Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development
UMAGD, (2020) 12(2), 603-617.
10.29137/umagd.705067
Cilt/Volume:12 Sayı/Issue:2 Haziran/June 2020
Araştırma Makalesi / Research Article

Simülasyon Çalışması ile Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale İli Kayıp Tahmin Analizi

Creating Earthquake Scenario with Simulation Study and Analysis of Loss Prediction in Kırıkkale Province

Sema Çiftçi[1], Zeynep Çakırer [1], Ümit Sami Sakallı [1]

[1]Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yenişehir, Ankara Cd. 7.Km, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

***Başvuru/Received**: 17/03/2020* ***Kabul / Accepted**: 28/04/2020* ***Çevrimiçi Basım / Published Online:** 30/06/2020*
***Son Versiyon/Final Version**: 30/06/2020*

Öz

Depremler doğal afetlerin en sık görülenlerinden biridir ve güçlü depremlerin etkileri yıkıcı olabilir. Türkiye coğrafi konumu itibariyle deprem açısından oldukça riskli bir bölgede yer almaktadır. Gelişen teknolojiye rağmen dünyanın hiçbir yerinde depremlerin yeri ve zamanı hala tahmin edilememektedir. Deprem senaryoları, olası bir deprem sonucunda ortaya çıkabilecek kayıpların tahminini sağlar. Olası bir deprem durumunda oluşabilecek hasarın tahmin edilebilmesi, deprem sonrası sürecin planlanmasını daha etkin bir hale getirecektir; bu da daha az can ve mal kaybı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada Kırıkkale ilinde yer alan 28 merkez mahalle için simülasyon modeli geliştirilerek, oluşabilecek bir deprem sonucunda kayıplar tahmin edilmiştir. Simülasyonda kullanılan parametreler, mahallelerin zemin profil bilgisi ve bina kat sayılarıdır. İki parametre arasındaki ilişkiye göre kayıplar tahmin edilmiştir. Deprem senaryosu çıktıları; kitlesel bir vaka durumunda, yaralı önceliklendirilebilmesi için uygulanan triyaj işlemine göre ağır yaralı, geciktirilebilir yaralı, hafif yaralı ve ölü olmak üzere dört farklı şekilde belirlenmiştir. Simülasyon ile deprem senaryosu esnek bir şekilde tasarlandığı için, farklı deprem büyüklükleri ve bölgeler içinde kullanılabilmesi önem taşımaktadır. Bununla birlikte yapılacak çalışma, Kırıkkale ili için geliştirilen ilk deprem senaryosu örneğidir.

Anahtar Kelimeler

"Deprem, Deprem Senaryosu, Kayıp Tahmini, Triyaj İşlemi"

Abstract

Earthquakes are one of the most prevalent natural disasters and its effect may be devastating. Turkey is located on a high seismicity region. In spite of the comprehensive technology, the location and time of earthquakes are still unpredictable anywhere on the earth. Constructing earthquake scenarios make easier to predict the damages for a possible earthquake. Nevertheless, estimating the damage that might take place on an earthquake event will enable effective post-earthquake planning, which is essential for reducing loss of lives and economy. In this paper, the probable damages related to a possible earthquake has been predicted by using a simulation program for 28 central neighborhoods in Kırıkkale. The parameters used in the simulation are "the soil profile of the neighborhoods" and "the number of the stories of the buildings". The possible damages have been estimated according to the correlation between these parameters. According to the earthquake scenario outputs, in case of a mass casualty case, four different results have been obtained according to the triage process applied for prioritizing the injured; immediate, urgent, delayed and dead. Since the simulation and the earthquake scenarios are flexibly designed, it is important to be able to be used for different earthquake magnitudes and regions. Besides, this is the first earthquake scenario study developed for Kırıkkale region.

Key Words

"Earthquake, Earthquake Scenario, Damage Estimation, Triage Process"

***Sorumlu Yazar:** semacftc@gmail.com*

1. Giriş

Depremler yeryüzündeki kırılmalar sebebiyle aniden meydana gelen titreşimlerin dalgalar şeklinde yayılması ile yer yüzeyini ve geçtikleri ortamları sarsma durumudur (Babüroğlu, 1998). Depremin vereceği hasara etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır; bunlar, büyüklüğü, odak derinliği ve sığ veya derin olmasıdır. Odak derinliği, depremin meydana geldiği ilk kırığın yeryüzüne olan uzaklığı olarak tanımlana bir kavramdır ve depremler bu tanıma göre sınıflandırılmaktadır. Sığ depremler, dar bir alanda daha büyük hasarlara neden olurken derin depremler geniş alanda hissedilip buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Ayrıca, deprem büyüklüğü arttıkça yıkım gücüde artmaktadır.

Depremin vereceği zararı azaltmak için yapılacak faaliyetler; risk yönetimi ve kriz yönetimi olmak üzere iki grupta incelenebilir. Risk yönetimi, deprem öncesinde tehlike ve risklerin belirlenmesi, fiziksel(yapısal) zarar azaltma çalışmaları, bilinçli eğitim çalışmaları, risk altındaki kritik altyapıların güçlendirilmesi, depremin tahmin edilmesi ve erken uyarı sistemleri, önlem alma, kurtarma, tahliye ve acil yardım planları gibi risk, zarar azaltma ve depreme hazırlık çalışmalarından oluşmaktadır. Kriz yönetimi ise deprem sonrası; enkaz yönetimi, yeniden yapılanma, tamir ve güçlendirme çalışmaları, kalıcı konutların inşası, geçici iskân, hasar tahmini ve enkaz kaldırma gibi müdahale ve iyileştirme çalışmalarından oluşmaktadır.

Deprem sonrası kriz yönetim süreci karmaşık bir durum olup felaketin doğası, zamanı ve büyüklüğüyle ilgili belirsizlikler, mağdurların yeri ve ihtiyaçları hakkında bilgi eksikliği, olası arz ve bağışlar, güvencesiz ulaşım bağlantıları gibi operasyonel ve taktiksel anlamda birçok sorun içermektedir. Ancak deprem öncesi alınacak önlemler ile deprem sonrası kriz yönetim sürecinde oluşabilecek zorluklar azaltılacaktır. Zorlukların azaltılabilmesi için yapılacak faaliyetlerden biri, belirlenen bir bölge için deprem senaryosu oluşturularak, bu bölgenin olası bir depremde, hangi düzeyde etkileneceğinin önceden tahmin edilen sonuçları baz alınarak, kriz yönetim süreci için müdahale ve iyileştirme planlamalarının oluşturulmasıdır. Oluşturulan planlamalar doğrultusunda, gerekli önlemlerin alınması ile oluşabilecek zarar miktarının azaltılması sağlanacaktır.

Deprem senaryosu oluşturulabilmesi için literatürde deterministik ve stokastik yöntemler mevcuttur. Deterministik yöntemler, deprem tehlikesi olasılık temeline dayandırılmadan, şiddet, ivme ve hız gibi belirsizlikler içermeyen bir matematik ifade kullanılarak oluşturulur (Jica, 2002; Küçükçoban, 2004). Deterministik yöntem kullanarak deprem senaryosu oluşturabilmek için, mevcut olan diri fay hatları ve bu fay hatlarının üretebileceği en büyük deprem büyüklükleri belirlenir. Sonrasında bu fayların belirlenen konuma minimum mesafesi hesaplanır. Depremin belirlenen yerde oluşacağı varsayımı yapılarak, uygun bir azalım ilişkisi bulunarak, depremin maksimum yaratabileceği yer hareketi parametreleri belirlenir (Özmen, Can, 2016).

Özmen (2002), İstanbul ili için deterministik yöntem kullanarak bir deprem senaryosu oluşturmuştur. Senaryo oluşturulurken, bölgeyi etkilemiş tarihi depremlerin meydana getirdiği hasarlar incelenerek deprem senaryosu için kaynak parametreleri elde edilmiştir. Senaryoda, İzmit 17 Ağustos 1999 depreminin büyüklüğü ve yüzey kırığı uzunluğu ile aynı kabul edilmiştir. Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca meydana gelen depremler incelenerek azalım ilişkileri hesaplanmıştır. Senaryoda 17 Ağustos depreminden değişik şiddetlerde etkilenen konutların hasar durum oranları, senaryoda ele alınan bölge için binaların hasar durumu tahmin edilebilmesinde kullanılmıştır. Senaryo sonuç olarak; ölü sayısı, yaralı sayısı, ağır hasarlı bina sayısı, orta hasarlı bina sayısı ve yıkık bina sayısını tahmin etmiştir.

Deterministik yöntemlerde en önemli eksiklik gelecekte olması beklenen depremlerin konum, büyüklük ve oluş zamanlarındaki belirsizliklerdir. Bu nedenle deprem senaryosu literatüründe depremlerin oluşum olasılıklarının modellendiği Stokastik yöntemler de mevcuttur (Taşlıova, 2010; Koeri, 2003). Stokastik yöntemler belirlenen bölgeyi etkileyen olay ve durumlarla ile ilgili bütün olasılıkları dikkate alan tehlike modellerini baz alır. Stokastik yöntemler birçok senaryonun simülasyonunu referans alır (Crozi ve diğ., 2005). Stokastik Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) temelli hasar yöntemleri, en iyi sonucu üretebilmek için ek bilgiler ve hesaplama biçimlerini içeren olasılıksal yöntemlerdir (Walker, 1999).

Karaman ve Şahin (2009) depremlerden sonra oluşacak hasarı tahmin etmek için stokastik bir model kullanarak, ele alınan bölgedeki tüm olası senaryoları göz önünde bulundurarak, depremin fiziksel, sosyal ve ekonomik sonuçlarını tahmin edebilecek HAZTURK isimli bir yazılım programı geliştirilmiştir. Zeytinburnu ilçesinde bir uygulama ve mevcut bina bilgileri kullanılarak deprem hasar analizi yapılmıştır. Elde edilen envanterlerin hasar görebilirlikleri, parametrik kırılganlık yöntemleri kullanılarak ve saha çalışması yapılarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler yazılım programına işlenerek mevcut bütün bina bilgilerine ait olası deprem sonrası ekonomik ve yapısal kayıplar belirlenmiştir.

Işık, vd. (2019) Kırşehir ili için stokastik bir yöntem kullanarak 3 farklı deprem senaryosu oluşturmuştur. Senaryo için Earthquake Loss Estimation Routine (ELER) yazılım programından yararlanılmıştır. Çalışmada birinci aşamada bütün il dikkate alınarak alan analizleri gerçekleştirilmiştir. Ikinci aşamada il için deprem tehlikeleri analiz edilmiştir. Çalışmada ilin tamamında yer alan binalar yazılım programına uygun olarak yapılan arazi çalışmaları sonucu yazılımın veri tabanına kaydedilmiştir. Daha sonrasında farklı fay hatlarında ve farklı büyüklüklerde meydana gelebilecek 3 farklı deprem senaryosu elde edilmiştir.

Fahjan, vd. (2015) Gebze ilçesi için stokastik bir yöntem kullanarak, AFAD RED yazılımı programıyla deprem senaryosu oluşturmuşlardır. Senaryo için, depremin büyüklüğü, depremin kaynağı ve zemin bilgilerinin riske etkisi analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre can kaybı, yapı hasarları ve barınım gereksinim oranları hesaplanmıştır.

