

# Afet Dirençliliğinde Dijital Dönüşüm: Sismik Dijital İkizlerin Rolü

Mustafa Korkmaz<sup>1</sup>

A. Can Zulfikar<sup>2</sup>

Sevilay Demirkessen<sup>3</sup>

## Özet

Dijital dönüşüm, hazırlık, müdahale ve kurtarma çabalarını desteklemek için teknolojinin kullanılması yoluyla afetlere karşı dirençliliğin artırılmasında bir temel taşı olarak değerlendirilmektedir. Topluluklar, dijital araçlardan ve yenilikçi teknolojilerden yararlanarak doğal afetlerin ve diğer acil durumların etkilerini öngörme, hafifletme ve bunlardan kurtulma becerilerini geliştirebilirler. Bu bölümde dijital dönüşümün afetlere dirençlilik üzerindeki çok yönlü etkisi incelenmiş ve çeşitli boyutlardaki derin etkisi açıklanılmaya çalışılmıştır.

Araştırılan önemli yönlerden biri, karar vericilere gerçek zamanlı içgörüler ve tahmin yetenekleri sağlayan gelişmiş veri analitiğinin entegrasyonudur. Büyük veri kümelerinin analizi yoluyla modeller belirlenebilir, güvenlik açıkları değerlendirilebilir ve müdahale stratejileri optimize edilebilir, böylece daha etkili bir afet yönetimi süreci elde edilmiş olur.

Dahası, Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarının yaygınlaşması, çevresel koşulları izleyebilen, tehlikeleri tespit edebilen ve acil durumlarda hızlı iletişimi kolaylaştırabilen birbirine bağlı sensörler ve cihazlardan oluşan bir ağ sağlayarak afet müdahalesinde devrim yaratmıştır. Bu birbirine bağlılık, hızlı ve koordineli müdahale çabalarına, zamanında müdahalelere ve durumsal farkındalığın artırılmasında olanak tanımaktadır.

1 Gebze Teknik Üniversitesi. İnşaat Mühendisliği Bölümü, mkorkmaz@gtu.edu.tr  
0000-0002-5767-3703

2 Doç Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Enstitüsü, aczulfikar@itu.edu.tr,  
0000-0001-6610-3334

3 Doç. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, demirkessen@gtu.edu.tr,  
0000-0002-8627-6328

Ayrıca yapay zeka (AI) teknolojileri, görevleri otomatikleştirmek, karmaşık veri kümelerini analiz etmek ve afet yönetiminde karar verme süreçlerini geliştirmek için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yapay zeka, tahmine dayalı modellemeden otomatik hasar değerlendirmelerine kadar, felaketlere hazırlık ve tepki verme yöntemlerinde devrim yaratma, operasyonları kolaylaştırma ve bu süreçte hayat kurtarma potansiyeline sahiptir.

Dijital dönüşüm, felaketlere karşı dirençliliği artırmak için muazzam fırsatlar sunarken aynı zamanda veri gizliliği endişeleri, dijital uçurumlar ve siber güvenlik riskleri gibi zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek, afetlere dayanma ve afetlerden sonra toparlanma kapasitesine sahip daha dirençli topluluklar oluşturmada dijital teknolojilerin tam potansiyelinin farkına varılmasında hayati önem taşıyacaktır.

## 1. Giriş

Hâlihazırda karmaşık ve bağlantılı alt sistemlere sahip olan şehirler, teknolojik gelişmeler ve hızlı kentleşme sebebiyle, insan yapımı veya doğal tehlikelere karşı daha kırılgan hale gelmektedir [1]. Bu etkiler, zaten zor bir süreç olan Afet Risk Yönetimi (ARY) sürecini, daha karmaşık hale getirmektedir. Sonuç olarak, bu zorlukların etkili bir şekilde ele alınabilmesi ve kent sakinlerinin güvenliğinin ve refahının sağlanabilmesi için ARY'ye yönelik yenilikçi yaklaşımlara artan bir ihtiyaç bulunmaktadır. Bu tür yaklaşımlardan biri, şehirlerin ve altyapılarının sanal modellerini oluşturmak için dijital teknolojilerden yararlanan sismik dijital ikizlerin kullanılmasıdır. Bu dijital ikizler, binaların, altyapı sistemlerinin ve insan faaliyetlerinin de dahil olduğu kentsel çevrenin bütünsel ve dinamik bir temsilini sağlamaktadır. Gerçek zamanlı veri ve simülasyon yeteneklerini bir araya getiren sismik dijital ikizlerin, durumsal farkındalığı artırarak, riskleri tahmin ederek ve azaltarak, bilinçli karar almayı mümkün kılarak afetlere karşı dayanıklılıkta kritik bir rol oynayabileceği öngörülmektedir.

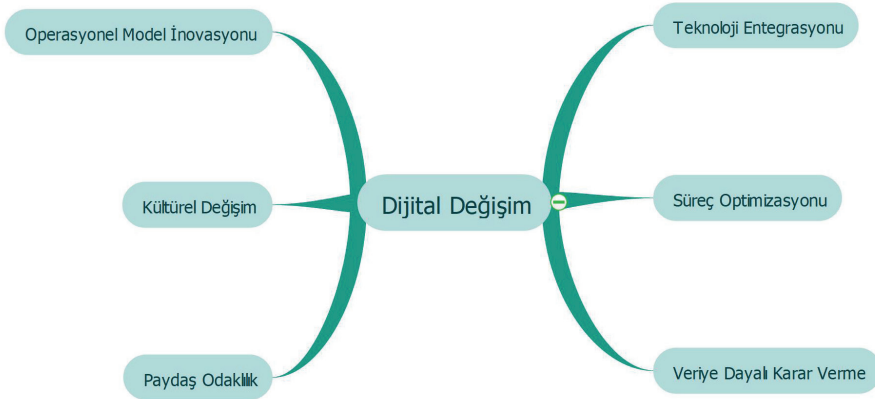
Günümüzün hızlı ve birbirine bağlı dünyasında, üretilen ve toplanan veri miktarı, etkili analiz ve yorumlama için yeni yaklaşımlar ve araçlar gerektirmektedir. Kuruluşlar, yalnızca otomasyon için değil, aynı zamanda ARY yeteneklerini ve dirençliliklerini geliştirmek için teknolojiden yararlanma ihtiyacının farkına varmışlardır [2]. Analistlerin, bilim adamlarının ve karar vericilerin odak noktalarını verilerin mikro yönetiminden, değerli içgörüler elde etmeye ve sistemin verimliliğini artırmaya kaydırmalarını sağlamak için ARY'de uygun teknolojinin edinilmesi çok önemli bir hale gelmiştir. Bu, dijital dönüşümün uygulanmasıyla başarılabilir.

Dijital dönüşüm, sensörler, İHA'lar [3,4], uydu görüntüleri[5-7], sosyal medya [8-10] ve kamu kayıtları gibi çeşitli kaynaklardan gelen büyük hacimli

verileri entegre edip analiz edebildiği için bu zorluğa umut verici bir çözüm sunmaktadır. Afet yönetimi kurumları, dijital dönüşümden yararlanarak deprem izleme sistemleri, hava durumu sensörleri ve sosyal medya yayınları gibi birden fazla kaynaktan gelen gerçek zamanlı verileri izlemek ve analiz etmek için sismik dijital ikizlerin gücünden yararlanabilir. Bu, potansiyel risklerin hızlı bir şekilde tespit edilmesine ve etkilenen toplulukların korunması ve desteklenmesi yeteneğinin geliştirilmesine olanak tanır. Ayrıca dijital dönüşüm, risk değerlendirmesi ve tahmini için daha doğru ve dinamik modellerin geliştirilmesini kolaylaştırarak afete hazırlık, müdahale, iyileştirme ve hafifletme çabalarını güçlendirebilir. Bu bağlamda, dijital dönüşümün afet direnci ve yönetiminde devrim yaratabilecek potansiyele sahip olduğu söylenebilir.

Dijital dönüşüm, işletmelerin veya kuruluşların tüm yönlerine dijital teknolojinin entegre edilmesini, temel işleyiş şekillerinin değiştirilmesini ve müşterilere veya paydaşlara değer sağlamayı hedefleyen stratejik bir süreçtir [11]. Bu kapsamlı değişim, bulut bilişim [12], yapay zeka (AI) [13–15], büyük veri analitiği [16,17], Nesnelerin İnterneti (IoT) [18] gibi çeşitli dijital teknolojilerin benimsenmesi ve entegrasyonu ile ortaya çıkmaktadır. Kuruluşlar, süreçlerini dijital dönüşüm aracılığıyla optimize ederek, daha verimli, çevik ve duyarlı hale getirmeye çalışmaktadır.

Dijital dönüşümün temelinde, veriye dayalı içgörülerin kullanılması yer alır; bu da karar verme süreçlerini bilgilendirmek, eğilimleri tahmin etmek ve yenilik için yeni fırsatları belirlemeyi amaçlar [19]. Ayrıca, kuruluşlar dijital kanallardan, kişiselleştirilmiş etkileşimlerden ve yenilikçi ürün veya hizmetlerden yararlanarak paydaş deneyimini geliştirmeye odaklanmaktadır. Başarılı bir dijital dönüşüm sürecine ulaşmak aynı zamanda kuruluş içinde inovasyon, işbirliği ve sürekli öğrenme kültürünün teşvik edilmesini de gerektirir. Dahası, dijital dönüşüm, kuruluşları dijital teknolojilerin mümkün kıldığı değer akışlarını, organizasyonel modelleri ve değer önerilerini eklemenin yeni yollarını keşfetmeye teşvik eder. Dijital dönüşümün yalnızca yeni teknolojiyi benimsemekle ilgili olmadığını, aksine teknolojiyi, insanları, süreçleri ve stratejiyi kapsayan bütünsel bir yaklaşımın yönetilmesiyle ilgili olduğunu anlamak önemlidir. Sonuç olarak, dijital dönüşüm, kuruluşların giderek daha dijital hale gelen bir dünyaya ayak uydurabilmeleri, anlamlı bir değişime yol açabilmeleri ve sürdürülebilir değer yaratabilmeleri için stratejik bir zorunluluktur.



*Şekil 1. Dijital Dönüşümün Temel Unsurları*

Bu bölüm, dijital ikizler özelinde, dijital teknolojilerin afet yönetimi ortamını yeniden şekillendirdiği çeşitli yolları inceleyerek dijital dönüşüm ve afetlere dayanıklılık arasındaki çok yönlü ilişkiyi keşfetmeyi amaçlamaktadır. Erken uyarı sistemlerinin entegrasyonundan veri analitiğine, iletişim ve koordinasyona kadar, dijital dönüşüm, afet yönetiminin her düzeyde verimliliğinin artırılması için katalizör görevi görmelidir. Bu bölüm, afetlere karşı dirençliliğe yönelik dijital dönüşümün temel bileşenlerini, zorluklarını, fırsatlarını ve gelecekteki eğilimlerini inceleyerek, teknolojinin afetlere karşı dayanıklılığı artırmadaki rolünün kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

Afet Risk Yönetimi (ARY), doğal ve insan kaynaklı felaketlerle ilişkili risklerin tanımlanması, değerlendirilmesi ve azaltılmasına yönelik sistematik bir yaklaşımdır. Bu kapsamda, afetleri önlemeyi, hafifletmeyi, hazırlık yapmayı, müdahale etmeyi ve felaketten kurtulmayı amaçlayan bir dizi koordineli eylem bulunmaktadır. ARY, toplumların, işletmelerin ve hükümetlerin afetlerin etkilerine karşı savunmasızlığını azaltmayı amaçlayan çeşitli faaliyetleri, stratejileri ve politikaları kapsar.

