, kısaca Denklem 1 ile hesaplanan performans puanının (PP) binalar arasında risk öncelik sıralaması amacıyla kullanılmasıyla tamamlanmaktadır.

$$PP = TP + \sum(O_i * OP_i) + YSP \quad (1)$$

Tablo 2. Taban puanı ve yapısal sistem puan tablosu [9].

Toplam kat sayısı	Taban puanı (TP)				Yapısal sistem puanı (YSP)	
	Tehlike Bölgesi				Yapısal sistem	
	I	II	III	IV	BAÇ	BAÇP
1 ve 2	90	120	160	195	0	100
3	80	100	140	170	0	85
4	70	90	130	160	0	75
5	60	80	110	135	0	65
6 ve 7	50	65	90	110	0	55

Kanada Sismik Tarama Yöntemine [5] göre yapılan değerlendirmede, binanın yapısal ve yapısal olmayan özellikleri (değerlendirme parametreleri) bina dışından gözlemsel olarak belirlenmekte, değerlendirme bu parametreler üzerinden yapılmaktadır. Bu yöntemle yapılan değerlendirme sırasında kullanılan parametreler; taşıyıcı sistem tipi, yumuşak kat/zayıf kat, ağır çıkma, plan ve düşey düzensizlik durumları, kısa kolon etkisi,

bina nizam durumu, inşa yılı, bina önem sınıfı, deprem tehlike bölgesi, zemin sınıfı şeklinde sıralanabilir. Değerlendirmede, binanın yapısal bileşenlerinin olası hasar ve kusurlarının dikkate alındığı yapısal indeks (SI) (Denklem 2) ve binanın yapısal olmayan bileşenlerinin hasar görmesi ile ilgili yapısal olmayan indeks (NSI) (Denklem 3) puanları hesaplanmakta ve bu puanlarının toplanmasıyla sismik öncelik indeksi (SPI) elde edilmektedir. Denklem 4 kullanılarak hesaplanan SPI puanına bağlı olarak binanın risk öncelik sınıfına karar verilmektedir.

Tablo 3. Olumsuzluk parametreleri puan tablosu [9].

Toplam kat sayısı	Yumuşak kat	Görünen kalite	Ağır çıkma	Kat seviyesi / Bağımsız bina durumu				Düşeyde düzensizlik	Planda düzensizlik/Burulma	Kısa kolon	Tabii zemin etkisi
				Aynı		Farklı					
				Orta	Kenar	Orta	Kenar				
1 ve 2	-10	-10	-10	0	-10	-5	-15	-5	-5	-5	-3
3	-20	-10	-20	0	-10	-5	-15	-10	-10	-5	-3
4	-30	-15	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3
5	-30	-25	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3
6 ve 7	-30	-30	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3

$$SI = A \times B \times C \times D \times E \quad (2)$$

$$NSI = B \times E \times F \quad (3)$$

$$SPI = SI + NSI \quad (4)$$

Denklem 2’de, A bölgenin deprem tehlikesini, B zemin tipini, C taşıyıcı sistem tipini, D yapısal düzensizlik durumunu (plandaki düzensizlik/burulma, düşey düzensizlikler, kısa kolon, yumuşak kat, bitişik nizam binalarda çarpışma etkisi, binanın görünen kalitesi), E bina kullanım sınıfına bağlı bina önem katsayısını temsil etmektedir. Denklem 3’de bulunan, F simgesi ise deprem sonrası hayati tehlike oluşturacak durumları temsil etmektedir.

Puanlama sisteminde kullanılan A değeri, binanın bulunduğu bölgenin deprem tehlikesi ve inşa yılı dikkate alınarak 1-4 arasında; B değeri zemin tipi ve inşa yılına bağlı olarak 1-2 arasında; C değeri binanın taşıyıcı sistem tipi ve inşa yılına bağlı olarak 1-3.5 arasında değişen değerler almaktadır. D değeri ise binanın yapısal düzensizlik durumlarına 1-2 arasında değişen değerlerin atanması ve bu düzensizlik durumlarına atanan değerlerin çarpılmasıyla elde edilmektedir. Ancak puanlama sisteminde bu değer maksimum 4 ile sınırlanmıştır. E değeri binanın kullanım sınıfına ve inşa yılına bağlı olarak 0.7-3 değerleri arasında değişirken, yapısal olmayan tehlikeleri ifade eden F değerinin ise 1-6 arasında değişen değerler aldığı yöntemde sunulan değerlendirme formu üzerinden görülmektedir [5].