Deprem senaryosu oluşturulurken deterministik veya stokastik yöntemlerin kullanılabilmesi için, belirlenen bölgede geçmişte kaydedilmiş deprem hasar kaybı verilerinden elde edilen değerlere göre, günümüz bilgisinin geleceğe yönelik tahminlerinin

yapılması gerekmektedir. Eğer belirlenen bölge için hasarların tahmini ile ilgili olarak uygun veri yetersiz ve kötüyse veya kayıtlı veri yoksa hasar tahmini yetersiz ve zayıf olacaktır (Karaman, 2008).

Deprem senaryosu oluşturabilmek için kullanılan deterministik ve stokastik yöntemlerin dışında daha çok sosyal şartları değerlendiren kurguya dayalı senaryolar üretilmiştir. Senaryolar herhangi bir matematiksel ifade kullanmayarak, ölçülebilirliği olmadan belirli varsayımlar altında oluşturulmuştur (Doğan, 2015).

Pektaş (2012), İstanbul Başakşehir ilçesi için iki farklı deprem senaryosu oluşturmuştur. Senaryo 1 için, (Özmen, 2002) çalışması verilerinden faydalanılarak deprem hasar durumu tahmin edilmiştir. Senaryo 2 için ise, İstanbul için İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Japonya Uluslararası İş Birliği Ajansı ile ortaklaşa yürütülen programdaki bina, hane ve kişi sayısı verilerinden yararlanılarak, belirli varsayımlar altında Başakşehir ilçesine uyarlanarak deprem kayıp hasar etkileri tahmin edilmiştir. Senaryo çıktıları olarak, ölü sayısı, ağır ve hafif yaralı sayısı, ağır hasarlı bina sayısı, orta hasarlı bina sayısı, hafif hasarlı bina sayısı bilgileri tahmin edilmiştir.

Temur vd. (2019), Ümraniye bölgesi için dört farklı deprem senaryosu oluşturmuştur. Senaryo oluşturulurken, ilçelerde fay hatları yer alıp almaması durumuna göre, çok hafif (1), çok şiddetli (5) olmak üzere 1-5 arasında değerler verilmiştir. Değerler, ilçelerin altında fay hatlarının hangi konumlarda yer alıp almadığı bilgilerine net bir şekilde ulaşılamadığı için, mevcutta erişim sağlanabilen genel fay hattı haritasına göre verilerek senaryolaştırılmaya çalışılmıştır. Ümraniye 35 bölgeye ayrılarak bölgelerden fay hattı yer alıp almama durumları senaryolara göre değişkenlik göstermiştir. 1.deprem senaryosunda, fay hattının bütün bölgeleri eşit derece etkilediği ve sonuç olarak bölgelerin deprem şiddetinin 3 olduğu kabul edilmiştir. 2.deprem senaryosunda, fay hattının birinci bölgeye yakın olduğu varsayımı kabul edilerek, bu bölgenin deprem şiddeti 5 olarak kabul edilmiştir. 3.deprem senaryosunda, fay hattının dördüncü bölgeye yakın olduğu varsayımı kabul edilerek bu bölgenin deprem şiddeti 5 olarak kabul edilmiştir. 4.deprem senaryosunda ise, fay hattının ikinci ve üçüncü bölgelere yakın olduğu varsayımı kabul edilerek deprem şiddeti 4 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında Kırıkkale ili merkez mahalleleri için olası bir deprem durumunda, oluşabilecek hasarın tahmin edilebilmesi için deprem senaryosu oluşturulmuştur. Çalışma içerdiği yöntem bakımından ele alındığında, yukarıda incelenen deprem senaryosu literatür araştırmasında bulunan yöntemlere ek olarak, kurguya dayalı stokastik temelli melez bir yöntem olarak kabul edilmiş ve bu sayede literatüre farklı bir bakış açısı sunulmuştur. Çalışmada kurguya dayalı ve stokastik yöntemin birlikte ele alınması, Bölüm 3.2. ‘de anlatılan deprem büyüklüğü, etkilenen nüfus sayısı gibi kabul edilen varsayımların kurgusal metodun kapsama alanına girmesinden kaynaklanmaktadır. Stokastik temelli bir yöntem olarak kabul edilmesi ise, Bölüm 2’ de ele alınan zemin profil bilgisi ve bina kat sayısı gibi olasılıksal değerlerin stokastik yöntemlerin kapsama alanına girmesinden kaynaklanmaktadır.

Yapılan araştırmalara göre, Kırıkkale ili için daha önceden yapılmış deprem sonrası kayıpların analiz edildiği bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle Kırıkkale ili için olası bir deprem sonrası oluşabilecek kayıpların tahmin edilmesi açısından bu çalışmanın ilk olduğu düşünülmektedir. Çalışmada, literatürde yer alan tamamen stokastik bir yöntemin kullanılmamasının nedeni; il genelinde daha önce yapılmış detaylı bir zemin profili analizinin bulunmaması, binaların depreme dayanıklılık analizi ve envanter yapı stok bilgilerinin mevcut olmamasıdır. Stokatik bir yöntem kullanarak deprem senaryosu oluşturabilmek için, bu bilgilerin en baştan elde edilmesi oldukça maliyetli ve uzun bir süreç gerektirmektedir. Tamamen kurguya dayalı bir yöntemin kullanılmamasının nedeni ise, gerçekçi sonuçlar üretmediği için deprem sonrası hasar durumunun değerlendirilebilmesi için yeterli olmamasıdır. Dolayısıyla bu iki yöntemin senaryo üretirken tek başına kullanmak yerine çalışmanın belirli kısımlarına entegre edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu sayede; ele alınan bölge için, zemin profil çalışması ve bina dayanıklılık testleri olmadan bu bilgilerin olasılıksal olarak değerlendirilmesi ile tamamen kurgusal yöntemlerden daha gerçekçi sonuçlar elde edildiği düşünülmektedir.

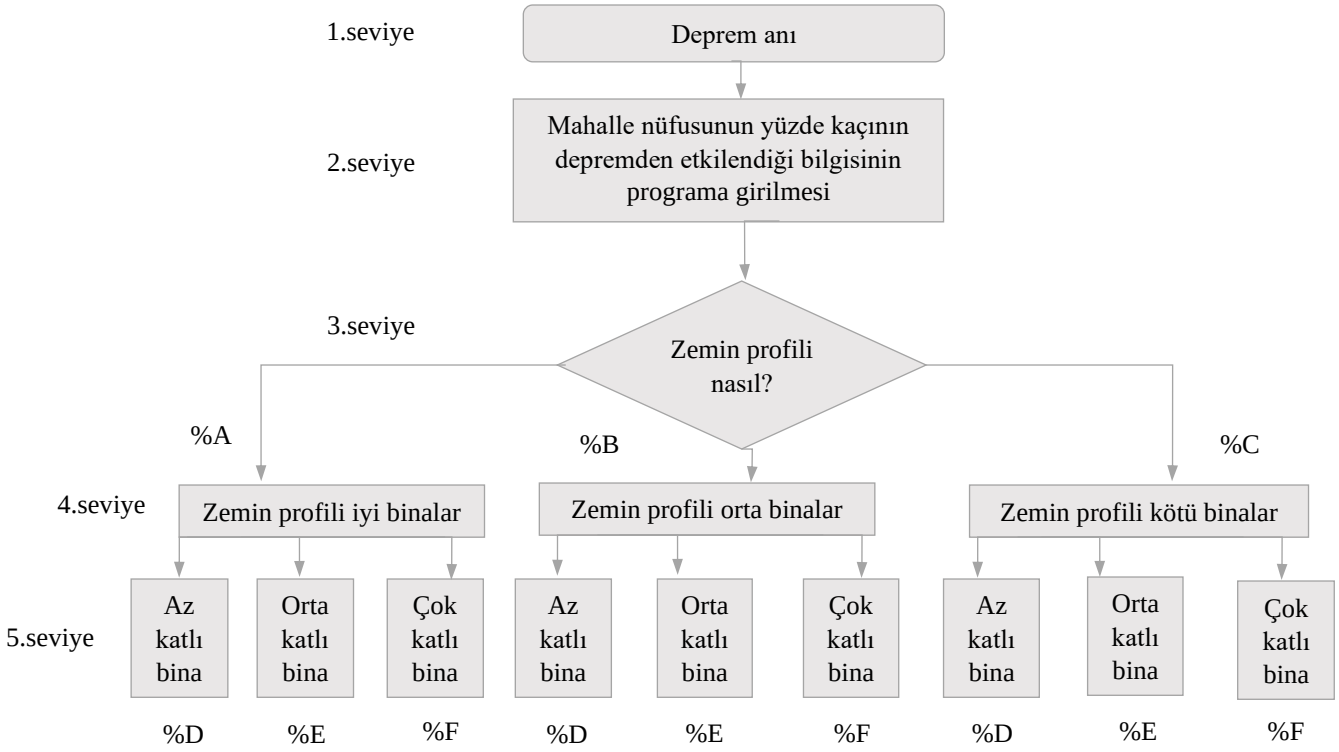
Çalışmanın amacı, Kırıkkale ilinde meydana gelebilecek hasar yapıcı bir deprem sonucunda, oluşabilecek kayıpların tahmin edilmesidir. Kayıp tahmin analizi için simülasyon yapısı kullanılarak deprem senaryosu oluşturulmuştur. Simülasyon yapısı itibariyle farklı olasılıksal durumları bir arada bulundurmaktadır. Bu olasılıklara göre üretilen sonuçların analizini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, deprem gibi belirsizliklerin (oluş zamanı, konumu, büyüklüğü vb.) fazla olduğu karmaşık durumlarda simülasyon kullanılarak, kayıp tahmini ve analizi yapmak çok avantajlıdır. Deprem literatüründe yer alan yöntemlere göre daha az maliyetli ve hızlı sonuç üretmesi, sonuçların matematiksel açıdan analizlerinin yapılabilmesi ve kullanılacak olasılık değerleri değiştirilerek farklı sonuçlar üretebilmesi kurulan simülasyon modelinin avantajları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda elde edilmesi zor ve maliyetli olan parametreler (zemin profili, deprem büyüklüğü, odak derinliği vb.) olmadan, olasılıksal varsayımlar altında bir deprem senaryosu oluşturabilmektir. Çalışmanın amacı ve kullandığı yöntem dikkate alındığında, mevcut yöntemleri birlikte ele alarak, yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle deprem senaryosu literatürüne birçok katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Çalışmanın devamında Bölüm 2'de deprem senaryosu için bahsedilen simülasyon yapısının detaylı bir şekilde anlatımına odaklanılmıştır. Bölüm 3 deprem senaryosunun oluşturulabilmesi; Bölüm 3.1. uygulama yapılan il olan Kırıkkale’nin coğrafi konumu, Bölüm 3.2. senaryonun girdilerini ve Bölüm 3.3.’ de ise senaryonun çıktıları olmak üzere üç farklı başlıkla ele alınmıştır. Çalışmanın son kısmı olan Bölüm 4’ te sonuç tartışılmış ve gelecek çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. Deprem Senaryosu İçin Simülasyon Yapısının Oluşturulması