Bu süreçte, ilk adım potansiyel tehlikelerin, zayıf noktaların ve toplulukların, altyapının ve varlıkların deprem, sel, kasırga, salgın hastalık gibi afetlere maruz kalmasının belirlenmesi ve değerlendirilmesini içeren kapsamlı bir risk değerlendirmesidir. Bu değerlendirmeyi takiben, risklerin olasılığını ve etkilerini azaltmayı ve hafifletmeyi amaçlayan önlemler uygulanır. Bu önlemler, mühendislik çözümleri, stratejik arazi kullanım planlamaları, altyapı iyileştirmeleri, ekosistem restorasyonları ve kırılabilirlikleri en aza indirirken dirençliliği artırmayı hedefleyen diğer stratejileri içerebilmektedir.

Hazırlık ve Erken Uyarı Sistemleri, afet risklerinin yönetilmesi ve hızlı, etkili müdahalelerin sağlanması açısından önemlidir. Bu kapsamda, hazırlık planlarının, erken uyarı sistemlerinin ve müdahale stratejilerinin oluşturulması yer almaktadır. İletişim ağlarının oluşturulması, müdahale ekiplerine eğitim verilmesi, tatbikatlar yapılması ve toplulukların eğitilmesi bu sürecin önemli unsurları arasındadır.

Afet zamanlarında Müdahale ve Acil Durum Yönetimi, çabaları koordine ederek, kaynakları harekete geçirerek ve etkilenen nüfusa yardım sağlayarak hayati önem taşır. Bu kapsamda, arama ve kurtarma operasyonları, tıbbi bakım sağlanması, ihtiyaç sahibi kişilerin barındırılması ve yardım malzemelerinin dağıtılması gibi faaliyetler yer almaktadır.

Daha sonra İyileşme ve Rehabilitasyona odaklanmak, etkilenen topluluklara altyapı/geçim kaynaklarının yeniden inşasında yardımcı olmayı, hayatta kalanlara psikososyal destek sağlamayı ve gelecekteki felakete karşı önleyici tedbirlerin uygulanmasını amaçlamaktadır. Bu bileşenlerin kapsamlı bir yaklaşımı, afetlere karşı toplumsal dayanıklılığı artırırken afetlerin etkilerini en aza indirmeyi hedefler.

ARY, özellikle sismik olarak etkin bölgelerde toplum güvenliği ve refahının kritik bir parçasıdır. Sismik olaylar, ani başlangıçları ve yaygın etkileriyle kentsel alanlar için önemli bir tehdit oluşturur. Bu nedenle, karar vericilerin sismik olaylarla ilişkili riskler ve zorluklar hakkında kapsamlı bir anlayışa sahip olmaları ve bu etkileri hafifletmek için mevcut araçlar ve kaynakları kullanmaları gerekmektedir [20].

Genel olarak, ARY, dijitalleştirilecek, uyumlu hale getirilecek, işlenecek, analiz edilecek ve görselleştirilecek çeşitli veri kaynakları ve süreçlerini içeren birçok temel unsurdan oluşmaktadır. Bu çerçevede, topluluklar ve hükümet organları gibi çeşitli düzeylerdeki paydaşların gereksinimlerinin ve tercihlerinin dikkate alınması önemlidir. Ayrıca, ARY için tek bir formatta, kesin ve güncel veriler sağlayan kapsamlı veri tabanları oluşturma gerekliliği de vurgulanmaktadır.

Sismik riskin yönetimiyle ilgili zorluklar arasında veriyle ilgili sınırlamalar ve kalite sorunları önemli bir yer tutar. Özellikle, kentsel alanlarda veri toplamanın parçalı doğası, paydaşların özel ihtiyaçlarına göre biçimlendirilmiş kendi veri tabanlarını kullanması nedeniyle verilerle ilgili sınırlamalar ortaya çıkar. Bu durum, sismik riskler ve hasar görülebilirliklere ilişkin kapsamlı ve kesin bilgilerin eksikliğine yol açabilir, bu da etkin sismik risk yönetiminin önünde bir engel teşkil eder. Ayrıca, altyapı sistemleri içindeki karmaşık bağlantılar, sismik dirençliliğin artırılmasına yönelik kapsamlı bir yaklaşımı gerektirir.

Sismik riskle ilgili karmaşıklık ve öngörülemezlik, deprem etkilerinin etkili bir şekilde değerlendirilmesini ve yönetilmesini zorlaştırır. Güçlendirme projelerine öncelik verilmesi, iç içe geçmiş teknik, sosyal, ekonomik ve çevresel faktörlerden kaynaklanan engellerle karşı karşıya kalabilir. Bu da mühendislik, kentsel planlama, sosyal bilimler ve politika oluşturma gibi alanlar arasında disiplinler arası iş birliği gerekliliğini ortaya çıkarır.

Sismik olaylar öncesinde veya sırasında kaynakların yönetilmesi, malzeme ve vasıflı işgücünün finansmanında kısıtlamalarla karşılaşabilir. Bununla birlikte, kamu kurumları ve kar amacı gütmeyen yerel topluluklar arasındaki politikaların uyumlaştırılması da bir zorluk olabilir ve etkin risk yönetimi stratejilerini geciktirebilir. Ayrıca, paydaşların katılımı ve halkın deprem riskleri konusunda bilinçlendirilmesi gibi hazırlık faaliyetlerine yönelik daha iyi bir anlayış elde etmek de bir zorluk olabilir [21].

Genel olarak, sismik afet yönetimi hazırlık, zarar azaltma, müdahale ve kurtarma olarak dört temel aşamaya ayrılır. Bu aşamalar birbiriyle bağlantılıdır ve sıklıkla iç içedir; her bir aşamadaki faaliyetler sismik olayların genel etkisini azaltmak için planlanmakta ve yürütülmektedir.



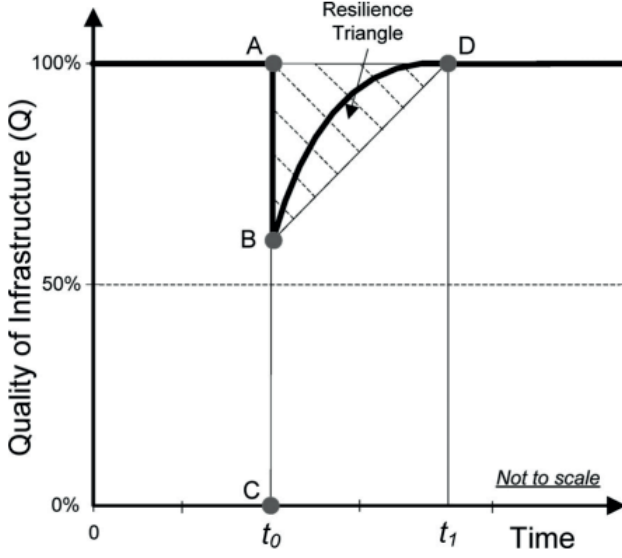
Şekil 2. Afetlerin Evreleri

Bu aşamalar arasında tehlikelerin belirlenmesi, risklerin değerlendirilmesi ve güvenlik açıklarını en aza indirecek önlemlerin uygulanması yer alır. Bu önlemler, yapım yönetmelikleri, arazi kullanım planlaması ve altyapı iyileştirmeleri gibi çeşitli alanlarda gerçekleştirilir. Hazırlık faaliyetleri ise afetler meydana gelmeden önce gerçekleşir ve bireylerin, toplulukların ve kuruluşların etkili bir şekilde müdahale etme yeteneklerini geliştirmek için planlama, eğitim ve kaynak tahsisini içerir. Bu aşama, acil durum müdahale planlarının geliştirilmesini, tatbikat ve tatbikatların yapılmasını ve acil durum malzemelerinin stoklanmasını içerir.

Bir afet meydana geldiğinde ise, etkilenen nüfusun ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik acil eylemlere odaklanan müdahale aşaması devreye girer. Bu aşama, arama kurtarma operasyonları, tıbbi bakım ve barınma sağlanması, iletişim sistemlerinin kurulması ve hasarın değerlendirilmesi gibi çeşitli faaliyetleri içerir. Acil kriz yönetildikten sonra, etkilenen toplulukları normal ve dirençli bir duruma döndürmeyi amaçlayan iyileşme aşaması başlar. Bu aşama, altyapı ve üstyapıların yeniden inşası, ekonomik toparlanmayı ve geçim kaynaklarının yeniden oluşturulmasını desteklemeyi, psikososyal destek sağlamayı ve gelecekteki felakete karşı dirençliliği güçlendirmeyi içerir.

Afet yönetiminin her aşaması, afetlerin yaşamlar ve geçim kaynakları üzerindeki etkisini en aza indirmeyi ve etkilenen topluluklarda dayanıklılık oluşturmayı amaçlayan, durumun ihtiyaçlarına göre uyarlanmış belirli eylemleri içerir. Kamu Kurum ve Kuruluşları, tüm aşamalarda kapsamlı stratejiler uygulayarak afetlere daha iyi hazırlanabilir, müdahale edebilir ve afetlerden kurtulabilir.

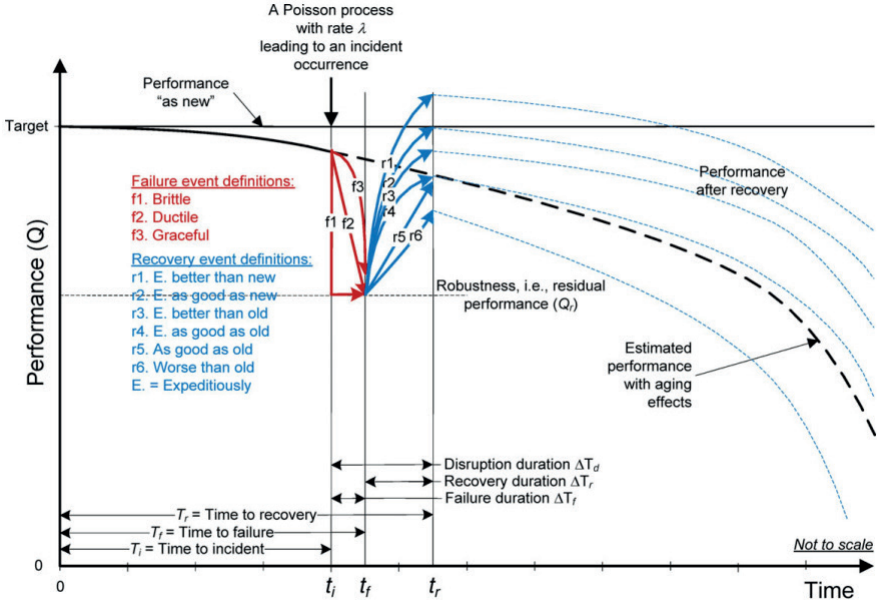
Dirençlilik kavramı, mühendislik ve afet risk yönetimine girmeden önce ekoloji, fizik, psikoloji ve psikiyatri gibi çeşitli alanlarda uygulanmıştır [22–25]. ARY bağlamında dirençlilik, bir sistemin veya topluluğun bir afetin etkilerine dayanma ve bu etkilerden kurtulma, aynı zamanda gelecekteki olaylara daha iyi hazırlanmak için uyum sağlama ve deneyimlerden öğrenme yeteneğini ifade eder (Şekil 3).



Şekil 3. Ana Tanımıyla Dirençlilik

Afet direnci, ARY'ne benzer olarak bir dizi bağlantılı bileşeni içeren çok yönlü bir yaklaşımı içerir. Benzer şekilde, ARY'nin önleme, hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarını kapsayan önlemleri içermesi gibi, afet direnci de fiziksel, sosyal, ekonomik, çevresel, yönetim, kurumsal, bireysel, hane halkı ve teknolojik boyutları içerir. Bu farklı boyutlar, bireylerden, hanelere, topluluklara ve daha geniş toplumsal yapılarla ilgili olarak, dirençliliğin farklı düzeylerinde kritik rol oynamaktadır. Dolayısıyla, afet riskinin azaltılması ve dirençliliğin artırılmasına yönelik kapsamlı ve bütünsel bir yaklaşımın teşvik edilmesinde bu boyutların hepsi önemli bir rol oynamaktadır.