Değerlendirme sonunda, hesaplanan SPI puanı üzerinden binalar belirli performans puan aralıklarına bağlı olarak dört farklı öncelik sınıfına (düşük, orta, yüksek öncelikli ve çok tehlikeli binalar) ayrılmaktadır. SI veya NSI puanlarının 1-2 değerlerine sahip olma durumunda ise binanın yeterli deprem güvenliğine sahip olduğu kabul edilmektedir.

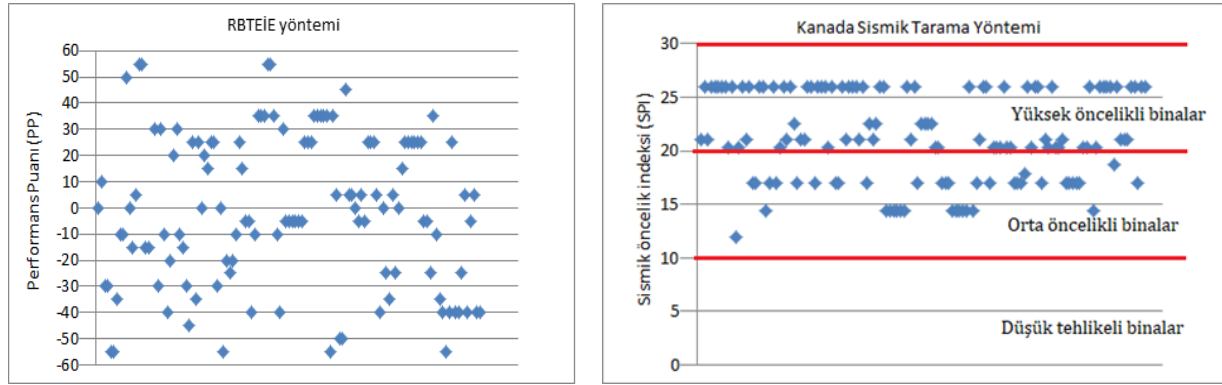
- SPI < 10 olması durumunda düşük öncelikli
- 10 ≤ SPI < 20 olması durumunda orta öncelikli
- 20 ≤ SPI ≤ 30 olması durumunda yüksek öncelikli
- SPI > 30 olması durumunda çok tehlikeli bina sınıfına alınmaktadır.

Bu çalışmada Kanada Sismik Tarama Yöntemi’ne [5] göre değerlendirme yapılırken RBTEİE [9]’den farklı olarak değerlendirmede bina inşa yılı/yönetmelik yılı parametresi değerlendirmeye alındığından, binaların değerlendirilmesinde yönetmelik yılları ile ilgili bazı kabuller yapılmıştır. Kanada Sismik Tarama yönteminde dikkate alınan 1965 Kanada Bina Yönetmeliğine [17] 1975 Türk Deprem Yönetmeliği [18]; 1985 Kanada Bina Yönetmeliğine [19] ise 1998 Türk Deprem Yönetmeliği’nin [20] nitelik yönünden eşit olduğu kabul edilmiştir.

4. Bulgular ve Değerlendirme

Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası yapılan hasar tespit çalışmalarında ağır hasarlı olarak sınıflandırılan 130 adet betonarme bina hızlı değerlendirme yöntemleri (RBTEİE ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi) kullanılarak incelenmiştir. RBTEİE yöntemi ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda binalara ait performans puanı ve risk dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.