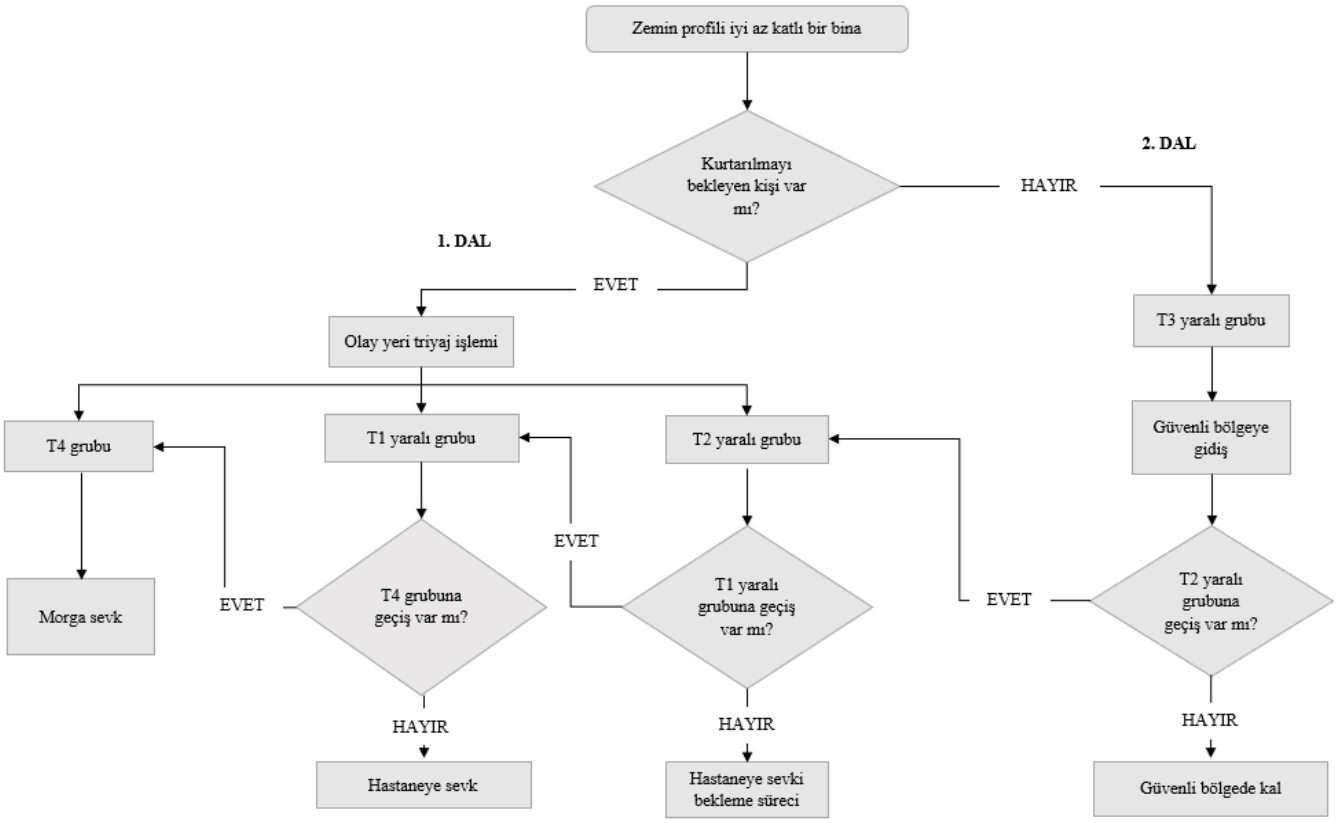
Çalışma kapsamında ARENA simülasyon programı kullanılarak kurguya dayalı stokastik bir modelleme ile Kırıkkale ili için deprem senaryosu oluşturulmuştur. Deprem kayıplarının tahmin edilebilmesi için, seçilen bölgede depreme ait belirsizliklerden, zemin profili ve bina kat sayısı bilgisi dikkate alınmıştır. "Sismik yer hareketlerinin yapılarda oluşturdukları etkilerin, yüzeye yakın zemin seviyelerinin kalınlıkları ve fiziksel özelliklerinden önemli derecede etkilenmesi" (Sönmezer, vd., 2015) sebebiyle zemin profil bilgisi birinci parametre olarak kabul edilmiştir. Bölüm 1' de bahsedildiği üzere Kırıkkale ilinde daha önce yapılmış kapsamlı bir zemin profili çalışması bulunmamaktadır. Bu nedenle Kırıkkale ilinde yer alan binaların zemin profillerinin iyi, orta ve kötü olmak üzere üç gruptan oluşacağı varsayılmıştır. Deprem senaryosu için kullanılan ikinci parametre ise bina kat sayılarıdır. Bina kat sayılarının az, orta ve çok katlı olmak üzere üç gruptan oluşacağı varsayılmıştır. Çünkü bina kat sayısının deprem sonrası hasar durumuna etkisi çok katlı ve zemin profili kötü bir yapının tahribatı durumunda, oluşacak kayıpların daha yüksek olacağı düşünülmektedir. Depreme ait belirsizliklerden deprem büyüklüğü, senaryo oluşturulurken en kötü ihtimalin olacağı varsayıldığı için çalışma kapsamında farklı deprem büyüklükleri dikkate alınmamıştır ve deprem büyüklüğünün Ms 6.8 büyüklüğünde olacağı varsayılmıştır. Depreme ait belirsizliklerden binaların yapı türü, Kırıkkale il genelinde betonarme yapılar bulunduğu için ihmal edilmiştir. Depreme ait belirsizliklerden binaların yapım yılı ise, Bölüm 1' de bahsedildiği üzere Kırıkkale için daha önce yapılmış bina envanter yapı stokları ile ilgili bir çalışma bulunmadığı için ihmal edilmiştir.

Deprem senaryosu için dikkate alınacak parametreler belirlendikten sonra, zemin profili ve bina kat sayısı arasında ilişki kurulmuştur. Şekil 1' de gösterildiği gibi zemin profili %A olasılığında iyi olan bir yerde binalar, %D oranında az, %E oranında orta ve %F oranında çok katlı olabilirler. Ele alınan yerler %A iyi, %B orta ve %C kötü olasılıklarla faklı zemin profiline sahip olsalar da aynı olasılıkta az, orta ve çok katlı binanın olacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla üç kola ayrılan zemin profil bilgilerinin her bir kolu az (%D), orta (%E) ve çok (%F) katlı olmak üzere üç kola daha ayrılmıştır. Toplamda dokuz koldan oluşan bir simülasyon ağ yapısı oluşturulmuştur. Deprem simülasyonu için yukarıda anlatılan adımlar aşağıdaki Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil. 1. Deprem simülasyonu ağ yapısının olasılıksal şematik gösterimi

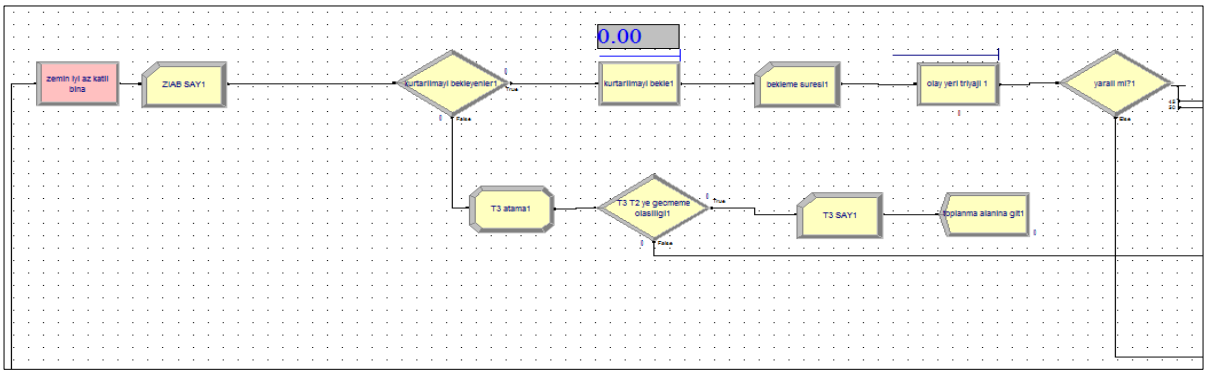
Çalışma kapsamında deprem senaryosu çıktısı olarak, deprem kayıp tahminleri kişilerin sağlık durumları açısından ön görülmeye çalışılmıştır. Deprem senaryosundan üretilecek çıktıların gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilebilmesi, afet öncesi yapılan planlamalar açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle Şekil 1' de anlatılan sürecin devamında deprem senaryosu çıktılarının elde edilebilmesi için triyaj dağılım sonuçları dikkate alınmıştır. Triyaj işlemi hastaların veya yaralıların sağlık durumu ciddiyetine göre gruplandırılması işlemidir. Afetlerden sonra gerçekleştirilen triyaj işlemi, çok sayıda yaralının olduğu bir yerde en kısa zamanda, eldeki kısıtlı kaynaklarla en fazla yaşamı kurtarmaktır. Triyaj müdahalesi sonucu yaralıların ağır yaralı T1, geciktirilebilir yaralı T2, hafif yaralı T3 ve ölü T4 olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Simülasyon için Şekil 1' de gösterildiği gibi 9 farklı dallandırma yapılmıştır. 9 farklı kolun her birinden; triyaj işlemi sonucuna göre T1, T2, T3 ve T4 grubu kişiler çıkmaktadır. Triyaj dağılımı, hastaneye sevk, güvenli bölgeye gidiş gibi deprem sonrası yaşanan durumlar aşağıdaki Şekil 2 de gösterilmiştir. Şekil 1' de 5. seviyede yer alan zemin profili iyi, az katlı bir bina için sürecin devamı Şekil 2' de örnek olarak gösterilmiştir.