Şekil 4. Afet Dirençliliğinin çok yönlülüğü [19]

Bu bileşenler arasında fiziksel dirençlilik, yapıların, sistemlerin ve tesislerin afet kaynaklı etkilere dayanma ve bunları toparlama yeteneğini temsil eder. Afetler sırasında ve sonrasında hasarın azaltılmasını ve işlevselliğin devam etmesini sağlamayı amaçlayan dirençlilik tasarımının, inşaat standartlarına bağlılığın ve dikkatli bakım faaliyetlerinin uygulanmasını gerektirmektedir.

Sosyal dayanıklılık ve topluluk dayanıklılığı, topluluklar içindeki sosyal ağların, uyumun ve karşılıklı destek mekanizmalarının sağlamlığını ifade eden bir başka vazgeçilmez bileşen olarak hizmet eder. Bu birleşik sosyal bağlantılar ve katılımlar, afet olayları sırasında kolektif olarak hareket etmeyi, bilgi yayılımını ve karşılıklı yardımı teşvik ederek dayanışma duygusunu ve toplumsal dayanıklılığı teşvik etmektedir.

Ekonomik dirençlilik, işletmelerin, endüstrilerin ve ekonomilerin felaketlerin ekonomik yansımalarına dayanma ve bunlardan toparlanma kapasitesini ifade eden kritik bir boyut olarak ortaya çıkar. Ekonomik dirençliliğe yönelik stratejiler, ekonomik faaliyetlerin çeşitlendirilmesini, kapsamlı iş sürekliliği planlarının oluşturulmasını, yeterli sigorta kapsamının edinilmesini ve finansal hazırlık önlemlerinin oluşturulmasını içerir; bunların tümü kayıpları azaltmayı ve kurtarma çabalarını kolaylaştırmayı amaçlamaktadır.

Çevresel dirençlilik, ekosistemlerin, doğal kaynakların ve ekolojik süreçlerin şokları absorbe etme ve değişen koşullara uyum sağlama kapasitesini vurgulamaktadır. Çevresel dirençlilik stratejileri, tümü ekosistem hizmetlerini güçlendirmeye, afetlere karşı kırılganlığı en aza indirmeye ve ekolojik sürdürülebilirliği geliştirmeye yönelik koruma çabalarını, restorasyon girişimlerini ve sürdürülebilir yönetim uygulamalarını kapsamaktadır.

Yönetişim ve kurumsal dirençlilik, etkili afet risk yönetiminin düzenlenmesi ve müdahale çabalarının koordine edilmesinde önemli bir rol oynar. Bu bileşen, afet riskini azaltma stratejilerinin belirlenmesi ve uygulanmasında, acil durum hazırlık planlarının geliştirilmesinde, etkin yasal çerçevelerin oluşturulmasında ve olaylara hızlı ve koordineli müdahalelerin yapılabilmesi için kurumsal kapasitelerin geliştirilmesinde yönetim yapılarının, politikaların, yasaların ve kurumların etkinliğini kapsamaktadır.

Bireysel ve hane halkı dirençliliği, bireylerin ve ailelerin afetlere karşı hazırlıklı olma, uyum sağlama yetenekleri ve başa çıkma mekanizmalarını temsil eder. Bu dirençliliği artırmaya yönelik stratejiler, kişisel hazırlık önlemlerinin alınmasını, risk farkındalığının artırılmasını, temel kaynaklara erişimin kolaylaştırılmasını ve bireylerin, afetin neden olduğu etkilerle başa çıkma ve yaşamlarını yeniden inşa etme konusunda psikososyal destek sağlanmasını içermektedir.

Teknolojik dirençlilik, kritik altyapı ve bilgi sistemlerini ve teknolojik varlıkları felaketlerin neden olduğu aksamalara karşı koruyan önemli bir bileşen olarak kabul edilir. Bu, yedekleme önlemlerinin uygulanmasını, yedekleme sistemlerinin konuşlandırılmasını, güçlü siber güvenlik önlemlerinin benimsenmesini ve felaket olayları karşısında temel hizmet ve operasyonların güvenilirliğini, güvenliğini ve sürekliliğini sağlamayı amaçlayan teknolojik yeniliklerin teşvik edilmesini içermektedir.

Dirençin her bir bileşeni ayrı ayrı kategorize edilse de bu bileşenlerin birbirine bağımlı olduğunu anlamak önemlidir. Bu bağıllık, genel dirençliliği artırmak için farklı alanlardaki çeşitli faktörlerin entegrasyonunu ve koordinasyonunu içeren dirençliliğin bütünsel doğasını vurgular. Örneğin, sosyal ve toplumsal dayanıklılık, kriz zamanlarında bir sosyal destek kaynağı sağlayarak bireysel ve hane halkı dayanıklılığına katkıda bulunan güçlü sosyal ağlara ve destek sistemlerine dayanır. Benzer şekilde, teknolojik dirençlilik, düzenleme ve koordinasyon için etkili yönetime ve kurumsal yapıya bağlıdır ve aynı zamanda kritik altyapı ve hizmetler üzerindeki etkisi yoluyla ekonomik dirençliliği de etkiler. Bu nedenle, bu bileşenler arasındaki bağıllığın anlaşılması, afet riski ve müdahalesinin karmaşık ve dinamik doğasını ele alan kapsamlı dayanıklılık stratejileri geliştirmek için önemlidir.

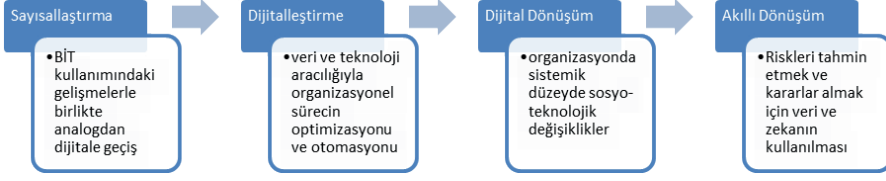
## 2. Dijital Dönüşüm ve Sismik Risk Dijital İkizleri

Dijital dönüşüm, dijital teknolojinin bir işletmenin tüm alanlarına entegrasyonunu ifade eder ve işletmenin çalışma biçimini ve paydaşlarına değer sunma yöntemini temelden değiştirir [2,26]. Şirketin vizyonu ve stratejisi, organizasyon yapısı, süreçleri, yetenekleri ve kültürü gibi unsurlarda kapsamlı bir yeniden yapılanmayı içerir [27]. Bu dönüşüm, daha verimli bir şekilde sunulan yeni veya iyileştirilmiş ürün ve hizmetlerin geliştirilmesine olanak tanır ve genellikle iş organizasyonunda yeni fırsatlar yaratır.

Dijital dönüşümün iki ana bileşeni vardır: sayısallaştırma ve dijitalleştirme. Sayısallaştırma, analogdan dijital dönüşümü ifade eder ve aynı zamanda dijital etkinleştirme olarak da bilinir. Öte yandan dijitalleşme, bir iş modelini dönüştürmek ve gelir ve değer yaratmak için yeni fırsatlar oluşturmak amacıyla dijital teknolojilerin kullanılmasını içerir. Bu, çeşitli süreçleri etkinleştirmek veya geliştirmek için dijital teknolojilerden ve dijitalleştirilmiş verilerden yararlanmayı içerir. Ayrıca, dijital dönüşüm, sosyal medya, mobil platformlar, analitik, bulut bilişim ve Nesnelerin İnterneti gibi yeni dijital teknolojilerin dönüştürücü etkisini de içermektedir.

“Dijital dönüşüm”, “sayısallaştırma” ve “dijitalleştirme” terimleri sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da teknoloji ve iş dünyasında farklı kavramları temsil ederler. Sayısallaştırma, analog verilerin dijital formatlara dönüştürülmesini, böylece daha kolay depolanması, aktarılması ve işlenmesini kolaylaştırır. Dijital dönüşüm, dijital teknolojilerin yeni iş süreçleri oluşturmak veya mevcut süreçleri değiştirmek için kullanılmasının yanı sıra, değişen iş gereksinimlerine uyum sağlamak amacıyla organizasyon kültüründe ve müşteri deneyimlerinde değişiklikler yapılmasını da kapsar. Mevcut çerçeveler dahilinde dijital teknolojileri benimsemenin ötesinde, iş operasyonlarının stratejik ve iddialı bir şekilde yeniden düşünülmesi için değer dağıtımının da göz önünde bulundurulması gerekir [28,29].

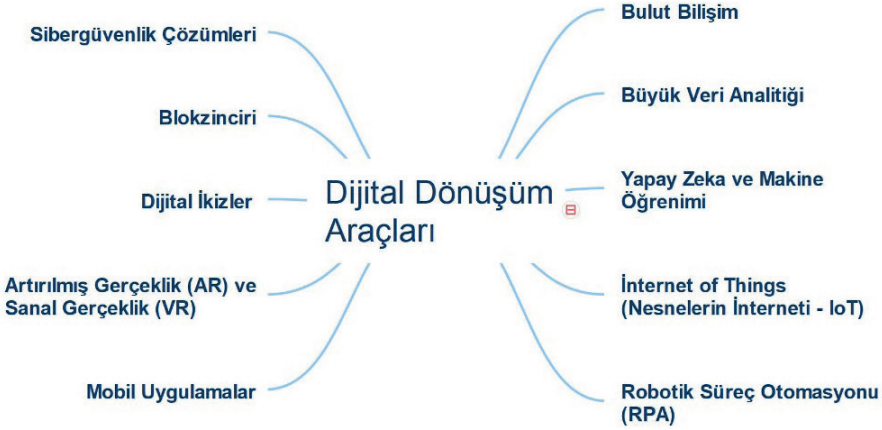
Dijital dönüşüm, sayısallaştırma ve dijitalleşmeyi kapsar. Bu üç fikir birbiriyle bağlantılıdır; sayısallaştırma, dijitalleşmeye giden ilk aşamadır ve bu da kapsamlı dijital dönüşüme ulaşma sürecini kolaylaştırır. Dijital dönüşüm ve dijitalleşmenin el ele gittiğini ancak farklı amaçlara hizmet ettiğini belirtmek önemlidir [30,31].



Şekil 5. Akıllı Dönüşüm Adımları

## 2.1. Dijital Dönüşüm Araç ve Teknikleri

Dijital dönüşüm, yenilikçiliği teşvik etmek, işletmelerin verimliliğini artırmak ve belirli hedeflere ulaşmak için dijital teknolojilerden faydalanmayı amaçlayan çeşitli yöntemleri ve stratejileri içerir. Bu stratejiler ve araçlar, kuruluşların iş süreçlerini, planlarını ve hatta genel iş yaklaşımlarını temelden değiştirerek dijitalleşmenin sağladığı avantajlardan tam anlamıyla yararlanmalarını sağlar.



Şekil 6. Dijital Dönüşüm Araçları

Kurum ve Kuruluşlar, internet üzerinden bilgi işlem kaynaklarına erişmek ve bunları denetlemek için bulut bilişimi kullanabilirler. Bulut tabanlı çözümler, esneklik, ölçeklenebilirlik ve maliyet etkinliği sağlayarak dijital hizmetlerin hızlı bir şekilde konuşlandırılmasını ve ölçeklendirilmesini sağlar [32–35].

Veri analitiği, büyük veri kümelerini analiz ederek değerli bilgiler elde etmeyi sağlar. Bu, kuruluşların bilinçli kararlar vermesini ve iş süreçlerini

iyileştirmesini destekleyen tanımlayıcı analitik, tahmine dayalı analitik ve kuralcı analitik içerir [36–38].

Yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojileri, bilgisayarların verilerden öğrenmesini sağlar. Doğal dil işleme, bilgisayarlı görme ve sinir ağları gibi yöntemler, çeşitli alanlarda uygulama bulur [14,15,39–41].

Nesnelerin İnterneti, fiziksel cihazların ve sensörlerin internete bağlanmasını sağlar. IoT teknolojileri, süreçlerin otomasyonunu ve gerçek zamanlı izlemeyi kolaylaştırır [42].

Blockchain, işlemlerin güvenli ve şeffaf bir şekilde kaydedilmesini sağlayan dağıtılmış bir defter teknolojisidir. Tedarik zinciri yönetimi ve finansal kimlik doğrulaması gibi alanlarda kullanılır [43].