RBTEİE [9]’de sunulan hızlı değerlendirme yöntemi kullanılarak değerlendirilen binaların performans puan dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir. Performans puanlarının -55 ile +55 arasında değiştiği ve ağır hasarlı olarak derecelendirilen bu binaların performans puanlarının geniş bir puan aralığında dağıldığı gözlenmiştir. Deprem sonrası aynı hasar derecesine (hasar tespit çalışmalarında ağır hasar olarak belirlenmiş) sahip binaların performans puanları arasındaki büyük fark (-55 ile +55 puanları arasındaki fark) dikkat çekicidir. Bu nedenle değerlendirilen binalar içerisinde RBTEİE Yöntemine [9] göre yüksek-orta-düşük puana sahip herhangi üç binanın (BI, BII ve BIII kodlu binalar) deprem performansı üzerinde etkili parametreleri (kusurları), binaların dış cephe ve iç cephe fotoğrafları üzerinden incelenerek hasar durumları kıyaslanmıştır (Tablo 4).



Şekil 1. Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası incelenen ağır hasarlı binaların risk dağılımlarının RBTEİE yöntemi ve Kanada Sismik Tarama yöntemiyle değerlendirilmesi.

BI, BII, BIII kodlu ağır hasarlı binaların deprem performansını etkileyen bina özellikleri Tablo 4 üzerinden incelendiğinde binalar arasındaki puan farklılıklarında değerlendirme parametrelerinin (kat sayısı, yumuşak kat, ağır çıkmalar, bina nizamı gibi) etkili olduğu görülmüştür. Özel olarak incelenen üç binanın SPI hesaplamaları Tablo 5’te verilmiş ve BI–BII binaları arasında 55 puan, BI–BIII binaları arasında ise 110 puan fark olduğu görülmüştür.

RBTEİE [9]’de önerilen hızlı değerlendirme yönteminde kat sayısı puanlama sisteminde etkili olmakta, kat sayısının artmasıyla binalara verilen taban puanları azalmakta, olumsuzluk parametre puanları ise artmaktadır. BIII, BII, BI binalarının kat sayılarının giderek artması (sırasıyla 4, 5 ve 6 katlı) performans puanı üzerinde düşüşe sebep olmuştur. Ayrıca ticari+konut kullanım amaçlı BI binasında, yumuşak kat varlığı puanlamada azaltıcı bir etkiye yaratmaktadır. Yumuşak kat parametresine benzer şekilde bina üzerinde ağır çıkmaların varlığı performans puanını düşürmekte ve riski artırmaktadır. RBTEİE [9] kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda puan farklılıklarının bir başka nedeni ise bitişik nizamlı binanın değerlendirilmesinde, hem binanın komşu binalara göre konumu (bitişik, köşede bitişik) hem de komşu binaların döşemeleri arasındaki kot farkının (aynı, farklı) dikkate alınmasıdır.

Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında BI, BII ve BIII kodlu binalarda oluşan hasarlar Tablo 4’de verilen hasar fotoğrafları yardımıyla incelendiğinde, BI kodlu binanın zemin katında bir kolonda kabuk betonda dökülmeler, çekirdek betonunda ezilme ve boyuna donatılarında burkulmaların olduğu görülmektedir. BII kodlu binada taşıyıcı sistem elemanlarında ince çatlaklar, bölme duvarında kısmi yıkılma ve ayrılmalar gözlenmiştir. BIII kodlu binanın ise zemin katında oturma çatlakları gözlenmiştir. Bu nedenle RBTEİE [9]’de sunulan yöntemle elde edilen performans puanlarının, deprem sonrası oluşan hasarlarla uyumlu sonuçlar verdiği söylenebilir. Ancak performans puanı ile deprem sonrasında gözlenen hasarlar arasındaki uyumun yanında binaların hasar tespit çalışmaları sonrasında aynı hasar derecesine sahip olmaları çelişkili bir durum oluşturmaktadır. Bu çelişkili durum, hasar tespitinde görevli teknik ekiplerin mühendislik yargılarından kaynaklanmaktadır. Çünkü sistemin hasar derecesi belirlenirken taşıyıcı elemanların sistem içindeki görevleri ve

hasar gören eleman sayısı dikkate alınmakta, hasar görmüş olan taşıyıcı elemanın sistem içerisindeki önemine teknik ekipler mühendislik yargılarını kullanarak karar vermektedir [15].