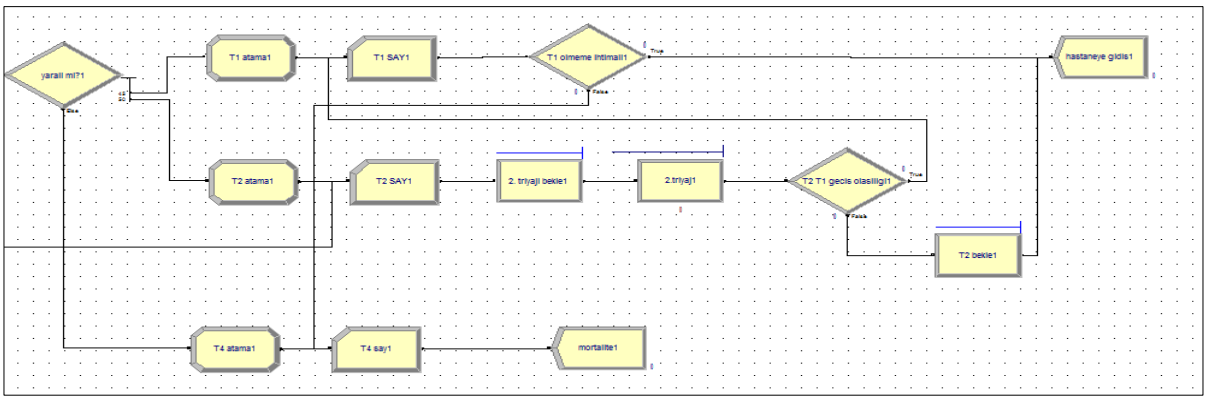
Şekil. 2. Deprem sonrası süreç şematik gösterimi

Şekil 2' de şematize edilen sürecin 1 numaralı dalında yer alan adımlar ARENA programında uygulanmıştır. Deprem sonrası, depremden etkilenen bölgelerde oluşan enkazlar da yukarda bahsedilen triyaj sınıflandırmalarında yer alan T1, T2 ve T4 grubunun bulunabileceği varsayılarak arama kurtarma ekipleri tarafından kurtarılmayı beklemektedir ve bu durum HOLD modülü ile sağlanmıştır. Gerçek hayatta bir deprem olduğu zaman arama kurtarma çalışmaları yaklaşık 72 saat sürdüğü için enkaz altında kalan kişilerin hemen kurtulamayacağı varsayılarak sisteme SIGNAL ve DELAY modülleri ile bekleme süresi dahil edilmiştir. Daha sonra kurtarılmayı bekleyen kişilerin hangi triyaj grubunda yer aldıklarının belirlenebilmesi için PROCESS modülü ile olay yeri triyaj işlemi gerçekleştirilmiştir ve ortalamasının üstel dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Olay yeri triyaj işleminden sonra T1 grubu yaralıların acilen hastaneye sevk edilmesi, T2 grubu yaralıların ise bekleme süresi toleransına sahip olabilecekleri için sisteme hastaneye sevki bekleme süresi dahil edilmiştir. Bu bekleme sürecinde, T2 grubu yaralıların T1'e geçiş ihtimalleri mevcuttur. Bu nedenle belirli sürelerde geçiş olup olmadığının kontrolü SIGNAL ve DELAY modülleri ile sağlanmıştır. Bekleme süresince T2 grubu yaralılar için; T1'e geçme olasılıkları da sisteme dahil edilerek bu yaralı grubunun acilen hastaneye sevk edilmesi sağlanmıştır. T4 grubunun ise, enkaz bölgelerinden morga sevk edilecekleri varsayılmıştır.

Şekil 2' de şematize edilen sürecin 2 numaralı dallandırmasında yer alan adımlar ARENA programına uygulanmıştır. Simülasyon sürecinde T3 grubu yaralıların kendi imkanları doğrultusunda enkaz bölgelerinden uzaklaşarak, ilk etapta güvenli bulunan alanlara gidecekleri varsayılmış ve bu süreç sisteme entegre edilmiştir. T3 grubu yaralılar güvenli alanlara geçtikten sonra T2 grubuna geçiş olasılıkları mevcuttur. Bu durum da sisteme dahil edilerek, hastaneye sevkleri sağlanmıştır. ARENA da yapılan simülasyon çalışması aşağıdaki Şekil 3' de gösterilmiştir.

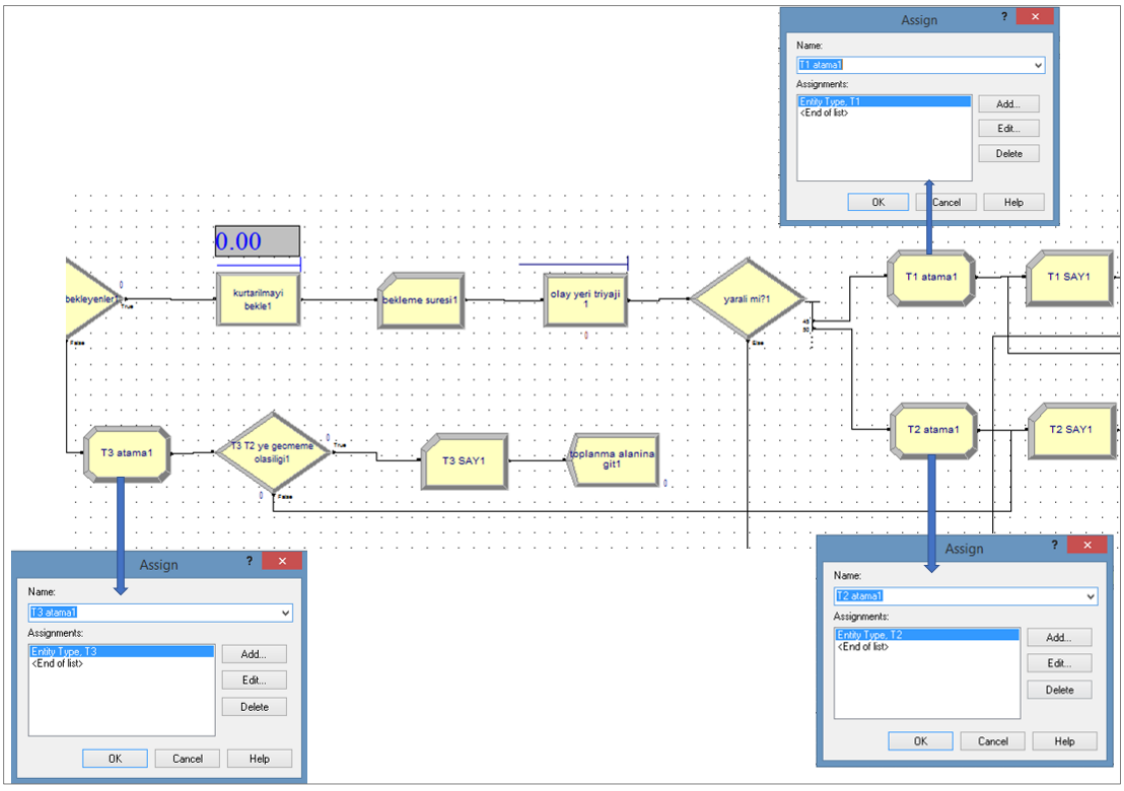


Şekil. 3. ARENA programı deprem simülasyon görseli



Şekil. 3. (devam) ARENA programı deprem simülasyon görseli

ARENA programı kullanılarak modellenen problemlerde, olayları ifade etmek için CREATE, ASSIGN, HOLD gibi modüller, olay akışın sağlanabilmesi için ise ENTITY gibi tetikleyiciler kullanılmaktadır. ENTITY TYPE özelliği sistemde gezen birimlerin cinsini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan sistemde gezen birim dört farklı triyaj grubu için farklı isimlerle sisteme girilmiştir. Şekil 4' de farklı triyaj grupları için ENTITY TYPE atama aşaması gösterilmiştir. Örneğin T1 triyaj grubu, "ENTITY TYPE=T1" olarak sistemde tutulmaktadır.



Şekil. 4. ARENA programı deprem simülasyon görseli ikinci aşama

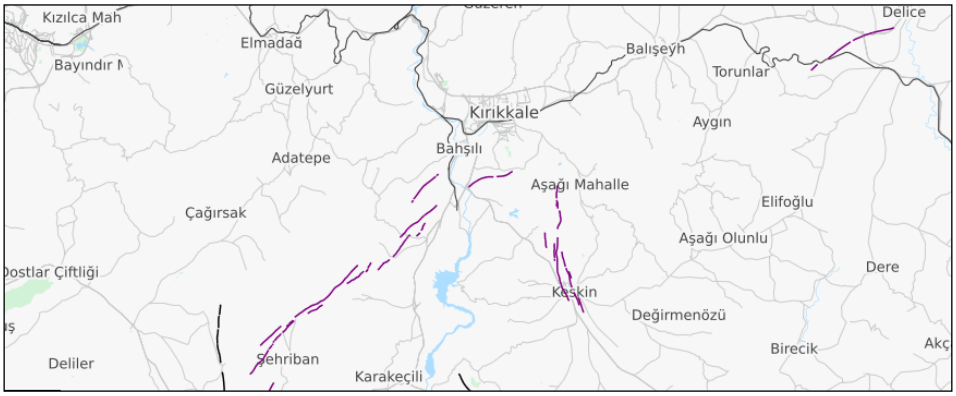
Simülasyon çalışmasında Şekil 2' de yer alan triyaj sınıfları arasındaki geçiş olasılık değerleri için, markov zincirinden faydalanılmıştır. Markov zincirleri olasılıklı (stokastik) bir şekilde ilerleyen bir sistemdir. Mevcut sürece göre gelecekte meydana gelebilecek süreçler, geçmiş süreçler ile ilişkili değildir. Sistem her zaman belirli bir olasılıksal dağılım ile mevcut süreçten farklı bir sürece geçebilir veya durumunu koruyabilir. Süreçlerde meydana gelen değişiklikler markov geçişleri olarak bilinir.

3. Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale Kenti İçin Bir Uygulama

3.1. Kırıkkale İli Coğrafi Konumu

Kırıkkale, MTA Yerbilimleri Haritasında incelenen diri fay hatları doğrultusunda; doğu yönünde Kırıkkale-Sungurlu Fay Hattı (Koçyiğit, 2008), güney yönünde Tuz Gölü Fay Hatları ve Keskin Fayı, güneydoğu yönünde Seyfe Fay Hattı (Koçyiğit, 2000), güneybatı yönünde Bala ve Karakeçili Fayları (MTA, 2015), kuzey yönünde ise 1-110 km genişlikte ve 1700 km uzunlukta, sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Hattı (Royaj, Koçyiğit, 2009) tarafından çevrilmiş durumdadır (Sönmezer, 2015). Şekil 5' te sol tarafta yer alan mor çizgilerle belirtilen fay hatları Şehriban ve Bahşılı bölgeleri arasında uzanan Karakeçili Fay Hattı, sağ

tarafta mor çizgilerle belirtilen alanda ise Keskin ve Aşağı Mahalle arasında uzanan Keskin Fay Hattı bulunmaktadır. MTA Yerbilimleri Haritasından elde edilen Kırıkkale ve çevresinde bahsedilen diri fay hatları Şekil 5' te gösterilmiştir.

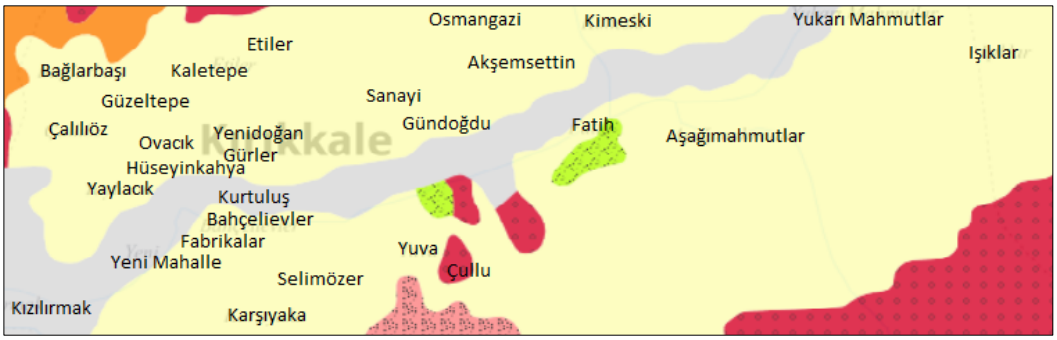


Şekil. 5. Kırıkkale ve çevresinde yer alan diri fay hatları (MTA)

Depremlerden sonra meydana gelen hasarın büyüklüğünde şüphesiz en önemli faktörlerden biri zeminin fiziksel özellikleridir. Yani depremin enerjisinin aktarılması zemin koşullarına göre farklılıklar gösterir. MTA'dan alınan jeoloji formasyon bilgilerine göre Kırıkkale ili mahalleleri için zemin profilleri incelendiğinde mahallelerin farklı zeminlerde bulunduğu görülmüştür. Şekil 5' te yer alan basitleştirilmiş jeoloji haritasına göre; mavi renk bölgesinde ve çevresinde konumlandırılmış mahalleler; Bahçelievler Mahallesi, Çalılıöz mahallesi, Selim Özer Mahallesi, Yuva Mahallesi, Fabrikalar Mahallesi ve Sanayi Mahallesidir. Bu konumda yer alan mahallelerin zeminleri yoğun olarak alüvyon zeminden oluşmaktadır. Bu bölgelerde bir sismik yer hareketi olduğunda yüksek hasarlar meydana gelebilir.