Robotik Süreç Otomasyonu, tekrarlayıcı ve kurala dayalı görevlerin otomatikleştirilmesini sağlar. RPA çözümleri, iş akışlarını optimize eder ve operasyonel verimliliği artırır [44–46].

Dijital ikiz, somut bir nesnenin sanal bir tasviridir. Gerçek dünya varlıklarını dijital alanda simüle etme, izleme ve değerlendirme olanağı sağlar [47–50].

Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik teknolojileri, dijital verileri gerçek dünyanın üzerine yerleştirir veya sürükleyici sanal ayarlar oluşturur [51–53].

Siber güvenlik önlemleri, dijital varlıkları çevrimiçi tehditlere karşı korur. Şifreleme, güvenlik duvarları ve izinsiz giriş tespit sistemleri gibi yöntemler kullanılır [54,55].

## 2.2. Dijital İkiz Konsepti

Dijital ikiz, bir nesnenin veya sürecin fiziksel dünyadaki her yönünü (durumu, konumu, performansı vb.) gerçek zamanlı veya gerçek zamanlı olarak taklit eden bir dijital modeldir. Bu dijital model, sensörlerden ve diğer veri kaynaklarından gelen verilerle güncellenir ve sürekli olarak iyileştirilir. Bu sayede gerçek dünyadaki nesnenin veya sürecin daha iyi anlaşılması, izlenmesi, yönetilmesi ve optimize edilmesi sağlanır.

Dijital ikizler, bir nesnenin tasarım aşamasından başlayarak üretim, dağıtım ve kullanım süreçlerine kadar geniş bir yelpazede kullanılabilir. Örneğin, bir endüstriyel makinenin dijital ikizi, makinenin performansını izlemek, bakım ihtiyaçlarını tahmin etmek ve verimliliği artırmak için kullanılabilir. Benzer şekilde, bir şehrin dijital ikizi, trafik akışını analiz etmek, enerji tüketimini optimize etmek veya acil durum yönetimini iyileştirmek için kullanılabilir.

Dijital ikizlerin kullanılması, süreçlerin ve sistemlerin daha etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesine ve gelecekteki kararların daha iyi bilgilendirilmesine yardımcı olabilir. Bu da kurum ve kuruluşların maliyetleri azaltmasına, üretkenliği ve verimliliği artırmasına ve rekabet avantajı elde etmesine olanak tanır. ARY bağlamında, dijital ikizlerin bu özellikleri, zaten sınırlı olan kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ile can kaybı ve ekonomik kayıpların minimize edilmesi anlamına gelmektedir.

Dijital ikiz, fiziksel bir nesnenin, sistemin veya sürecin dijital temsilidir. Bu temsil, basit 3 boyutlu modellerden, fiziksel varlığın davranışını, özelliklerini ve etkileşimlerini kopyalayan karmaşık simülasyonlara kadar değişebilir. Dijital ikizler, sensör verileri, CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) modelleri, IoT (Nesnelerin İnterneti) verileri, geçmiş kayıtlar ve diğer ilgili bilgiler dahil olmak üzere çeşitli veri türlerinin entegre edilmesiyle oluşturulur. Bu veriler, dijital ikizi oluşturmak ve güncellemek için kullanılarak fiziksel varlığın mevcut durumunu doğru bir şekilde yansıtmasını sağlar.

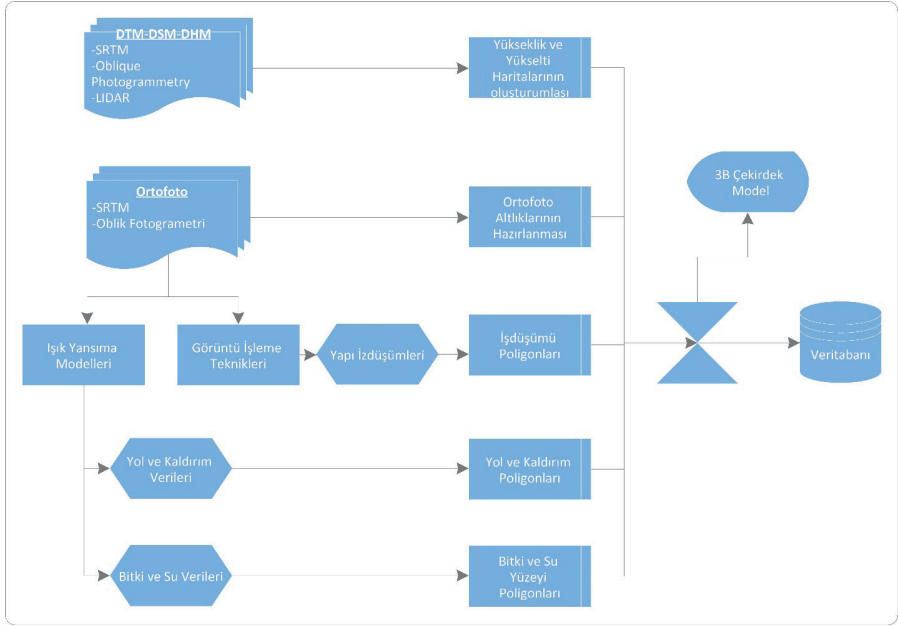
Dijital ikizlerin temel özelliklerinden biri, fiziksel emsallerinin performansını ve durumunu gerçek zamanlı olarak sürekli olarak izleyebilmeleridir. Fiziksel nesneye veya sisteme gömülü sensörler, sıcaklık, basınç, titreşim ve daha fazlası gibi parametrelere ilişkin verileri toplar ve bu veriler daha sonra analiz için dijital ikize iletilir. Dijital ikizler, fiziksel muadillerinin çeşitli koşullar altındaki davranış ve performanslarının analizine ve simülasyonuna olanak tanır. Mühendisler ve operatörler, dijital ikizde simülasyonlar çalıştırarak değişikliklerin veya müdahalelerin fiziksel sistemi nasıl etkileyeceğini tahmin edebilir ve bu da daha iyi karar alma ve optimizasyona olanak tanır.

Dijital ikizler, anormallikleri tespit etmek, olası arızaları belirlemek ve bakım faaliyetlerini proaktif bir şekilde planlamak için fiziksel sistemden toplanan verileri analiz ederek kestirimci bakım için kullanılabilir. Ayrıca performans darboğazlarına ve iyileştirme fırsatlarına ilişkin bilgiler sağlayarak optimizasyon çabalarını da desteklerler. Dijital ikizler, operatörlerin ve paydaşların dünyanın her yerinden sanal kopyaya erişmesine ve onunla etkileşime girmesine olanak tanır. Bu, fiziksel sistem üzerinde çalışan ekipler arasında uzaktan sorun gidermeyi, karar almayı ve iş birliğini kolaylaştırır.

Genel olarak dijital ikizler, çeşitli sektörlerdeki fiziksel varlıkların, sistemlerin ve süreçlerin verimliliğini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için güçlü bir çerçeve sunar. Daha iyi karar verme, gelişmiş tahmin yetenekleri ve daha fazla operasyonel içgörü sağlarlar ve sonuç olarak performansın ve sonuçların iyileşmesine yol açarlar.

Her nesne benzersizdir ve kendine özgü özelliklere ve operasyonel geçmişe sahiptir, bu nedenle dijital ikizlerin (DT) o bağımsız öğeyi doğru şekilde temsil etmesi için uyarlanması gerekir. Bu benzersizlik, dijital ikizin, bir makine parçası, bir bina, bir araç veya başka bir varlık olsun, gerçek dünyadaki ilgili nesnenin belirli ihtiyaçlarını ve zorluklarını ele almak için alakalı ve etkili kalmasını sağlar. Bu nedenle, özellikle ARY uyarlanmış bir dijital ikize ihtiyaç duyulmaktadır.

Ancak, yaygın, standartlaştırılmış bir tanımın ve özelliklerin eksikliği, dijital ikizler gibi yeni ortaya çıkan teknolojilerin yaygın ve toplumsal olarak benimsenmesi çabalarında karşılaşılan engellerden biridir. Bu eksiklik, farklı endüstrilerde ve uygulamalarda dijital ikizlerin etkin bir şekilde kullanılmasını zorlaştırabilir ve bu nedenle bu teknolojilerin potansiyelinden tam olarak yararlanılmasını engelleyebilir. Bu nedenle, standartlaştırma ve tanımlama çabaları, dijital ikizlerin benimsenmesini ve kullanımını artırmak için önemlidir.



Şekil 7. Dijital İkiz Çekirdek Modeli Oluşturma Süreci

### 3. Sismik Risk Yönetimi Dijital İkizlere İlişkin Veri İhtiyaçları

#### 3.1. Veri Kaynakları

Kuruluşların başarılı bir dijital dönüşüm geçirmesi, stratejik bir yaklaşım, etkili değişim yönetimi ve kuruluşun hedefleriyle uyumlu olmayı gerektirir. Önce bahsedilen araçlar ve yöntemler her ne kadar dijital dönüşüm için gereklilik arz etse de bu uygulamanın etkinliğinin her kuruluşun farklı gereksinimleri ve hedeflerine bağlı olduğunu vurgulamak çok önemlidir. Bu sebeple, kuruluşların kendi ihtiyaçlarını dikkatlice değerlendirmeleri ve hedeflerine uygun bir şekilde, bu teknolojik gelişmelerin avantajlarını en iyi şekilde kullanacak şekilde özelleştirilmiş bir dijital dönüşüm stratejisi oluşturmaları gerekmektedir [56].

Sismik risk yönetimi için dijital bir ikiz oluşturmak, yapıların, altyapının ve jeolojik koşulların doğru bir şekilde modellenmesi ve simüle edilmesi için kapsamlı veri toplama ve analiz gerektirir. Bu veri ihtiyaçları şunları içerir:

Bölgenin jeolojik koşulları hakkında ayrıntılı bilgi içeren veriler, zemin sınıfı, fay hatları, sismik aktivite geçmişi ve yer hareketi özelliklerini içerir. Bu veriler, sismik olayların farklı bölgeleri ve yapıları nasıl etkileyebileceğinin anlaşılmasına yardımcı olur. Bölgedeki binaların, köprülerin, barajların ve diğer altyapıların inşaatı, malzemeleri ve tasarım özelliklerine ilişkin ayrıntılı veriler gereklidir. Bu, bina geometrisi, malzeme özellikleri, yapısal güvenlik açıkları ve güçlendirme önlemlerini içerir. Kritik altyapı ve binalara kurulan sismik sensörler, ivmeölçerler, GPS ve diğer izleme cihazlarından elde edilen gerçek zamanlı veriler, sismik olaylar sırasında yer hareketi, yapısal tepki ve potansiyel hasar hakkında değerli bilgiler sağlar. Geçmiş depremlerin tarihsel kayıtları, sismik tehlike modellerinin kalibre edilmesi ve doğrulanması ve gelecekteki olayların tahmin edilmesi için önemlidir. Bu veriler, büyüklükleri, konumları, süreleri ve yer sarsıntısı özelliklerini içerir. Su temin sistemleri, elektrik şebekeleri, ulaşım ağları ve telekomünikasyon sistemleri gibi yaşam hattı altyapılarına ilişkin veriler, sismik olaylara karşı hassasiyetlerini değerlendirmek ve hafifletme stratejileri geliştirmek için önemlidir. Nüfus yoğunluğu, arazi kullanım modelleri, bina doluluğu ve varlık değerleri gibi veriler, sismik olaylarla ilişkili potansiyel insani ve ekonomik kayıpların değerlendirilmesine yardımcı olur. Yüksek çözünürlüklü dijital yükseklik modelleri, sonlu eleman modelleri ve diğer simülasyon araçları, yer hareketini ve yapısal tepkiyi simüle etmek için doğru mekansal verilere ihtiyaç duyar. Sigorta kapsamı, acil müdahale yetenekleri, bina kodları, arazi kullanım düzenlemeleri ve sosyo-ekonomik faktörlere ilişkin veriler, kapsamlı risk değerlendirmeleri yapmak ve risk yönetimi stratejileri geliştirmek için gereklidir.