Tablo 4. Ağır hasarlı binalar içerisinde incelenen örnek binaların değerlendirilmesi

Bina Kodu	BI	BII	BIII
Hasar derecesi	Ağır hasarlı	Ağır hasarlı	Ağır hasarlı
PP (RBTEİE)	-55	0	55
SPI (Kanada Yöntemi)	26	20,3	14,45
Bina Fotoğrafı			
Değerlendirme parametreleri	Deprem tehlike böl: I Taşıyıcı sistem tipi: Çerçeve Yapım yılı: 1989 Kat sayısı: Z+5 Yumuşak kat: Var Görünen kalite: Orta Ağır çıkma: Var Yapı nizamı/döşeme seviyeleri: Köşede bitişik/farklı Düşey düzensizlik: Yok Plan düzensizliği: Yok Kısa kolon: Yok Tabi zemin etkisi: Düz	Deprem tehlike böl: I Taşıyıcı sistem tipi: Çerçeve Yapım yılı: 1980 Kat sayısı: Z+4 Yumuşak kat: Yok Görünen kalite: Orta Ağır çıkma: Var Yapı nizamı/döşeme seviyeleri: Bitişik orta/farklı Düşey düzensizlik: Yok Plan düzensizliği: Yok Kısa kolon: Yok Tabi zemin etkisi: Düz	Deprem tehlike böl: I Taşıyıcı sistem tipi: Çerçeve Yapım yılı: 1990 Kat sayısı: Z+3 Yumuşak kat: Yok Görünen kalite: Orta Ağır çıkma: Yok Yapı nizamı/döşeme seviyeleri: Ayrık Düşey düzensizlik: Yok Plan düzensizliği: Yok Kısa kolon: Yok Tabi zemin etkisi: Düz
Hasar fotoğrafı			

* Tablo 4’de verilen tüm fotoğraflar [21] numaralı kaynaktan alınmıştır.

RBTEİE’de [9] önerilen yöntemin yanında Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası yapılan hasar tespit çalışmalarında, ağır hasarlı olarak derecelendirilen 130 adet betonarme binanın risk değerlendirilmesi Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak incelenmiş ve risk dağılımları Şekil 1 ile verilmiştir. Kanada Sismik Tarama Yönteminde binalar belirli puan aralıklarına göre öncelik sınıflarına (düşük tehlikeli, orta öncelikli, yüksek öncelikli binalar) ayrılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda binaların %68’inin yüksek öncelikli bina sınıfında, %32’sinin ise orta öncelikli bina sınıfında bulunduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında özel olarak ele alınan üç binanın Kanada Sismik Tarama Yöntemine göre hesaplanan Sismik Öncelik İndeksi (SPI) değerleri ise BI, BII ve BIII kodlu binalarda sırasıyla 26, 20.3 ve 14.45 olarak belirlenmiş (Tablo 6) ve yöntemin deprem sonrası meydana gelen hasarlarla uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ayrıca Şekil 1’de RBTEİE [9] ile elde edilen performans puan dağılımına karşı Kanada Sismik Tarama Yönteminde [5] binalar belirli puan aralıklarında (10-20 ve 20-30 puan aralığı) toplanmıştır. Bu durum Kanada Sismik Tarama Yönteminde [5] yapısal düzensizlik durumunu belirten D indeksinin (plandaki düzensizlik/burulma, düşey düzensizlikler, kısa kolon, yumuşak kat, bitişik nizam binalarda çarpışma etkisi, fiziksel bozulma durumu) 4 değeri ile sınırlandırılmış olmasıyla ilişkilendirilebilir. Örneğin, Kanada Sismik Tarama Yöntemine [4] göre incelenen bir binada düşey düzensizlik, yumuşak kat, çarpışma etkisi ve fiziksel bozulma durumu ile karşılaştırılması halinde D indeksi yaklaşık 4 değerini alırken; düşey düzensizlik, yumuşak kat, çarpışma etkisi ve fiziksel bozulma durumlarının yanında planda düzensizlik, kısa kolon durumları vb. düzensizliklerin bulunması halinde ise D indeksi yaklaşık olarak 10 değerini almaktadır. Ancak bu yöntemle yapılan değerlendirmede D indeksinin maksimum 4 değeri ile sınırlandırılmış olması, belirli birkaç düzensizlikten sonra binaların aynı puan aralığında toplanmalarına neden olmaktadır.