2012 yılında gerçekleştirilen, Kırıkkale Bahçelievler ve Fabrikalar Mahallelerinin sıvılaşma potansiyelinin coğrafi bilgi sistemlerinde analiz çalışması deprem senaryosu oluşturulurken bahsi geçen mahallelerin zemin profillerini daha iyi anlayabilmek için incelenmiştir (Sönmezer, 2012). Detaylı açıklamak gerekirse mahalleleri oluşturan Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır. Sonuç itibariyle, nehir sedimanlarından oluşan zeminlerin yeraltı su seviyesi yüksektir. Yeraltında bulunan suyun miktarı 2-4 metre arasında bulunmaktadır. Bu miktarın yüksek olması nedeniyle bölgede konumlandırılmış yapılar bu durumdan kötü etkilenebilir. Bu mahallerde muhtemel bir depremin yaşanması ile zeminin geoteknik bilgileri ve taşıma gücü azalmaktadır. Bu analiz sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda Bahçelievler ve Fabrikalar Mahallesine benzer alt yapıya sahip mahallerinde depremden etkilenme riski daha yüksektir (Sönmezer, 2012). Bu nedenle deprem senaryosu oluşturulurken alüvyon alanda bulunan mahallelerin zemin profili kötü oranları daha yüksek alınmıştır.

Çullu Mahallesi gibi pembe renkte olan alanlar daha çok Granit, Granadiyorit gibi kayaç türünden oluşan daha dayanaklı zeminlere sahiptir ve zemin profil iyi olma oranı daha yüksek alınmıştır. Şekil 6' da yeşil renk ile gösterilen alanlar bazalt, kireçtaşı vb. nispeten daha iyi sayılabilecek alanlardır fakat bu alanlar suya maruz kaldığında zaman zaman küçük çökmelerin olabileceği zemin yapısına sahip yerlerdir. Dolayısıyla bu yerlerin zemin profili oranları orta yüzdesi daha fazladır. Şekil 5' te sarı alanlar karasal çökellerin yoğunlukta olduğu ve zeminin kısmen iyi sayılabileceği yerler olmaktadır ve buna dayanarak zemin profil orta oranı yüksek verilmiştir.



Şekil. 6. Kırıkkale merkez mahalleleri zemin yapıları (MTA)

3.2. Deprem Senaryosu Girdileri

Deprem senaryosu girdileri ARENA simülasyon programında Şekil 1' de yer alan simülasyon ağ yapısına göre oluşturulmuştur. Şekil 1' de yer alan birinci seviye için, Bölüm 2' de anlatıldığı üzere, Ms 6,8 büyüklüğünde merkez üssü Kırıkkale'nin Keskin ilçesinde Keskin Fay Hattı üzerinde bir deprem meydana geldiği ve Kırıkkale ili merkez mahallelerini etkilediği varsayılmıştır. Hasar durumunun oldukça yüksek olduğu kabul edilmiştir. Şekil 1' de yer alan ikinci seviye için, Kırıkkale il merkezi toplam nüfusunun %2.55'i deprem sonucunda sağlık durumları açısından zarar gördüğü kabul edilmiştir.

Şekil 1' de yer alan üçüncü seviye için, zemin profilinin iyi, orta ve kötü yüzdeliklerinin belirlenebilmesi için MTA yer bilimleri haritasından jeoloji formasyon bilgilerine ek olarak Kırıkkale AFAD da çalışan personellerden mahallelerinin zemin profilleri hakkında spesifik bilgileri alınarak senaryo oluşturulmuştur. Senaryo oluşturmak için ilk aşamada, çalışma kapsamında yer alan 28 merkez mahallesinin zemin profil bilgilerine göre her bir mahallenin deprem sonrası hasar durumunun tahmin edilebilmesi için Bölüm 2' de anlatıldığı üzere zemin profili; iyi, orta ve kötü olmak üzere her mahalleye oranlar verilmiştir. Şekil 6' da mahallelerin zemin yapısı bilgilerine göre, Bahçelievler Mahallesi, Çalılıöz mahallesi, Selim Özer Mahallesi, Yuva Mahallesi, Fabrikalar Mahallesi ve Sanayi Mahallesinin zemin profilleri genel itibariyle kötü oldukları için, bu mahallelerin zemin profili kötü oranları, diğer iki orana (iyi, orta) göre yüksek verilmiştir. Mahallelere göre Zemin profil dağılım sonuçları aşağıdaki Tablo 1' de gösterilmiştir. Tabloya göre örneğin Çalılıöz Mahallesinin Zemin profili %50 kötü zemin, %30 orta zemin, %20 iyi zemin profiline sahip olduğu varsayılmıştır. Bulunan sonuçlar simülasyon ağ yapısının gösterildiği Şekil 1' de yer alan 4. seviyeye girilmiştir.

Tablo 1. Kırıkkale merkez mahallelerinin zemin profil durumları

Mahalle/ Zemin Profil Bilgisi	İyi	Orta	Kötü
Akşemsettin Mahallesi	90%	5%	5%
Aşağımahmutlar Mahallesi	90%	5%	5%
Bağlarbaşı Mahallesi	60%	20%	20%
Bahçelievler Mahallesi	15%	25%	60%
Çalılıöz Mahallesi	20%	30%	50%
Çullu Mahallesi	60%	25%	15%
Etiler Mahallesi	60%	25%	15%
Fabrikalar Mahallesi	10%	15%	75%
Fatih Mahallesi	60%	25%	15%
Gündoğdu Mahallesi	60%	25%	15%
Gürler Mahallesi	30%	30%	40%
Güzeltepe Mahallesi	50%	30%	20%
Hüseyin Kahya Mahallesi	45%	30%	25%
Kaletepe Mahallesi	90%	5%	5%
Karşıyaka Mahallesi	60%	25%	15%
Kırıkköyü Mahallesi	50%	25%	25%
Kızılırmak Mahallesi	60%	25%	15%
Kimeski Mahallesi	90%	5%	5%
Kurtuluş Mahallesi	30%	30%	40%
Osmangazi Mahallesi	50%	25%	25%
Ovacık Mahallesi	15%	25%	60%
Sanayi Mahallesi	10%	15%	75%
Selim Özer Mahallesi	15%	25%	60%
Tepebaşı Mahallesi	30%	30%	40%
Yaylacık Mahallesi	30%	30%	40%
Yenidoğan Mahallesi	60%	20%	20%
Yenimahalle Mahallesi	60%	20%	20%
Yuva Mahallesi	20%	20%	60%

Şekil 1'de yer alan beşinci seviye için ise, Kırıkkale Belediyesinden alınan mahallelerde bulunan binaların kat sayıları verilerinin yer aldığı aşağıdaki Tablo 2' den yararlanılmıştır. Bu bilgi kullanılarak Kırıkkale Merkez mahallelerinin 2018 yılına göre toplam nüfus sayıları ve Tablo 2' de yer alan bina kat sayısı envanter bilgilerine göre binalarda yaşayan nüfus oranları belirlenmiştir. Her bir binada toplam kaç kişinin ikamet ettiği bilgisine ulaşılamamıştır. Bu bilgilerin elde edilmesi oldukça maliyetli ve uzun bir süreç gerektirmektedir. Bu nedenle binalarda yaşayan nüfus, oran şeklinde belirli varsayımlar ile 28 merkez mahallesi için elde edilmeye çalışılmıştır. Birinci varsayım, bir mahallede bulunan farklı kat sayısındaki binaların her biri tek katlı bina olarak kabul edilmiştir. Bu varsayım doğrultusunda 2 katlı bir binanın 2 tane 1 katlı binaya eşit olacağı, 3 katlı bir binanın 3 tane tek katlı bir binaya eşit olacağı şeklinde diğer farklı kat sayısına sahip binalar içinde benzer varsayımlar yapılmıştır. Yapılan varsayımlar doğrultusunda örneğin Akşemsettin Mahallesinde toplam 1*36+ 2*12+ 3*3= 65 şeklinde bir hesaplama ile 65 tane tek katlı bina olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mahallenin 2018 yılı toplam nüfusu 214 dür. Her bir binada ortalama "214/65" kişi yaşamaktadır. Bu sonuca dayanarak Akşemsettin Mahallesinde tek katlı binalarda toplam nüfusun %52'si, iki katlı binalarda toplam nüfusun %35'i, üç katlı binalarda ise toplam nüfusun %13'ü oturmaktadır şeklinde hesaplamalar yapılmıştır. Aynı hesaplamalar diğer mahalleler içinde yapılmıştır. Bulunan sonuçlar simülasyon ağ yapısının gösterildiği Şekil 1' de yer alan 5. seviyeye girilmiştir.