Şekil 8. Sismik Risk Dijital İkizi Veri Setleri

Sismik risk yönetimi dijital ikizleri, bu çeşitli veri kümelerini bütünleştirip analiz ederek karar vericilere toplulukların, altyapının ve ekonomilerin sismik tehlikelere karşı dayanıklılığını artırmaya yönelik değerli bilgiler sağlayabilir. Bu, daha etkili sismik risk yönetimi stratejilerinin oluşturulmasına ve uygulanmasına yardımcı olabilir

Kapsamlı risk değerlendirmesi, potansiyel risklerin ve bunların sonuçlarının bütünsel bir anlayışını elde etmek için çeşitli veri kaynaklarının entegrasyonunu gerektirir. Bu zorunluluk, risklerin çevresel, sosyal, ekonomik ve teknik boyutları kapsayan çok yönlü doğasından kaynaklanmaktadır. Risk değerlendiricileri, çeşitli veri akışlarını birleştirerek belirli tehlike veya tehditlerin temelini oluşturabilecek birden fazla risk faktörünü ayırt edebilir ve değerlendirebilir.

Çeşitli veriler, birçok risk senaryosunun doğasında bulunan karmaşık karşılıklı bağımlılıkların çözülmesi için bir kanal görevi görür. Bu tür bağlantılar genellikle çevresel dalgalanmaların altyapı dayanıklılığı üzerindeki etkisi veya sosyo-ekonomik eşitsizliklerin doğal afetlere karşı savunmasızlık üzerindeki etkisi gibi farklı risk faktörleri arasındaki karmaşık ilişkilerden kaynaklanmaktadır. Böylece çeşitli verilerin birleştirilmesi, bu bağlantıların incelikli bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak risk değerlendirmelerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırır.

Risk değerlendirmelerinin doğruluğunun ve sağlamlığının sağlanması, çeşitli kaynaklardan farklı verilerin kullanılmasını gerektirir. Tekil veri kümelerine aşırı güvenmek, değerlendirmelerde önyargılara veya yanlışlıklara yol açma riskini taşır. Bu nedenle, bilimsel analizler ve geçmiş kayıtlardan gerçek zamanlı sensör verilerine ve paydaş içgörülerine kadar çeşitli verilerden faydalanmak, daha titiz ve güvenilir risk değerlendirmelerini teşvik eder.

Tahmin yetenekleri, çeşitli verilerin dahil edilmesiyle desteklenerek gelecekteki risklerin ve eğilimlerin öngörülmesi kolaylaştırılır. Risk değerlendiricileri, geçmiş verileri güncel gözlemler ve tahminlerle yan yana getirerek potansiyel tehlikeleri, güvenlik açıklarını ve etkileri daha etkili bir şekilde tahmin edebilir. Bu öngörü, paydaşlara proaktif risk azaltma ve hazırlık stratejileri uygulama yetkisi vererek dayanıklılığı artırır.

Kapsamlı risk değerlendirme çalışmaları çok sayıda faktörün dikkate alınmasını gerektirir ve bütünsel bir yaklaşımı gerektirir. Çeşitli veriler, fiziksel, çevresel, sosyal, ekonomik ve kurumsal boyutların incelenmesine olanak tanıyarak risklerin ve bunların bağlamsal temellerinin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Sonuç olarak paydaşlar, bilinçli karar verme ve kaynak tahsisi için sağlam bir temelle donatılır ve bu da etkili risk yönetimi stratejilerini kolaylaştırır.

Ayrıca kapsayıcı paydaş katılımı, çeşitli verilerin risk değerlendirme süreçlerine entegre edilmesiyle kolaylaştırılır. Geniş bir perspektif, endişe ve öncelik yelpazesini bir araya getiren çeşitli veriler, katılımcı risk değerlendirme uygulamalarını doğurur. Bu kapsayıcı yaklaşım, yalnızca risk değerlendirme sonuçlarının meşruiyetini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda risk yönetimi stratejilerinin kolektif sahiplenmesini de teşvik eder, böylece çeşitli yönetim ve toplumsal katılım düzeylerinde dayanıklılığı güçlendirir.

### 3.2. Veri Toplama ve Entegrasyon

Veri toplama süreci, sismik olaylar, çevresel faktörler ve teknolojik kısıtlamalar gibi bir dizi karmaşıklıkla beraberinde getirir. Bu karmaşıklıklar, doğru risk değerlendirmesi ve etkili risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini zorlaştırabilir.

- **Maliyet ve Kaynak Kısıtlamaları:** Sismik veri toplamanın maliyeti ve kaynak gereksinimleri yüksektir. Özel ekipman, personel ve altyapı gibi unsurların maliyeti, sınırlı finansman ve lojistik zorluklarla karşılaşılabilir.
- **Erişim Zorlukları:** Yüksek kaliteli ve gerçek zamanlı sismik verilere erişimde yaşanan zorluklar, veri sahipliği sorunları, paylaşım politikaları ve teknik engellerden kaynaklanır.
- **Veri Kalitesi ve Doğruluğu:** Sismik verilerdeki gürültü, girişim ve hatalar veri bütünlüğünü tehdit eder.
- **Mekansal ve Zamansal Kapsam:** Sismik verilerin yeterli mekansal ve zamansal kapsamının sağlanması önemlidir.

- Veri Entegrasyonu ve Birlikte Çalışabilirlik: Farklı kaynaklardan gelen sismik verilerin heterojen doğası, veri entegrasyonu ve birlikte çalışabilirliği zorlaştırır.

Daha önce de belirtildiği gibi dijital ikizler görsel bir veri tabanı şeklinde kullanılıp, yukarıda bahsedilen sorunların önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Böylelikle sismik veri toplama çabalarını geliştirerek, sismik tehlikelerin daha iyi anlaşılmasını ve daha etkili risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesini sağlar.

#### 4. Süreçlerin Dijitale Geçişi

Sismik risk yönetimine yönelik geleneksel yaklaşımlar genellikle depremlerin toplum, ekonomi ve çevre üzerindeki etkilerini önlemek veya azaltmak için uygulanan bir dizi süreci içerir. Bu süreçler genellikle dört farklı kategoriye ayrılır: hazırlıklı olma, hafifletme, müdahale ve iyileştirme.

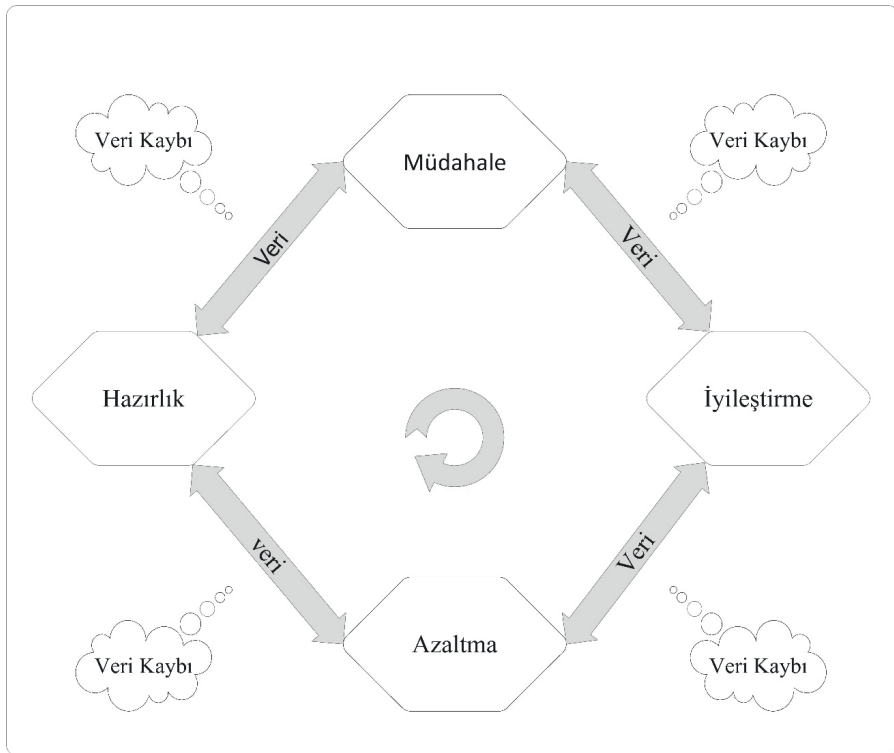
Azaltma aşamasında, risk değerlendirmesi, jeolojik koşullara, bina duyarlılığına ve nüfus yoğunluğuna göre hassas alanların belirlenmesini sağlayan çok önemli bir faaliyettir. Arazi kullanım planlaması ve bina mevzuatının uygulanması, yüksek riskli bölgelerde kontrollü kalkınmaya katkıda bulunarak depreme dayanıklı inşaatı teşvik eder. Altyapı iyileştirmeleri, sismik dayanıklılığı artırmak için kritik yapıların güçlendirilmesini içerir ve kamu eğitim girişimleri, deprem riskleri ve acil durumlara hazırlık konusunda farkındalığı artırır.

Hazırlık aşamasında erken uyarı sistemlerinin kurulması büyük önem taşır. Bu sistemler zamanında uyarılar vererek bireylerin ve kuruluşların koruyucu önlemler almasına olanak tanır. Acil durum planlaması, tahliye yollarının, sığınma yerlerinin ve temel iletişim prosedürlerinin geliştirilmesini ve iletişimini içerir. Düzenli topluluk tatbikatları, acil durum protokolleri ve tahliye yollarına aşinalık sağlarken, bina kuralları ve bunların uygulanması, yeni inşaatların sismik güvenlik standartlarını karşılamasını sağlamada kritik bir rol oynar.

Müdahale aşamasında arama ve kurtarma operasyonları önceliklidir. Ekipler, depremden hemen sonra mağdurların yerini tespit etmek ve onlara yardım etmek için seferber olurlar. Acil durum barınakları, yerinden edilmiş kişilere geçici barınma ve temel ihtiyaçların sağlanması amacıyla kurulur. Etkili koordinasyon için iletişim sistemleri korunur ve tıbbi müdahale çabaları, tıbbi tesislerin acil tıbbi bakım sunarak hasta akınına karşı hazırlıklı olmasını sağlamaya odaklanır.

İyileşme aşamasında, çabalar altyapı onarımı ve yeniden inşasına doğru kaymaktadır. Travma ve psikolojik sağlık hizmetleriyle birlikte psikososyal destek hayati önem taşımaktadır. Yerel ekonomiyi canlandırmak, işletmeleri desteklemek ve normale dönüşü kolaylaştırmak için ekonomik toparlanma önlemleri uygulanmaktadır. Depreme müdahalenin kapsamlı bir şekilde incelenmesi, güçlü ve zayıf yönlerin belirlenmesine, acil durum planlarına ve gelecekteki olaylara ilişkin prosedürlere ilişkin güncellemeler konusunda bilgi verilmesine olanak tanımaktadır.

Bu aşamalar boyunca faaliyetlerin birbirine bağlı doğası, sismik risk yönetimine yönelik sürekli ve uyarlanabilir bir yaklaşımın önemini vurgulamaktadır. Toplulukların, devlet kurumlarının ve ilgili kuruluşların iş birliği, dirençli ve hazırlıklı bir toplum oluşturmak için çok önemlidir. Fakat gerek farklı paydaşlar arası iletişim ve koordinasyon problemleri, gerekse süreç geçişlerinde meydana gelen veri kayıpları sebebiyle, sürecin en önemli özelliklerinden olan bu birbirine bağımlılık ARY sürecini olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 9. Geleneksel ARY Süreci

Ayrıca her paydaşın kendisine ait bir veri formatı ve işleyişi olduğundan bir paydaş için çok anlamlı gelen bir çıktı diğer paydaş için bir anlam ifade etmeyebilmektedir.