Tablo 5. RBTEİE yöntemiyle incelenen örnek binaların performans puanı değerleri

	Kat Sayısı	Deprem Tehlike Böl.	Taban Puanı	Yapısal sistem puanı	Yumuşak kat	Görünen bina kalitesi	Ağır çıkma	Bitişik nizam durumu	Düşey düzensizlik	Plan düzensizliği	Kısa Kolon	Topografik Etki	Performans puanı
BI	6	I	50	0	-30	-30	-30	-15	0	0	0	0	-55
BII	5	I	60	0	0	-25	-30	-5	0	0	0	0	0
BIII	4	I	70	0	0	-15	0	0	0	0	0	0	55

Tablo 6. Kanada Sismik Tarama yöntemiyle incelenen örnek binaların SPI değerleri

	A	B	C	D	E	F	SI	NSI	SPI
BI	2	1	2,5	4	1	6	20	6	26
BII	2	1	2,5	2,86	1	6	14,3	6	20,3
BIII	2	1	2,5	1,69	1	6	8,45	6	14,45

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası il merkezinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulan teknik ekiplerce, ağır hasarlı olarak belirlenen betonarme binalar hızlı değerlendirme yöntemleri RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak incelenmiş ve binaların performans puan dağılımları belirlenmiştir. RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak elde edilen değerlendirme sonuçları mevcut hasar durumuyla karşılaştırılmıştır.

Yapılan değerlendirme neticesinde;

- Hızlı değerlendirme yöntemleri ile mevcut hasar durumları arasında uyumlu sonuçlarla karşılaşılmıştır. Böylelikle olası bir deprem sonrası oluşabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi bakımından bu yöntemlerin riskli bina tespitinde önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür.
- Çalışma kapsamında incelenen binaların, Kanada Sismik Tarama Yöntemiyle [5] yapılan değerlendirme sonucunda orta ve yüksek öncelikli bina sınıfında bulunduğu belirlenmiştir. RBTEİE Yöntemine [9] göre yapılan değerlendirme sonucunda ise sınır değer bulunmaması nedeniyle herhangi bir risk sınıfı tanımlanamamış, ancak performans puanları oldukça geniş bir puan aralığında dağılım göstermiştir.
- Hızlı değerlendirme yöntemleriyle incelenen binaların, performans puanları (PP) ile sismik öncelik indeksleri (SPI) ve mevcut hasar durumu arasında uyum söz konusuysen, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası binalara verilen hasar derecesi ile mevcut hasar durumu arasında tam bir uyumdan söz edilemez. Bu durum (incelenen tüm binaların ağır hasar derecesine sahip olması) deprem sonrası hasar tespit çalışmalarının kısa sürede tamamlanması gerekliliği nedeniyle teknik personelin hızlı, yüzeysel bir değerlendirme yapmaları ve teknik personellerin mühendislik yargısını kullanarak hasar derecesini belirlemesi ile açıklanabilir.

Ülkemizde riskli bina tespitinde kullanılan RBTEİE Yönteminde [9] sınır değer tanımının yapılmamış olması, Kanada Sismik Tarama Yönteminin [5] yanında eksiklik olarak düşünülebilir. RBTEİE Yöntemine [9] sınır değer tanımlaması için çalışmalar genişletilmelidir. Ancak yöntemin mevcut hasar durumuyla oldukça uyumlu olması nedeniyle yöntem bu eksikliğe rağmen riskli binaların tespitinde anlamlı sonuçlar vermektedir.