Tablo 2. Kırıkkale merkez mahallerinin bina kat sayı envanteri

Mahalleler/ Bina Kat Sayısı	1 kat	2 kat	3 kat	4 kat	5 kat	6 kat	7 kat	8 kat	9 kat	10 kat	11 kat	12 kat	13 kat	Toplam Bina Sayısı
Akşemsettin Mah.	36	12	3											51
Aşağımahmutlar Mah.	523	77	11											611
Bağlarbaşı Mah.	1038	489	188	107	53	16	5	1	4					1901
Bahçelievler Mah.	682	297	215	135	34	7	1	1						1372
Çalılıöz Mah.	977	306	167	129	121	77	42	7	4	7	4			1841
Çullu Mah.	173	37	3											213
Etiler Mah.	1137	386	207	87	47	10	2			1	1			1878
Fabrikalar Mah.	106	19	22	25	15	17	1	5	1	7	3			221
Fatih Mah.	86	29	1	3										119
Gündoğdu Mah.	907	378	157	42	27	6	1							1518
Gürler Mah.	326	147	92	78	67	26	14	3	1	2	1	1		758
Güzeltepe Mah.	54	18	31	56	113	71	23	6	1	1				374
Hüseyin Kahya Mah.	44	16	30	41	39	52	24	4	2		1			253
Kaletepe Mah.	1124	492	207	80	195	48	6	3		1				2156
Karşıyaka Mah.	976	423	124	38	21	1								1583
Kırıkköyü Mah.	157	56	16	9	3									241
Kızılırmak Mah.	167	18	3											188
Kimeski Mah.	101	211	2											314
Kurtuluş Mah.	264	65	32	39	42	25	6	6	1					480
Osmangazi Mah.	517	404	138	153	11							1		1224
Ovacık Mah.	36	24	32	83	117	59	10	5					1	367
Sanayi Mah.	2186	809	281	122	45	14	2	3					1	3463
Selim Özer Mah.	857	288	85	38	12	2								1282
Tepebaşı Mah.	96	60	48	50	81	42	12	4						393
Yaylacık Mah.	198	103	63	95	119	102	35	12	3	1	2			733
Yenidoğan Mah.	158	35	41	73	62	29	3	3		2				406
Yenimahalle Mah.	1602	507	184	162	105	55	21	9	3	1				2649
Yuva Mah.	926	291	86	41	15	2								1361
Toplam Bina Sayısı	15454	5997	2469	1686	1344	661	208	72	20	23	12	2	2	27636

Mahalle toplam nüfusunun binalara dağılımının yapılabilmesi için dikkate alınan başka bir nokta ise, Tablo 2' de yer alan bilgilere göre her bir mahallenin bina kat sayı dağılımı birbirinden farklı olmasıdır. Örneğin Akşemsettin Mahallesinde en fazla 3 katlı bina mevcutken, Çalılıöz Mahallesinde ise en fazla 11 katlı bina bulunmaktadır. Şekil 1' de ifade edilen simülasyon ağ yapısında, örneğin zemin profili iyi olan bir alanda binaların az, orta ve çok katlı olabileceği ihtimalinin sağlanabilmesi amacıyla her bir mahalle için; az, orta ve çok katlı binaların minimum ve maksimum kat sayısı ayrı ayrı belirlenmiştir. Örneğin Akşemsettin Mahallesinde çok katlı binaları 3 katlı binaların oluşturduğu, Çalılıöz Mahallesinde ise çok katlı binaları 7, 8, 9, 10 ve 11 katlı binaların oluşturduğu varsayılmıştır. 28 mahalle için belirlenen varsayım sonuçları aşağıdaki Tablo 3' de gösterilmiştir.

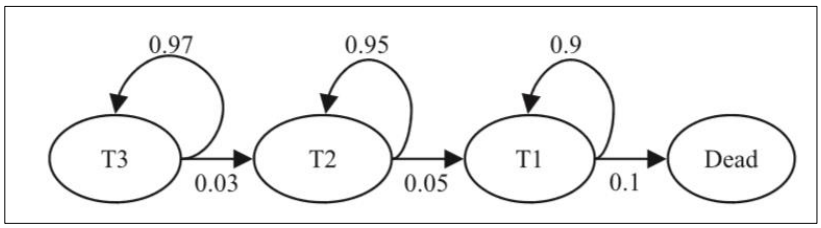
Tablo 3. Kırıkkale merkez mahallelerinin az, orta ve çok katlı bina kat sayıları

Mahalle/ Bina Kat Sayıları	Az Katlı	Orta Katlı	Çok Katlı
Akşemsettin Mahallesi	1 Kat	2 Kat	3 kat
Aşağımahmutlar Mahallesi	1 kat	2 kat	3 kat
Bağlarbaşı Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9 kat
Bahçelievler Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8 kat
Çalılıöz Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-10-11 kat
Çullu Mahallesi	1 kat	2 kat	3 kat
Etiler Mahallesi	1-2-3 kat	4-5 kat	6-7-10-11 kat
Fabrikalar Mahallesi	1-2-3 kat	4-5 kat	6-7-10-11 kat
Fatih Mahallesi	1 kat	2-3kat	4 kat
Gündoğdu Mahallesi	1-2 kat	3-4 kat	5-6-7 kat
Gürler Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8-9-10-11 kat
Güzeltepe Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-10 kat
Hüseyin Kahya Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-11 kat
Kaletepe Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9 kat
Karşıyaka Mahallesi	1-2 kat	3-4 kat	5-6 kat
Kırıkköyü Mahallesi	1 kat	2-3 kat	4-5 Yüksek

Tablo 3. (devam) Kırıkkale merkez mahallelerinin az, orta ve çok katlı bina kat sayıları

Mahalle/ Bina Kat Sayıları	Az Katlı	Orta Katlı	Çok Katlı
Kızılırmak Mahallesi	1 kat	2 kat	3 kat
Kimeski Mahallesi	1 kat	2 kat	3 kat
Kurtuluş Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8-9-10 kat
Osmangazi Mahallesi	1-2 kat	3-4-kat	5-12 kat
Ovacık Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9 kat
Sanayi Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8-13 kat
Selim Özer Mahallesi	1-2 kat	3-4 kat	5-6 kat
Tepebaşı Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8 kat
Yaylacık Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-10-11 kat
Yenidoğan Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-10 kat
Yenimahalle Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-10 kat
Yuva Mahallesi	1-2 kat	3-4 kat	5-6 kat

Şekil 7'de yer alan triyaj sınıfları arasındaki geçiş olasılıkları için, Bölüm 2' de bahsedildiği üzere stokastik süreci temsil eden Markov zinciri değerlerinden faydalanılmıştır (Wilson vd., 2013). Depreme maruz kalmış bir kişinin zaman içerisinde sağlık durumunun daha kötüye gitme riski vardır. Şekil 7' de gösterilen triyaj geçiş olasılıkları da kişilerin sağlık durumlarının yalnızca olumsuz duruma geçişini temsil etmektedir. Örneğin, geciktirilebilir yaralı (T2) grubunda olan bir kişi %95 olasılıkla T2 grubunda kalır ya da %5 olasılıkla sağlık durumu ağır yaralı (T1) grubuna geçebilir. Bütün triyaj sınıfları arasındaki geçiş olasılıklarının anlatıldığı süreç Şekil 7' de gösterilmiştir. Ayrıca Bölüm 2' de bahsedildiği gibi yapılacak triyaj işlemi ortalaması 5 dakika olan üstel dağılıma uyduğu varsayılmıştır.

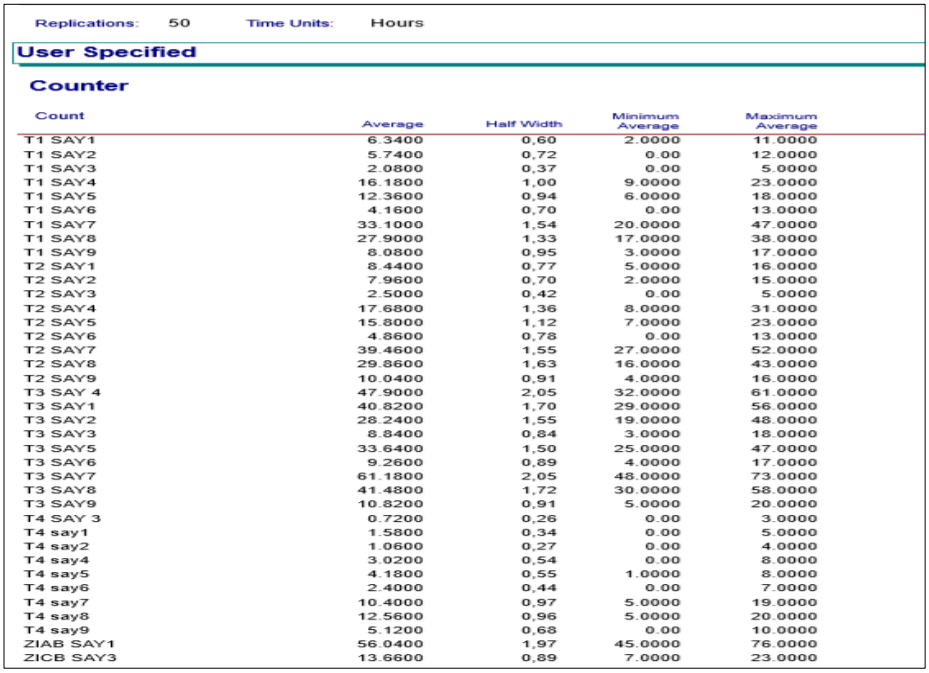


Şekil. 7. Kapana kısılmış bir zayiatın stokastik sürecini temsil eden Markov zinciri (Wilson vd., 2013)

Depremlerde arama kurtarma çalışmaları, sağlık müdahaleleri gibi birincil eylemlerin, depremden sonraki ilk 72 saat içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kurtarma süresi geciktikçe (48 saat sonra), yaşamda kalma oranı %10'a düşer (Işık vd., 2012). Dursun, vd. (2011) Van depremi sonrası bir hastaneye yapılan başvuruların ilk 7 gününü inceleyerek, deprem nedeni ile 1. gün 754, 2. gün 492, 3. gün 272, 4. gün 48, 5. gün 10, 6. gün 4 ve 7. gün ise 2 kişinin başvurduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu doğrultuda hastane başvuruların depremden sonraki ilk 72 saat içerisinde yoğun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, depreme bağlı ölümlerin azaltılması için, acil durum kaynaklarını bulmak, tahsis etmek ve yönlendirmeyi içeren ilk 72 saat çok kritiktir ve bu durum simülasyon ağ yapısına yansıtılarak simülasyon 72 saat çalıştırılmıştır.

3.3. Deprem Senaryosu Çıktıları

Simülasyonla deprem senaryosu oluşturulabilmesi için Rockwell ARENA simülasyon programı kullanılarak, INTEL(R) Core(TM) i7-5500 CPU ve 8 GB belleğe sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Her bir mahalle için 72 saat çalıştırılan, 50 kez tekrarlanan simülasyon sonuçları kaydedilerek, analizleri yapılmıştır. Simülasyon sonucunda referans alınan kısım RECORD modülüyle sayılan 9 farklı daldan çıkan T1, T2, T3 ve T4 yaralı gruplarıdır. Örneğin, Çalılıöz mahallesi için 50 kez çalıştırılan simülasyon sonuçlarının ortalama değerleri aşağıdaki Şekil 8' de gösterilmiştir. Simülasyon çalışmasının sonuçları Çalılıöz Mahallesi üzerinden değerlendirilecektir. Bu nedenle mahalleyle ilgili bazı spesifik bilgiler simülasyonun değerlendirilebilmesi için önem taşımaktadır. Mahalle, nüfus olarak Kırıkkale'nin en kalabalık mahallelerinden biridir. İl için önemli olan birçok kamu kurum ve kuruşlarına yakın mesafede bulunmaktadır. Zemin profili açısından belli bölgeleri risk taşırken, bazı bölgeler iyi durumdadır. Konumu itibariyle diğer mahalleler için hastanelere ulaşım açısından önemli bir konumda yer almaktadır.