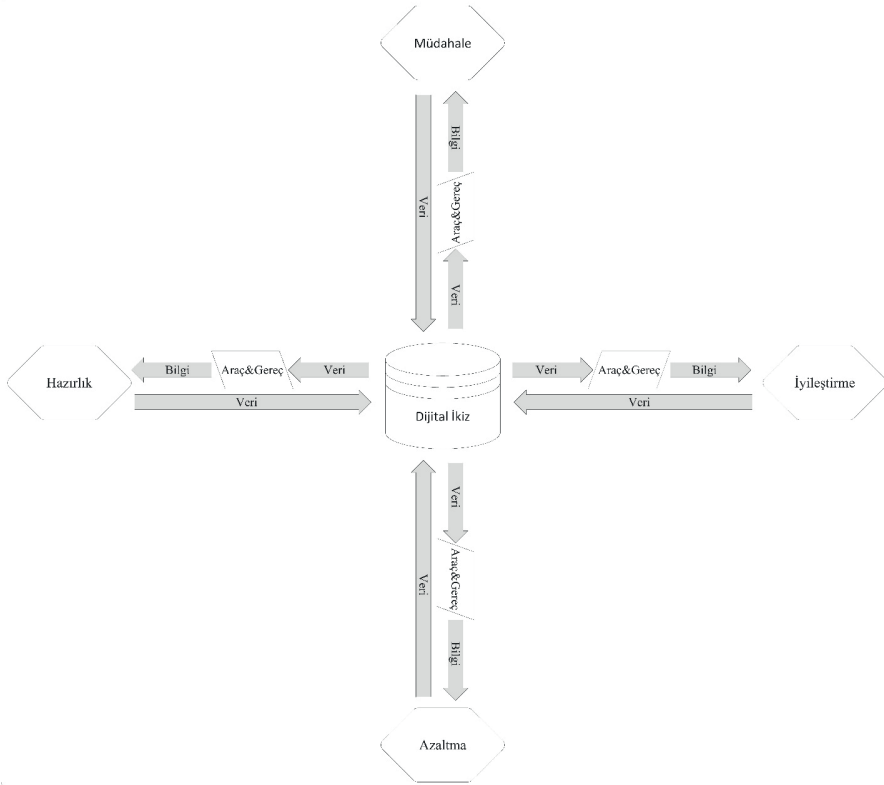
Bütün bu sorunların önüne geçilebilmesi için, ARY sürecinin tamamı için bir dijital dönüşüm gereklilik arz etmektedir.

#### **4.1. Dijital Dönüşümün Avantajları ve Yeniliği**

Dijital ikizler, dijital dönüşümün ilk aşamasını temsil eder ve fiziksel varlıkların ve sistemlerin sanal bir tasvirini sunarak görsel bir veri tabanı görevi görür. Gerçek zamanlı verileri sürekli olarak gözlemleyerek, analiz ederek ve görsel olarak sunarak kuruluşların kalıpları ve düzensizlikleri tanımasına ve bilinçli kararları kolaylaştırmasına olanak tanır. Afet yönetimine uygulandığında, dijital ikizler, felaket olayları sırasındaki etkilerin ve tepkilerin bütünsel bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için tehlike, maruz kalma, güvenlik açığı ve dayanıklılık modelleri dahil olmak üzere çeşitli alt modelleri entegre eder. Bu kapsamlı anlayış, kaynak tahsisinin önceliklendirilmesine, zarar azaltma stratejilerinin geliştirilmesine ve afet müdahale çabalarının organize edilmesine yardımcı olarak karar verme süreçlerine rehberlik edebilir [56].

Dijital ikizin oluşturulmasıyla kuruluşlar, farklı senaryoları simüle etmek ve test etmek, potansiyel felaketlerin etkisini değerlendirmek ve dijital dönüşüm araçlarının yardımıyla müdahale stratejilerini optimize etmek için sanal temsili kullanabilir.

Veri uyumlaştırma (veya Veri Düzenleme), farklı veri kaynakları arasında tutarlılık ve uyumluluk sağlayan bir prosedürdür. Dijital dönüşüm teknikleri, etkili veri kullanımına ve karar alınmasına olanak sağlamak için standartlaştırma, entegrasyon ve veri kalitesini sağlama etrafında döner. Bu, farklı kaynaklardan gelen verilerin etkili bir şekilde uyumlu hale getirilmesini ve kapsamlı içgörüler elde etmek ve verilerin değerini en üst düzeye çıkarmak için veri temizleme, veri entegrasyonu ve veri doğrulama gibi süreçleri içerir. Dijital İkizler'in kendisi Ana Veri Yönetimi Platformu olarak hizmet vermektedir.



*Şekil 10. Dijital İkiz Kullanılan ARY Süreci*

Veri uyumlaştırma, çeşitli paydaşların farklı veri formatlarına ve yapılarına sahip olması nedeniyle oldukça çeşitli ve rutinden uzak olan programlanamayan özellikleri içerir. Bu çeşitliliğin üstesinden gelmek için birleşik bir ARY yaklaşımı gereklidir. Bu yaklaşım, farklı formatlardaki verilerin aynı yapıya entegre edilmesini içermelidir. Bu amaç, veri temizleme, uygulama programlama arabirimi (API) yönetimi, bulut bilişimi, veri sanallaştırması, veri gölleri ve analitik araçları gibi dijital dönüşüm tekniklerini kullanarak başarılabilir.

Dijital ikiz oluşturmak için, kesin ve kapsamlı verilerin fiziksel varlıklardan veya sistemlerden elde edilmesi gerekmektedir. Bu veriler, şekil, malzeme özellikleri, operasyonel faktörler ve performans ölçümleri gibi nitelikleri kapsar. Bu veri kümeleri genellikle yapılandırılmıştır ve toplama sürecinde sensörler, IoT cihazları ve uzaktan izleme sistemleri gibi çeşitli teknolojiler kullanılabilir. Toplanan bu veriler daha sonra fiziksel varlığın veya sistemin dijital bir kopyasını oluşturmak için kullanılır; bu, geçmiş kayıtlar veya

tahmine dayalı modeller gibi harici kaynaklardan gelen ek verilerin entegre edilmesiyle daha da geliştirilebilir.

Dijital ikizlerin doğruluk ve verimlilik sağlamadaki rolü, sismik risk yönetimi açısından da büyük önem taşır. Dijital ikizler, gerçek dünya koşullarını yüksek doğrulukla simüle etmek için sensörlerden ve diğer kaynaklardan gelen gerçek zamanlı verileri kullanır. Bu sayede, binaların ve altyapının depreme karşı nasıl tepki vereceğini daha ayrıntılı ve doğru bir şekilde modelleyebiliriz. Bu doğru modelleme, sismik riskleri daha iyi anlamamızı ve etkili etki azaltma stratejileri geliştirilmesini sağlar. Ayrıca Dijital ikizler, sanal ortamda simülasyon ve analiz yapılmasına olanak tanıdığı için gerçek varlıkları riske atmadan test ve optimizasyon yapma imkanı sağlar. Bu, potansiyel değişikliklerin, iyileştirmelerin ve sorun giderme işlemlerinin, gerçek dünyada uygulanmadan önce hızlı ve uygun maliyetli bir şekilde gerçekleştirilebileceği anlamına gelir. Aynı zamanda, potansiyel sorunların proaktif bir şekilde belirlenip ele alınabildiği, arıza sürelerinin ve onarım maliyetlerinin azaltıldığı öngörücü bakıma olanak tanır.

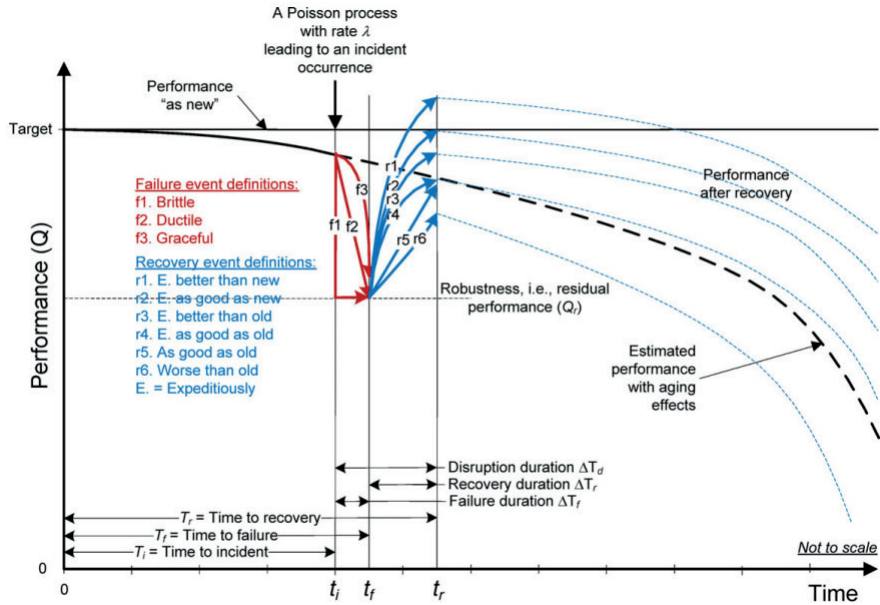
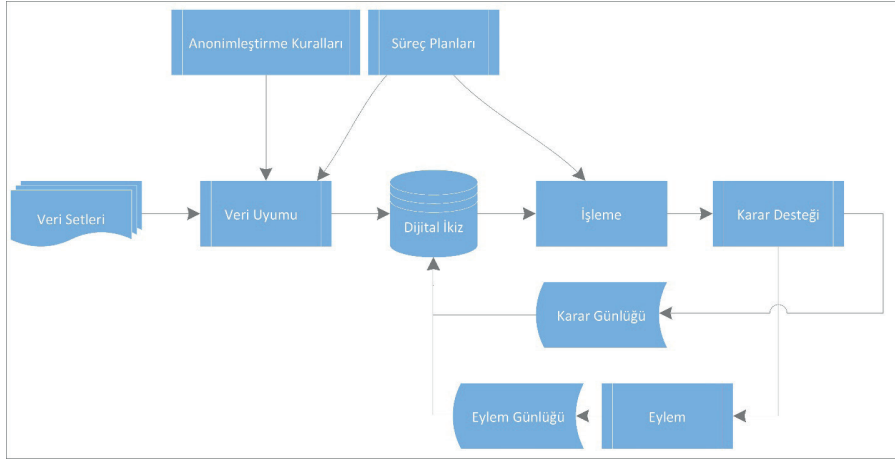
Dijital ikizlerin sismik risk yönetimindeki potansiyel rolleri oldukça önemlidir. Dijital ikizler, binaların ve altyapının depreme nasıl tepki vereceğini daha ayrıntılı ve doğru bir şekilde modelleyerek, deprem risklerini daha iyi anlamamıza ve etkili etki azaltma önlemleri tasarlamamıza yardımcı olabilir. Bu, binaların tasarımında ve inşasında daha güvenli ve dayanıklı çözümler geliştirilmesini sağlar. Dijital ikizler, farklı afet senaryolarını simüle etmek ve çeşitli müdahale stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu, acil durum planlamasını geliştirilmesine ve afet durumunda daha etkili müdahale stratejileri belirlenmesine yardımcı olur. Bir deprem meydana geldiğinde, dijital ikizler hasarın daha hızlı bir şekilde değerlendirilmesine ve müdahale ve kurtarma çalışmaları için kaynakların verimli bir şekilde yönlendirilmesine yardımcı olabilir. Bu, afet sonrası toparlanma sürecini hızlandırabilir ve etkilenen bölgelerdeki zararın minimize edilmesine katkıda bulunabilir.

Dolayısıyla, sismik dijital ikizler, karmaşık verileri eyleme geçirilebilir içgörülere dönüştürerek daha bilinçli kararlar alınmasını sağlar. Bu da hayat kurtarabilir ve kaynakların etkili bir şekilde kullanılmasına yardımcı olarak afetlere karşı dayanıklılığı artırabilir.