İncelenen binaların mevcut hasar durumları üzerinde, özellikle kat sayısı, yumuşak kat, ağır çıkma, çarpışma etkisi gibi kusurların etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle hızlı değerlendirme yöntemlerinde değerlendirmenin kusurlar üzerinden yapılmasının oldukça doğru bir yaklaşım olduğu Elazığ ili özelinde görülmüştür. RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yönteminde [5] kullanılan değerlendirme parametrelerinin çoğu benzerdir. Ancak RBTEİE Yönteminde [9] bazı değerlendirme parametrelerinin daha ayrıntılı ele alınması nedeniyle değerlendirme sonucunda birbirinden oldukça farklı puan dağılımıyla (risk dağılımı) karşılaşmıştır. Yöntemlerin birbirleriyle uyumu bakımından, risk dağılımlarının benzeştirilmesi amacıyla puanlama sistemlerinin tekrar gözden geçirilmesi, mevcut yöntemlerin eksikliklerini giderebilecek iyileştirmelerin önerileceği yeni çalışmalarla desteklenmesi uygun olacaktır.

Kaynaklar

- [1] İnel M, Özmen HB, Çaycı BT. Simav ve Van Depremleri (2011) Yapı Hasar Nedenlerinin Değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2013; 19(6): 256-265.
- [2] Temür R, Damcı E, Öncü-Davas S, Öser C, Sarğın S, Şekerci Ç. Structural and geotechnical investigations on Sivrice earthquake (Mw = 6.8), January 24, 2020. Natural Hazards 2021, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04468-w>.
- [3] Şahin H, Alyamaç KE, Durucan AR, Demirel B, Ulaş Açıkgenç M, Bildik AT, Durucan C, Demir T. ve diğerleri. 24 Ocak 2020 Mw 6.8 Sivrice/Elazığ Depremi Elazığ Bölgesi Yapısal Hasarlar İnceleme ve Analiz Raporu. Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2020/D001, 2020.
- [4] Federal Emergency Management Agency. Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (FEMA P-154). Federal Emergency Management Agency, Washington, USA, 2015.
- [5] Institute for Research in Construction National Research Council Canada. Manual for Screening of Buildings for Seismic Investigation. Institute for Research in Construction National Research Council Canada, Ottawa, Canada, 1992.
- [6] Japan Building Disaster Prevention Association. Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings. Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo, Japan, 2001.
- [7] Mishra S. Integrated Rapid Visual Screening of Buildings for Seismic Hazard. 1nd ed. Gurgaon, India, Taru, 2014.
- [8] New Zealand Society for Earthquake Engineering. Assessment and Improvement of the Structural Performance of Buildings in Earthquakes. NZSEE Study Group on Earthquake Risk Buildings, New Zealand, 2006.
- [9] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar, 6306 Sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 28695, 2013.
- [10] Sucuoğlu H, Yazgan U, Yakut A. A screening procedure for seismic risk assessment in urban building stocks". Earthquake Spectra,2007; 23(2): 441–458.
- [11] Gülay FG, Kaptan K, Bal EI, ve Tezcan SS. P25-Scoring Method for The Collapse Vulnerability Assessment of R/C Buildings. Procedia Engineering ,2011;14:1219–28.
- [12] Akkar S, Sucuoğlu H. Peak Ground Velocity Sensitive Deformation Demands and a Rapid Damage Assessment Approach. Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings. Springer,2003;77-96.
- [13] Wasti ST, Özcebe G. Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings. Springer Science & Business Media,2003
- [14] Sucuoğlu H, Yazgan U. Simple Survey Procedures for Seismic Risk Assessment in Urban Building Stocks. Seismic assessment and rehabilitation of existing buildings. Springer,2003;97-118
- [15] Sönmez A, Kuran F, Demirok E, Yılmaz H, Ülker D. Afet Sonrası Hasar Tespit Çalışmaları. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara, Türkiye, Afad-01, 2011.
- [16] https://hasartespit.csb.gov.tr/brosur/hasar_tespit-sunum.pdf, Erişim:15 Ocak 2021
- [17] National Research Council Canada. National Building Code of Canada. National Research Council Canada. Canada, Ottawa, 1965.
- [18] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1975.
- [19] National Research Council Canada. National Building Code of Canada. National Research Council Canada. Canada, Ottawa, 1985.
- [20] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1998.
- [21] <https://hasartespit.csb.gov.tr/#/> , Erişim: 15 Ocak 2021.