Replications: 50 Time Units: Hours

User Specified

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
T1 SAY1	6.3400	0,60	2.0000	11.0000
T1 SAY2	5.7400	0,72	0.00	12.0000
T1 SAY3	2.0800	0,37	0.00	5.0000
T1 SAY4	16.1800	1,00	9.0000	23.0000
T1 SAY5	12.3600	0,94	6.0000	18.0000
T1 SAY6	4.1600	0,70	0.00	13.0000
T1 SAY7	33.1000	1,54	20.0000	47.0000
T1 SAY8	27.9000	1,33	17.0000	38.0000
T1 SAY9	8.0800	0,95	3.0000	17.0000
T2 SAY1	8.4400	0,77	5.0000	16.0000
T2 SAY2	7.9600	0,70	2.0000	15.0000
T2 SAY3	2.5000	0,42	0.00	5.0000
T2 SAY4	17.6800	1,36	8.0000	31.0000
T2 SAY5	15.8000	1,12	7.0000	23.0000
T2 SAY6	4.8600	0,78	0.00	13.0000
T2 SAY7	39.4600	1,55	27.0000	52.0000
T2 SAY8	29.8600	1,63	16.0000	43.0000
T2 SAY9	10.0400	0,91	4.0000	16.0000
T3 SAY 4	47.9000	2,05	32.0000	61.0000
T3 SAY1	40.8200	1,70	29.0000	56.0000
T3 SAY2	28.2400	1,55	19.0000	48.0000
T3 SAY3	8.8400	0,84	3.0000	18.0000
T3 SAY5	33.6400	1,50	25.0000	47.0000
T3 SAY6	9.2600	0,89	4.0000	17.0000
T3 SAY7	61.1800	2,05	48.0000	73.0000
T3 SAY8	41.4800	1,72	30.0000	58.0000
T3 SAY9	10.8200	0,91	5.0000	20.0000
T4 SAY 3	0.7200	0,26	0.00	3.0000
T4 say1	1.5800	0,34	0.00	5.0000
T4 say2	1.0600	0,27	0.00	4.0000
T4 say4	3.0200	0,54	0.00	8.0000
T4 say5	4.1800	0,55	1.0000	8.0000
T4 say6	2.4000	0,44	0.00	7.0000
T4 say7	10.4000	0,97	5.0000	19.0000
T4 say8	12.5600	0,96	5.0000	20.0000
T4 say9	5.1200	0,68	0.00	10.0000
ZIAB SAY1	56.0400	1,97	45.0000	76.0000
ZICB SAY3	13.6600	0,89	7.0000	23.0000

Şekil. 8. Kırıkkale Çalılıöz Mahallesi 72 saat sonucu simülasyon sonuçları

Simülasyon sonucunda Çalılıöz Mahallesi, zemin profili ve bina kat sayısı bilgilerine göre T1, T2, T3 ve T4 grubunda yer alan kişilerin yoğunluk olarak hangi alanlardan çıktığının sonuçları aşağıdaki Tablo 4'te gösterilmiştir. Simülasyon çalışması öncesinde Bölüm 3.2' de zemin profili iyi, orta ve kötü dağılımı Çalılıöz mahallesi için, iyi oranı %20, orta oranı %30 ve kötü oranı %50 olarak belirlenmişti. Tablo 4' te 2. sütunda yer alan bina kat sayı oranları ise Tablo 3' de açıklanmıştı. Simülasyon sonucunda Tablo 4'te belirtilen zayiat dağılım sonuçları incelendiğinde, Çalılıöz Mahallesi toplam nüfusunun %2.59'u depremde sağlık açısından zarar görmüştür. Deprem senaryosu çıktısının Çalılıöz Mahallesi için değerlendirilme sonuçları Tablo 4' te gösterilmiştir.

Tablo 4. Kırıkkale Çalılıöz Mahallesi simülasyon sonucunun analizi

ZEMİN PROFİLİ	BİNA KAT SAYISI	T1	T2	T3	T4	TOPLAM	TOPLAM ETKİ	YÜZDELİK
İYİ	AZ	6	8	41	2	57	115	20%
	ORTA	6	8	28	1	43		
	ÇOK	2	3	9	1	15		
ORTA	AZ	16	18	48	3	85	171	30%
	ORTA	12	16	34	4	66		
	ÇOK	4	5	9	2	20		
KÖTÜ	AZ	33	39	61	10	143	290	50%
	ORTA	28	30	41	13	112		
	ÇOK	9	10	11	5	35		
	TOPLAM	116	137	282	41	576	Toplam Nüfus: 22254	

Çalışma kapsamında yer alan Kırıkkale merkez 28 mahallesinin deprem senaryosu sonuçları aşağıdaki Tablo 5' de gösterilmiştir. Simülasyon sonucu ağır yaralı(T1) sayısı 880, geciktirilebilir (T2) yaralı sayısı 1057, hafif yaralı(T3) sayısı 2588 ve ölü (T4) sayısı 289 olmuştur. Toplam nüfusun yaklaşık %2.55 deprem sonucu sağlık durumlarının zarar görmesi nedeniyle etkileneceği öngörülmüştür.

Tablo 5. Kırıkkale deprem senaryosu simülasyon sonuçları

Mahalle Adı	T1	T2	T3	T4	Toplam	Toplam Nüfus	Etkilenme Oranı
Çalılıöz Mahallesi	116	137	282	41	576	22254	2,59%
Bağlarbaşı Mahallesi	49	59	191	13	312	12132	2,57%
Akşemsettin Mahallesi	1	1	4	0	6	214	2,83%
Bahçelievler Mahallesi	49	58	113	18	238	9189	2,59%
Çullu Mahallesi	4	4	15	1	24	947	2,59%
Aşağımahmutlar Mahallesi	6	7	31	1	45	1785	2,58%
Etiler Mahallesi	36	44	148	10	238	9245	2,57%

Tablo 5. (devam) Kırıkkale deprem senaryosu simülasyon sonuçları

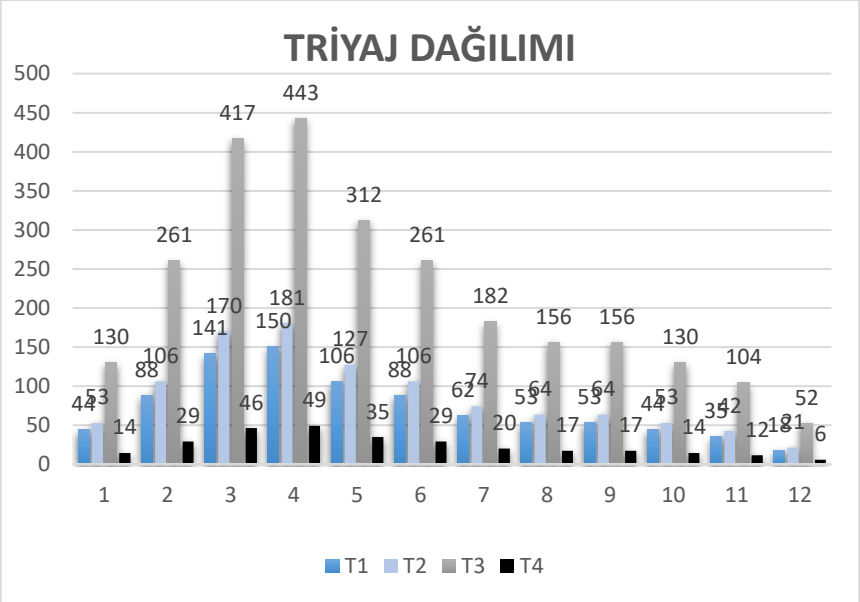
Mahalle Adı	T1	T2	T3	T4	Toplam	Toplam Nüfus	Etkilenme Oranı
Fabrikalar Mahallesi	15	18	28	7	68	2632	2,60%
Fatih Mahallesi	1	1	4	0	6	218	2,83%
Gündoğdu Mahallesi	22	28	90	6	146	5688	2,58%
Gürler Mahallesi	41	50	110	15	216	8377	2,58%
Güzeltepe Mahallesi	39	47	125	13	224	8670	2,57%
Hüseyinkahya Mahallesi	20	24	62	6	112	4336	2,58%
Kaletepe Mahallesi	63	76	248	17	404	15738	2,57%
Karşıyaka Mahallesi	24	21	49	6	100	6265	1,75%
Kırıkköyü Mahallesi	4	5	15	1	25	965	2,65%
Kızılırmak Mahallesi	2	2	6	1	11	391	2,64%
Kimeski Mahallesi	3	4	13	1	21	787	2,60%
Kurtuluş Mahallesi	23	29	62	8	122	4708	2,58%
Osmangazi Mahallesi	18	20	59	5	102	3937	2,59%
Ovacık Mahallesi	35	44	77	14	170	6580	2,59%
Sanayi Mahallesi	70	83	148	25	326	12582	2,59%
Selim Özer Mahallesi	24	30	60	8	122	4699	2,59%
Tepebaşı Mahallesi	39	45	96	15	195	7494	2,58%
Yaylacık Mahallesi	70	81	181	26	358	13876	2,58%
Yenidoğan Mahallesi	8	10	30	3	51	1999	2,57%
Yenimahalle Mahallesi	71	86	274	19	450	17569	2,57%
Yuva Mahallesi	27	33	66	9	135	5161	2,61%
Toplam	880	1047	2587	289	4803	188438	2,55%

Çalışmada dinamik bir deprem senaryosu geliştirilebilmesi için ARENA programında, 72 saat çalıştırılan simülasyon sonuçları her bir mahalle için 6' şar saatlik zaman dilimlerine ayrılmıştır. Bölüm 3.2'de bahsedilen deprem sonrası ilk 72 saatin önemi nedeniyle simülasyonda yaralıların 1.gün %48'i, 2.gün %35'i ve 3.gün ise %17'sinin oluşacağı varsayımı kabul edilmiştir. Çıkan sonuçlar aşağıdaki Tablo 6' da gösterilmiştir.

Tablo 6. 72 saatlik simülasyon sonuçlarının 6 saatlik zaman dilimlerine ayrılması

Zaman Aralıkları (Saat)	T1	T2	T3	T4	Toplam
0 6	44	53	130	14	242
6 12	88	106	261	29	484
12 18	141	170	417	46	775
18 24	150	181	443	49	823
24 30	106	127	312	35	580
30 36	88	106	261	29	484
36 42	62	74	182	20	339
42 48	53	64	156	17	291
48 54	53	64	156	17	291
54 60	44	53	130	14	242
60 66	35	42	104	12	194
66 72	18	21	52	6	97
Toplam	**884**	**1062**	**2605**	**290**	**4841**

Tablo 6' da elde edilen sonuçlar aynı zamanda grafikle değerlendirilerek Şekil 9 elde edilmiştir. Şekil 9' un yatay ekseni yukarıda bahsi geçen 72 saatin 6' şar saatlik zaman dilimlerini, dikey eksen ise zaman dilimlerinde ortaya çıkan T1, T2, T3 ve T4 triyaj gruplarında bulunan kişi sayısını göstermektedir. Şekil 9' a göre deprem sonrası ilk 72 saat değerlendirildiğinde, depremden etkilenen kişi sayısı ilk 24 saatte (1-4 zaman dilimleri) oldukça yoğun olup, daha sonrasında ise depremden etkilenen kişi sayısı giderek azalmıştır. Ağır yaralı ve ölü sayısı 3. ve 4. zaman dilimlerinde en fazladır. Bu nedenle deprem sonrası arama kurtarma çalışmalarında can kayıplarının azaltılabilmesi için, bu zaman dilimlerinde gerçekleştirilecek faaliyetler oldukça önem taşımaktadır.