## 5. Sismik Dijital İkiz Çerçevesinde Etkileşimler

Sismik dijital ikizler çerçevesindeki etkileşimler, yer bilimcilerin, mühendislerin ve BT profesyonelleri, karar vericiler, acil durum operatörleri gibi birçok paydaşın katılımını gerektiren disiplinler arası iş birliğini içerir.

Her disiplin, sismik risk yönetimi için dijital ikiz çözümlerinin geliştirilmesine, uygulanmasına ve optimizasyonuna katkıda bulunarak masaya benzersiz uzmanlık ve bakış açıları getirir. Bu disiplinler arası iş birliği, sismik dijital ikizlerin doğru ve etkili bir şekilde oluşturulmasını sağlar. Sonuç olarak, deprem risklerinin daha iyi anlaşılmasına ve afetlere daha etkili bir şekilde yanıt verilmesine katkıda bulunur.



Azaltım ve hazırlık aşamalarında dijital ikiz kullanımının önemini vurgular. Dijital ikizler, bu aşamalarda yapılan simülasyonlar ve analizler yoluyla, alınacak kararların ve uygulanacak önlemlerin sistem dayanıklılığı



üzerindeki etkisini gözlemlemeye olanak tanır. Örneğin, alt yapı simülasyonları ile ilgili altyapının nasıl tepki vereceğini ve olası zararları önceden belirlemede yardımcı olabilir. Ayrıca, alınan kararların etkinliğini değerlendirmek için fizibilite analizleri yapılabilir. Bu şekilde, dijital ikizler sismik risk yönetiminde karar alma süreçlerini destekleyerek daha güçlü ve dayanıklı bir sistemin oluşturulmasına katkıda bulunur ( $\Delta Q$ ).

Müdahale aşamasında yapılacak analiz ve simülasyonlar, sistem bileşenlerinin tamir sırasını belirleyerek tahmini bozulma ortalama zamanını azaltacak ve iyileşme aşamasında öncelikleri belirleyerek toparlanma süresini kısaltacaktır. Bu şekilde, dijital ikizlerin kullanımı, afet sonrası müdahale ve iyileştirme süreçlerini daha etkili ve verimli hale getirerek, zararın en aza indirilmesine ve normal faaliyetlere daha hızlı dönülmesine olanak tanır. Yine rutin analiz ve simülasyonlar ile eskiyen sistemler için öngörülen bakım planı hazırlayarak bakım faaliyetlerinin koordinasyonu için bir altyapı sunacaktır.

## 6. Zorluklar ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Dijital ikizlerin başarılı bir şekilde uygulanması ve işletilmesi için teknik zorlukların ele alınması kritik öneme sahiptir. Bu zorluklar genellikle veri toplama, işleme, analiz ve görselleştirme gibi çeşitli alanları kapsar. İşte dijital ikizlerin teknik zorluklarına ve bu zorlukların üstesinden gelmek için potansiyel çözümlere dair bazı önemli noktalar:

**Veri Entegrasyonu ve Birlikte Çalışabilirlik:** Dijital ikizler genellikle farklı formatlarda ve yapılarla olan verileri içerir. Bu heterojen verileri bütünleştirmek ve birlikte çalışabilirlik sağlamak zor olabilir. Standartlaştırılmış veri formatları ve meta veri şemaları geliştirme, veri entegrasyonu araçlarının ve API'lerin kullanımı gibi çözümler bu sorunu ele alabilir.

**Ölçeklenebilirlik ve Performans:** Dijital ikizlerin karmaşıklığı ve büyüklüğü arttıkça, ölçeklenebilirlik ve performans zorlukları ortaya çıkabilir. Bulut bilişim ve paralel işleme gibi teknolojilerin kullanımı, ölçeklenebilirlik ve performansı artırabilir.

**Modelleme ve Simülasyon Karmaşıklığı:** Doğru ve hesaplamada verimli modeller geliştirmek zor olabilir. Gelişmiş modelleme tekniklerinin kullanımı ve belirsizlik ölçümü yöntemlerinin entegrasyonu bu zorluğun üstesinden gelmeye yardımcı olabilir.

**Veri Güvenliği ve Gizlilik:** Dijital ikizler hassas ve özel verileri içerir, bu da veri güvenliği ve gizliliği önemli bir zorunluk haline getirir. Güçlü şifreleme, kimlik doğrulama ve düzenli güvenlik denetimleri gibi önlemler bu konuda yardımcı olabilir.

İnsan-Makine Etkileşimi ve Kullanıcı Deneyimi: Dijital ikizlerin karmaşık verileri ve simülasyonları etkileşime ve yorumlamaya yönelik sezgisel arayüzler ve görselleştirme araçları gerektirir. Kullanıcı dostu arayüzlerin tasarımı ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojilerin kullanımı bu alanda çözümler sağlayabilir.

Bu teknik zorlukların üstesinden gelmek için disiplinler arası bir yaklaşım gereklidir ve alan uzmanları, veri bilimcileri, yazılım mühendisleri ve siber güvenlik uzmanlarının iş birliği önemlidir. Kuruluşlar, bu zorlukların üstesinden gelerek dijital ikizlerin potansiyelinden tam anlamıyla yararlanabilir ve karar alma süreçlerini iyileştirebilir.

Afetlere karşı dayanıklılıkta dijital ikizlerin kullanımı, etik sorunların dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Dijital ikizler, afetlere hazırlık, müdahale ve kurtarma çabalarını geliştirmekte önemli bir potansiyele sahiptir, ancak bu teknolojilerin sorumlu ve adil bir şekilde uygulanması sağlanmalıdır. İşte bu konuda göz önünde bulundurulması gereken bazı etik hususlar:

- **Gizlilik ve Veri Koruma:** Dijital ikizler büyük miktarda hassas veri içerir ve bu verilerin gizliliği ve güvenliği endişe yaratır. Veri koruma önlemleri ve bilgilendirilmiş onay gibi çözümler, bu endişeleri ele alabilir.
- **Eşitlik ve Sosyal Adalet:** Dijital ikizlerin kullanımı, eşitsizlikleri derinleştirme riski taşır ve savunmasız toplulukları olumsuz etkileyebilir. Eşitlik ve katılımı önceliklendiren yaklaşımlar benimsenmelidir.
- **Şeffaflık ve Hesap Verebilirlik:** Dijital ikizlerin geliştirme ve kullanım süreçleri şeffaf olmalı ve hesap verebilirlik ilkesine uygun olmalıdır. Veri ve algoritmaların açıklanması, bu alandaki güveni artırabilir.
- **Bilgilendirilmiş Onay ve Katılım:** Dijital ikizlerden etkilenen bireyler ve topluluklar, karar alma süreçlerine katılma ve bilgilendirilmiş onay verme fırsatına sahip olmalıdır.
- **Çevresel Etki:** Dijital ikizlerin çevresel etkisi göz ardı edilmemeli ve sürdürülebilir uygulamalar benimsenmelidir.

Bu etik hususlar, dijital ikizlerin etik ve sorumlu bir şekilde uygulanması için rehberlik sağlar. Herhangi bir dijital ikiz girişimi, bu etik ilkeleri dikkate alarak geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

## 7. Gelecek Yönelimler ve Fırsatlar

Sismik dijital ikiz teknolojisi, depreme hazırlık, müdahale ve dayanıklılık alanlarında önemli ilerlemeler vaat etmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, sismik risk yönetimi üzerinde önemli etkileri olacak yeni yenilikler ve ortaya çıkan trendler ortaya çıkmaktadır. İşte bu gelecek vizyonunda öne çıkan potansiyel yenilikler ve araştırma ve geliştirmedeki trendler:

- **Yapay Zeka ve Makine Öğreniminin Entegrasyonu:** Yapay zeka ve makine öğrenimi, sismik dijital ikizlerin yeteneklerini önemli ölçüde artırabilir. Bu teknolojiler, büyük veri setlerini analiz ederek sismik aktiviteyi tahmin etmede daha doğru ve hassas sonuçlar sağlayabilir. Bu da proaktif risk değerlendirmesi ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanır.
- **Sensör Teknolojisindeki Gelişmeler:** Sensör teknolojisindeki ilerlemeler, sismik izleme ağlarının daha etkili hale gelmesini sağlar. Minyatürleştirme ve kablosuz iletişim gibi yenilikler, yerleştirilmiş sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı veri toplamanın ve analiz etmenin daha kolay olmasını sağlar.
- **Hibrit Simülasyon Modellerinin Geliştirilmesi:** Hibrit simülasyon modelleri, fiziksel testleri sayısal simülasyonlarla birleştirerek yapısal sistemlerin davranışlarını daha gerçekçi bir şekilde simüle edebilir. Bu, yapıların sismik dayanıklılığını daha doğru bir şekilde değerlendirmeye olanak tanır.
- **Görselleştirme ve Sürükleyici Teknolojilerdeki Gelişmeler:** Sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik gibi teknolojiler, sismik verilerin daha etkili bir şekilde görselleştirilmesini ve paydaşların daha iyi anlamasını sağlar.
- **Dijital İkizlerin BIM ile Entegrasyonu:** Dijital ikizlerin bina bilgi modellemesi (BIM) ile entegrasyonu, inşa edilmiş varlıkların daha iyi yönetilmesini ve deprem risklerinin azaltılmasını sağlar.
- **Gelişmiş Dayanıklılık Planlaması ve Politika Geliştirme:** Dijital ikizler, sismik risklerin daha iyi anlaşılmasını ve buna uygun politikaların geliştirilmesini sağlar. Bu da toplumların depreme hazırlık düzeyini artırır.
- **İşbirlikçi Platformlar ve Açık Veri Girişimleri:** İşbirlikçi platformlar ve açık veri girişimleri, sismik risk yönetimi alanındaki bilgi paylaşımını ve iş birliğini teşvik eder. Bu da daha etkili çözümlerin geliştirilmesine olanak tanır.

Bu eğilimler ve yenilikler, sismik dijital ikizlerin gelecekteki kullanımı ve etkisinin artacağını göstermektedir. Bu teknolojilerin uygulanması, depremlere karşı toplumların daha dirençli olmasına ve afetlerle daha etkin bir şekilde başa çıkmasına yardımcı olabilir.

## 8. Sonuç

Bu tartışma boyunca, sismik dijital ikizlerin depreme karşı dayanıklılığı artırmadaki önemli rolü, zorlukları, fırsatları ve gelecekteki yönleri üzerine önemli bulgular tanımlanmaya çalışılmıştır.

Sismik dijital ikizler, depreme maruz kalan bölgelerde afetlere karşı dirençliliği artırmak için dönüştürücü bir yaklaşım sunar. Bu teknoloji, depremlerin etkilerini anlama, simüle etme ve azaltma konusunda bütünsel ve veriye dayalı bir çerçeveye sağlar. Gerçek zamanlı verileri, gelişmiş modelleme tekniklerini ve iş birliğine dayalı platformları entegre ederek, paydaşların bilinçli kararlar almasını, kaynakları optimize etmesini ve daha dirençli topluluklar oluşturmasını sağlar.

Sismik dijital ikizlerin afetlere karşı dayanıklılığı artırmadaki etkileri çok boyutludur. Bu teknoloji, sismik tehlikeler, yapısal güvenlik açıkları ve risk faktörleri hakkında değerli bilgiler sağlayarak proaktif risk değerlendirmesi, erken uyarı sistemleri ve uyarlanabilir azaltma stratejileri sağlarlar. Paydaşlar, dijital ikizlerin yardımıyla hazırlık, müdahale ve iyileştirme çabalarını iyileştirerek depremlerin insani, sosyal ve ekonomik maliyetlerini azaltabileceklerdir.

Sismik dijital ikizlerin sürekli araştırılması ve benimsenmesinin teşvik edilmesi, afetlere karşı dirençlilikte potansiyellerinin tam olarak ortaya çıkarılması için önemlidir. Bu, disiplinler arası iş birliğini, araştırma ve geliştirmeye yatırımı ve bu teknolojilerin etik ve adil bir şekilde uygulanmasına bağlılığı gerektirir. Yenilikçiliği, bilgi paylaşımını ve kapasite geliştirmeyi teşvik ederek, daha dayanıklı toplumlar oluşturmak ve savunmasız toplulukları depremlerin etkilerinden korumak için dijital ikizlerin gücünden faydalanılabilmektedir.