Şekil. 9. 6 saatlik zaman dilimlerine göre yaralı dağılımları

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, Bölüm 2' de bahsedilen deprem sonrası hasara etki eden zemin profili ve bina kat sayısı parametrelerine göre değerlendirildiğinde, zemin profili kötü ve çok katlı binalarda depremden etkilenen kişi sayısı daha fazladır. Örneğin, deprem senaryosu çıktılarının verildiği Tablo 5' e göre depremden en çok etkilenen mahalle Çalılıöz mahallesidir ve Tablo 1' e bakıldığı zaman, mahallenin %50 oranında zemin profili kötüdür ve Tablo 2'ye göre ise, mahallede 8, 9, 10 ve 11 katlı yapıların mevcut olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda deprem sonrası hasar durumunu, zemin profili ve bina kat sayısı parametreleri önemli ölçüde etkilemiştir. Deprem senaryosu oluşturulurken dikkate alınan parametrelere ek olarak nüfus yoğunluğu, özellikle Tablo 1' de verilen zemin profili kötü oranının yüksek olduğu mahallelerde kentleşmenin yoğun olmasından dolayı Kırıkkale ilinde hasar yapıcı bir deprem meydana geldiği zaman, kayıpların beklenilenden daha fazla olmasına neden olacaktır. Olası bir deprem sonrası, oluşabilecek kayıplar tamamen engellenemez. Fakat Kırıkkale kent örneği için deprem sonrası kayıp tahmin analizi sonuçları gibi deprem senaryosu çıktıları kullanılarak yapılan planlamalar ve düzenlemelerin; hizmet verecek personel, hizmet alacak kişiler ve yönetilecek süreç açısından daha etkili ve verimli bir hale geleceği düşünülmektedir.

4. Sonuç

Tarihin her döneminde depremler oldukça çok yaşanmaktadır. Depremler başta fiziki kayıplar olmak üzere, sosyal, ekonomik ve psikolojik kayıplara yol açmaktadır. Türkiye konumu itibariyle etkileri yüksek olan sığ depremlere maruz kalmaktadır. Hasar yapıcı depremlerin en sonuncusu 24 Ocak 2020 tarihinde, merkez üssü Sivrice olan Elâzığ ilinde Ms 6.8 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Depremin etkileri fiziki kayıp olarak değerlendirildiğinde, 41 can kaybı ve 1607 yaralı vardır. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde ise, 1287 binada ağır hasar, 56 binada orta ve 876 binada da az hasar oluşmuştur. Deprem sonucu meydana gelen hasarın azaltılabilmesi için, depremlerde kriz yönetim sürecinin önceden iyi bir şekilde planlanması gerekmektedir. Bu nedenle olası bir deprem sonucunda oluşabilecek hasarın gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilmesi önem taşımaktadır. Bu durum, deprem sonrası kayıpların tahmin edilebilmesinin önemini ve bilimsel çalışmaların gerekliliğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada Kırıkkale ilinde meydana gelebilecek Ms 6.8 büyüklüğünde bir depremin oluşturabileceği kayıplar tahmin edilmiştir. Çalışma kapsamında kayıpların fiziksel boyutu ele alınmıştır. Çünkü olası bir hasar yapıcı deprem sonrasında yürütülen çalışmaların en temel amacı can kayıplarının en aza indirgenmesidir. Ekonomik, sosyal ve psikolojik faktörler, oluşan fiziki kayıpların gerisinde yer almaktadır. Bu nedenle deprem senaryosu oluşturulurken çıktı olarak ağır yaralı, hafif yaralı ve ölü sayısı toplamı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu tahminlerin gerçekçiliğinin sağlanması ile deprem sonrası kriz yönetim sürecinde yöneticilerin daha hızlı karar vererek, kaynakların daha düzenli ve hızlı bir şekilde dağıtımı sağlanabilir.

Deprem senaryosu, simülasyon ile oluşturulmuştur. Simülasyon ile oluşturulmasındaki en temel amaç aynı anda birden fazla parametrenin değerlendirilebilmesine olanak sağlamasıdır. Birden fazla parametreyi ele alan stokastik (olasılıksal) modellere göre daha hızlı ve ekonomik sonuçlar üretmektedir. Simülasyon kullanımında başka bir avantaj ise, Kırıkkale ili için oluşturulan yapı başka illerin kullanımı içinde uygun olmasıdır. Simülasyon tekrarlanma sayısı artırılarak sonuçlar daha gerçekçi bir hale getirilebilir. Daha önce ele alınmış deprem sonrası kayıpların tahmin edilmesi çalışmalarında simülasyon programı kullanılmamıştır. Bu durum çalışmanın özgünlüğü açısından önemlidir ve senaryo oluşturulması için farklı bir bakış açışı sunmaktadır.

Çalışma kapsamında deprem sonrası hasar tahmini için zemin profil bilgisi ve bina kat sayıları bilgileri baz alınmıştır. Gelecekte yapılan çalışmalarda bu parametrelere ek olarak depremin meydana geldiği odak derinlik noktası bir diğer parametre olarak simülasyon ağına eklenerek sonuçların gerçekçiliği artırılabilir. Eklenen her bir parametrenin deprem hasarına etki durumu sayısal

açıdan değerlendirilebilir. Gelecekte yapılabilecek çalışmalar için bir diğer nokta ise çalışmada ele alınan Kırıkkale ili merkez mahallelerinin hasar durumları ayrı ayrı elde edilmiştir. Ağ yapısı daha kapsamlı bir hale getirilerek tek bir simülasyon ile çıktı üretilmesi istenen bölgenin kayıp tahmin analizleri tek seferde ve daha kısa zamanda elde edilebilir. Elde edilen sonuçların analiz programları kullanılarak ya da algoritmik hesaplarla değerlendirilmesi çalışmanın özgün değerini arttıracaktır.

Referanslar

Akbaş, B., & Akdeniz, N., & Aksay, A., & Altun, İ., & Balcı, V., & Bilginer, E., & Bilgiç, T., &Duru, M., & Ercan, T., & Gedik, İ., & Günay, Y., & Güven, İ.H., & Hakyemez, H. Y., & Konak, N., & Papak, İ., & Pehlivan, Ş., & Sevin, M., & Şenel, M., &Tarhan, N., & Turhan, N., & Türkecan, A., & Ulu, Ü., & Uğuz, M.F., & Yurtsever, A. ve diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye.

Babüroğlu, S. (1998). Deprem ve Devlet. Ankara: TBMM Vakıf Ofset Tesisi Yayını.

Crozi, M., & Galetto, R., & Spalla, A., (2005). A Web GIS for Managing Post-Earthquake Emergencies. First International Symposium on Disaster Management Gi4DM, Delft, Mart 21-23, 2005, 1269-1270.

Doğan, M. (2015). İl bazında afet lojistiği: Kocaeli ili örneği. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

Dursun, R., & Görmeli, C. A., & Görmeli, G. (2012). 2011 Van depremi sonrası Van bölgesi Eğitim ve Araştırma Hastanesine başvuran olguların değerlendirilmesi. Ulus Travma Acil Cerrahi Dergisi, 18(3), 260-264. doi: 10.5505/tjtes.2012.05863

Emre, Ö. & Duman, T.Y., & Özalp, S., & Elmacı, H., & Olgun, Ş. & Şaroğlu, F. (2013), 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye

Fahjan, Y., & Pakdamar, F., & Eryılmaz, Y., & Kara, İ. (2015). Afet planlamasında deprem riski belirsizliklerinin değerlendirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Araştırma Dergisi.

Işık, E., & Sağır Ç., & Tozlu, Z., & Ustaoğlu, Ü. S., (2019). Farklı deprem senaryolarına göre Kırşehir ili kayıp tahmin analizleri. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1): 80-93, doi: 10.21324/dacd.432592

Işık, Ö.,& Aydınlıoğlu, H. M., & Koç, S., Gündoğdu, O., & Korkmaz, G., & Ay, A. (2012), Afet yönetimi ve afet odaklı sağlık hizmetleri. Okmeydanı Tıp Dergisi, 28(Ek sayı 2), 82-123 doi:10.32003/iggei.424675.

JICA, 2000. Japan International Cooperation Agency and Istanbul Metropolitan Municipality (IMM), The Study on A Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in Istanbul Including Seismic Microzonation in the Repuclic of Turkey, Aralık Final Raporu.

Karaman, H., (2008). Afet planlamasında deprem riski belirsizliklerinin değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Karaman, H., & Şahin, M. (2009). Zeytinburnu ilçesi için deprem hasar tahmini çalışması. İTÜ Dergisi/d Mühendis, 8(3), 91-101.

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERİ), (2003). Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitian Area, Boğaziçi Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Bölümü Mayıs Final Raporu.

Koçyiğit, A. (2000). Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri uygulamalı çalışma. Türkiye Petrol Jeologları Özel Sayı 5, 1-26.

Koçyiğit, A., (2008). Ankara'nın depremselliği ve 2005-2007 Afşar (Bala-Ankara) Depremlerinin kaynağı. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, No 6, 1-7, 2008.

Küçükçoban, S.,2004. Development of a Software for Seismic Damage Estimation:CaseStudies. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özmen, B., & Can, H. (2016). Ankara için deterministik deprem tehlike analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 31(1), 9-18. doi:31. 10.17341/gummfd.12493.

Özmen, B. (2002). İstanbul ili için deprem senaryoyosu. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını Türkiye Mühendislik Haberleri, S;417.

Pektaş, T. (2012). İlçe bazında afet lojistiği: Başakşehir uygulaması. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

Sönmezer, B. Y., & Çeliker, M., & Kılınç, Y. M. (2012). Kırıkkale ili Bahçelievler ve Fabrikalar Mahallelerinin sıvılaşma potansiyelinin coğrafi bilgi sistemlerinde analizi. International Journal of Engineering Research and Development, 4(1), 33-40.

Sönmezer, B. Y., & Akbaş, S. O., & Işık N. S. (2015). Kirikkale ili yerleşim alani için en büyük ivme, zemin büyütmesi ve hakim titreşim periyodu özelliklerinin değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(4), 711-721.

Rojay, B., & Koçyiğit, A. (2009). Kuzey Anadolu Fay Sistemi' nin orta kesimi içinde aktif bir birleşik çek-ayır havza: Merzifon-Suluova Havzası. Türkiye" 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 822-823.

Taşlıova, K., (2010). İstanbul ili esenler ilçesi deprem hasar tahmin analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Temur, G. T., & Turgut, Y., & Yılmaz, A., & Arslan, Ş., & Camcı, A.(2019). Deprem sonrası planlamaya yönelik lojistik ağ tasarımı: Ümraniye bölgesinde farklı deprem senaryoları için bir uygulama. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(1), 98-105. doi: 10.5505/pajes.2018.11736

Türkiye Diri Fay Haritası Kırşehir paftası, (2015). (NJ 36-3) Seri no 25, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara,

Walker, G., (1999). Flood Loss Estimation – It Can Be Done, AII Flood Seminar, 21Mayıs, 1999, GRW Aon Re Australia.

Wilson, D., & Hawe, G., & Coates, G., & Crouch, R. (2013). A multi-objective combinatorial model of casualty processing in major incident response. European Journal of Operational Research, 230. 643–655. doi:10.1016/j.ejor.2013.04.040.