Sonuç olarak, sismik dijital ikizler, deprem riski yönetiminde umut verici bir yaklaşım değişimini temsil etmekle beraber, afetlere karşı dirençliliği artırmak ve gelecek nesiller için daha güvenli ve daha sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için yeni fırsatlar sunmaktadır.

## References

- [1] D.S. Gade, Disruptive Technologies for Efficient and Sustainable Smart Cities, *International Journal of Management, Technology, and Social Sciences* (2021). <https://doi.org/10.47992/ijmts.2581.6012.0152>.
- [2] V. Gurbaxani, D. Dunkle, Gearing up for successful digital transformation, *MIS Quarterly Executive* 18 (2019). <https://doi.org/10.17705/2msqe.00017>.
- [3] W. Alawad, N. Ben Halima, L. Aziz, An Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System for Disaster and Crisis Management in Smart Cities, *Electronics (Switzerland)* 12 (2023). <https://doi.org/10.3390/electronics12041051>.
- [4] J. Rajan, S. Shriwastav, A. Kashyap, A. Ratnoo, D. Ghose, Disaster management using unmanned aerial vehicles, in: *Unmanned Aerial Systems: Theoretical Foundation and Applications: A Volume in Advances in Nonlinear Dynamics and Chaos (ANDC)*, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820276-0.00013-3>.
- [5] A. Haghhighattalab, A. Mohammadzadeh, M.J. Valadan Zoej, M. Taleai, Post-earthquake road damage assessment using region-based algorithms from high-resolution satellite images, in: *Image and Signal Processing for Remote Sensing XVI*, 2010: p. 78301E. <https://doi.org/10.1117/12.864538>.
- [6] A. Albert, J. Kaur, M.C. Gonzalez, Using convolutional networks and satellite imagery to identify patterns in urban environments at a large scale, in: *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2017. <https://doi.org/10.1145/3097983.3098070>.
- [7] F. Yamazaki, K. Kouchi, M. Matsuoka, Tsunami damage detection using moderate-resolution satellite imagery, in: *8th US National Conference on Earthquake Engineering 2006*, 2006: pp. 7532–7541.
- [8] T. Yigitcanlar, M. Regona, N. Kankanamge, R. Mehmood, J. D’costa, S. Lindsay, S. Nelson, A. Brhane, Detecting Natural Hazard-Related Disaster Impacts with Social Media Analytics: The Case of Australian States and Territories, *Sustainability (Switzerland)* 14 (2022). <https://doi.org/10.3390/su14020810>.
- [9] Z. Wang, X. Ye, Social media analytics for natural disaster management, *International Journal of Geographical Information Science* 32 (2018). <https://doi.org/10.1080/13658816.2017.1367003>.
- [10] C. Scheele, M. Yu, Q. Huang, Geographic context-aware text mining: enhance social media message classification for situational awareness by integrating spatial and temporal features, *Int J Digit Earth* 14 (2021). <https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1968048>.

- [11] Z. Van Veldhoven, J. Vanthienen, Digital transformation as an interaction-driven perspective between business, society, and technology, *Electronic Markets* 32 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00464-5>.
- [12] D. Velev, P. Zlateva, A Feasibility Analysis of Emergency Management with Cloud Computing Integration, *International Journal of Innovation, Management and Technology* 3 (2012).
- [13] Z. Allam, Z.A. Dhunny, On big data, artificial intelligence and smart cities, *Cities* 89 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.032>.
- [14] S. Genovese, Artificial Intelligence: A Guide for Thinking Humans, *ORDO* 71 (2020). <https://doi.org/10.1515/ordo-2021-0028>.
- [15] D. Özkiziltan, Melanie Mitchell: Artificial intelligence—a guide for thinking humans, *Genet Program Evolvable Mach* 23 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10710-022-09439-7>.
- [16] Amit.A.P.A.P. Sheth, F. Lamy, R. Daniualaityte, Amit.A.P.A.P. Sheth, R.W. Transforming Big Data into Smart Data: Deriving Value via Harnessing Volume, Variety & Velocity Using Semantics and Semantic Web, in: *IEEE Internet Comput*, 2007.
- [17] M. Niyazi, J. Behnamian, Application of cloud computing and big data in three-stage dynamic modeling of disaster relief logistics and wounded transportation: a case study, *Environmental Science and Pollution Research* 30 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24770-3>.
- [18] J. Garrity, Harnessing the Internet of Things for Global Development, *SSRN Electronic Journal* (2016). <https://doi.org/10.2139/ssrn.2588129>.
- [19] B.M. Ayyub, Systems resilience for multihazard environments: Definition, metrics, and valuation for decision making, *Risk Analysis* 34 (2014). <https://doi.org/10.1111/risa.12093>.
- [20] X. Lu, Q. Cheng, Z. Xu, Y. Xu, C. Sun, Real-time city-scale time-history analysis and its application in resilience-oriented earthquake emergency responses, *Applied Sciences (Switzerland)* 9 (2019). <https://doi.org/10.3390/app9173497>.
- [21] K. Vahdat, N.J. Smith, G. Amiri, Seismic risk management: A system-based perspective, *Risk Management* 16 (2014) 294–318. <https://doi.org/10.1057/rm.2015.3>.
- [22] L. Giuliani, A. Revez, J. Sparf, S. Jayasena, M. Havbro Faber, Social and technological aspects of disaster resilience, *International Journal of Strategic Property Management* 20 (2016). <https://doi.org/10.3846/1648715X.2016.1185477>.
- [23] G.P. Cimellaro, A.M. Reinhorn, M. Bruneau, Framework for analytical quantification of disaster resilience, *Eng Struct* 32 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.08.008>.

- [24] M. Schoon, A Short Historical Overview of the Concepts of Resilience, Vulnerability, and Adaptation, Workshop in Political Theory and Policy Analysis, ... (2005).
- [25] M. Bruneau, A. Reinhorn, Overview of the resilience concept, in: 8th US National Conference on Earthquake Engineering 2006, 2006.
- [26] V.A. Dokuchaev, Digital transformation: New drivers and new risks, in: 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 - Proceedings, 2020. <https://doi.org/10.1109/EMCTECH49634.2020.9261544>.
- [27] G. Vial, Understanding digital transformation: A review and a research agenda, *Journal of Strategic Information Systems* 28 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>.
- [28] F.X. Ollerros, M. Zhegu, Research handbook on digital transformations, 2016. <https://doi.org/10.4337/9781784717766>.
- [29] J. Savirimuthu, Research Handbook on Digital Transformations, *Scripted* 14 (2017). <https://doi.org/10.2966/scrip.140117.145>.
- [30] J. Vrana, R. Singh, Digitization, Digitalization, and Digital Transformation, in: *Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0*, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48200-8\\_39-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48200-8_39-1).
- [31] V. Lang, Digitalization and Digital Transformation, in: *Digital Fluency*, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6774-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6774-5_1).
- [32] Y.A.M. Qasem, R. Abdullah, Y. Yaha, R. Atana, Continuance use of cloud computing in higher education institutions: A conceptual model, *Applied Sciences (Switzerland)* 10 (2020). <https://doi.org/10.3390/APP10196628>.
- [33] Q. Duan, Cloud service performance evaluation: status, challenges, and opportunities – a survey from the system modeling perspective, *Digital Communications and Networks* 3 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2016.12.002>.
- [34] S. Zhang, H. Yan, X. Chen, Research on Key Technologies of Cloud Computing, *Phys Procedia* 33 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.05.286>.
- [35] G. Wease, K. Boateng, C.J. Yu, L. Chan, H. Barham, Technology Assessment: Cloud Service Adoption Decision, in: *Innovation, Technology and Knowledge Management*, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68987-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68987-6_16).
- [36] R. Boire, Predictive analytics: The power to predict who will click, buy, lie, or die, *Journal of Marketing Analytics* 1 (2013). <https://doi.org/10.1057/jma.2013.14>.

- [37] M.M. de Medeiros, N. Hoppen, A.C.G. Maçada, Data science for business: benefits, challenges and opportunities, *Bottom Line* 33 (2020). <https://doi.org/10.1108/BL-12-2019-0132>.
- [38] G. Vicario, S. Coleman, A review of data science in business and industry and a future view, *Appl Stoch Models Bus Ind* 36 (2020). <https://doi.org/10.1002/asmb.2488>.
- [39] Bharadwaj, K.B. Prakash, G.R. Kanagachidambaresan, Pattern Recognition and Machine Learning, in: *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57077-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57077-4_11).
- [40] Pattern Recognition and Machine Learning, *J Electron Imaging* 16 (2007). <https://doi.org/10.1117/1.2819119>.
- [41] J. Trujillo, The intelligence of machines, *Filosofija, Sociologija* 32 (2021). <https://doi.org/10.6001/fil-soc.v32i1.4383>.
- [42] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami, Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions, *Future Generation Computer Systems* 29 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
- [43] D. B. Rawat, V. Chaudhary, R. Doku, Blockchain Technology: Emerging Applications and Use Cases for Secure and Trustworthy Smart Systems, *Journal of Cybersecurity and Privacy* 1 (2021). <https://doi.org/10.3390/jcp1010002>.
- [44] P. Hofmann, C. Samp, N. Urbach, Robotic process automation, *Electronic Markets* 30 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12525-019-00365-8>.
- [45] D. Farinha, R. Pereira, R. Almeida, A framework to support Robotic process automation, *Journal of Information Technology* (2023). <https://doi.org/10.1177/02683962231165066>.
- [46] D.A. da Silva Costa, H.S. Mamede, M.M. da Silva, Robotic Process Automation (RPA) adoption: a systematic literature review, *Engineering Management in Production and Services* 14 (2022). <https://doi.org/10.2478/emj-2022-0012>.
- [47] F. Tao, B. Xiao, Q. Qi, J. Cheng, P. Ji, Digital twin modeling, *J Manuf Syst* 64 (2022) 372–389. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.015>.
- [48] F. Tao, M. Zhang, A.Y.C. Nee, *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, Elsevier, 2019. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02206-9>.
- [49] L.-T. Reiche, C.S. Gundlach, G.F. Mewes, A. Fay, The Digital Twin of a System: A Structure for Networks of Digital Twins, in: *2021 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA )*, IEEE, 2021: pp. 1–8. <https://doi.org/10.1109/ETFA45728.2021.9613594>.



- [50] W. Jia, W. Wang, Z. Zhang, From simple digital twin to complex digital twin Part I: A novel modeling method for multi-scale and multi-scenario digital twin, *Advanced Engineering Informatics* 53 (2022) 101706. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101706>.
- [51] P. Kuna, A. Hašková, Borza, Creation of Virtual Reality for Education Purposes, *Sustainability (Switzerland)* 15 (2023). <https://doi.org/10.3390/su15097153>.
- [52] L. Muñoz-Saavedra, L. Miró-Amarante, M. Domínguez-Morales, Augmented and virtual reality evolution and future tendency, *Applied Sciences (Switzerland)* 10 (2020). <https://doi.org/10.3390/app10010322>.
- [53] E. Ashgan, N. Moubarki, M. Saif, A.M. El-Shorbagy, Virtual Reality in Architecture, *Civil Engineering and Architecture* 11 (2023). <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110138>.
- [54] R. Villarroel, E. Fernández-Medina, M. Piattini, Secure information systems development - A survey and comparison, *Comput Secur* 24 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.cose.2004.09.011>.
- [55] W. Huang, Design of Computer Network Security Defense System Based on Big Data, in: *J Phys Conf Ser*, 2021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1881/2/022049>.
- [56] Y. Usuda, T. Matsui, H. Deguchi, T. Hori, S. Suzuki, The shared information platform for disaster management –the research and development regarding technologies for utilization of disaster information, *Journal of Disaster Research* 14 (2019). <https://doi.org/10.20965/jdr.2019.p0279>.