

GSI JOURNALS



SERIE C
ADVANCEMENTS IN
INFORMATION SCIENCES
AND TECHNOLOGIES
(AIST)

VOLUME 3 ISSUE 1 YEAR 2020 ●



GSI JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES
AND TECHNOLOGIES

Volume: 3 Issue: 1

JOURNAL INFO (COPYRIGHT)

Journal Name	GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies
E-Mail	GSIJournalsC@gsico.org
Web	https://gsico.info/publications
Adress	Adress: Josipa Broza Tita 23A sprat II, PD97.KO Podgorica III - MONTENEGRO
Publisher	Hilmi Rafet Yüncü

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES
AND TECHNOLOGIES

Volume: 3 Issue: 1

Chef in Editor

Alper Çabuk

(Prof. – Eskisehir Technical University)

Co-Editor

Gökhan Erşen

(Res.Asist. - Anadolu University)

Editorial Board

<i>Alper Çabuk</i> (Prof. – Eskisehir Technical University)	<i>Avinash Pawar</i> (Assoc. Prof. - University of Pune)
<i>Dileep Kumar</i> (Assoc. Prof. - BERJAYA University College)	<i>Francesco Greco</i> (Prof. - University of Niccolò Cusano)
<i>Dimitrios Diamantis</i> (Prof. - Les Roches Global Hospitality Education)	<i>Detlev Remy</i> (Assoc. Prof. - Singaporian Institute of Technology)
<i>Dragan Cisic</i> (Prof. - University of Rijeka)	<i>M. Adel Atia-</i> (Assoc. Prof. Minia University)
<i>Halim Perçin</i> (Prof. – Ankara University)	<i>Jagbir Singh Kadyan</i> (Assoc. Prof. - University of Delhi)
<i>Haywantee Ramkissoon</i> (Assoc. Prof. - Curtin University)	<i>Mukhles Al-Ababneh</i> (Assoc. Prof. - Al-Hussein Bin Talal University)
<i>Jean-Pierre van der Rest</i> (Prof. - Leiden University)	<i>Sunil Kumar Tiwari-</i> (Prof - A.P.S.University)
<i>Jelena Janjusevic</i> (Assist. Prof. - Heriot-Watt University)	<i>Gamal S. A. Khalifa</i> (Assoc. Prof. - Lincoln University College)
<i>Judy Hou</i> (Manager - The Emirates Academy of Hospitality Management)	<i>Hilmi Rafet Yüncü</i> (Assoc. Prof. – Anadolu University)
<i>Mahdi Nasrollahi</i> (Assist. Prof. – Imam Khomeini Int. University)	<i>Athula Gnanapala</i> (Assoc. Prof. - Sabaragamuwa University)
<i>Mir Abdul Sofique</i> (Assoc. Prof. - University of Burdwan)	<i>Taki Can METİN</i> (Assist. Prof.-Kırklareli University)
<i>Onur Çakır</i> (Assist. Prof. – Kırklareli University)	<i>Cem Sayın</i> (Assist. Prof. – Anadolu University)
<i>Piyush Sharma</i> (Assoc. Prof. Amity University)	<i>Amitabh Upadhya</i> (Prof. - Skyline University College)
<i>Sonia Mileva</i> (Prof. - Sofia University)	<i>Sunil Kumar</i> (Assoc. Prof. - Alliance University)
<i>Stephanie Morris</i> (Assoc. Prof. - The Emirates Academy of Hospitality Management)	<i>Dejan S. Šabić</i> (Prof. - University of Belgrade)
<i>Verda Canbey Özgüler</i> (Prof. - Anadolu University)	<i>Melike Uluçay</i> (Assist. Prof. – Yaşar University)

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION
SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 3 Issue: 1

CONTENT

Onur BAŞKAYA – Balca AĞAÇSAPAN – Alper ÇABUK	Akıllı Şehirler Kapsamında Yapay Zekâ Teknikleri Kullanarak Etkin Ulaşım Planlarının Oluşturulması Üzerine Bir Model Önerisi	1-21
İbrahim YENİGÜN – Kasım YENİGÜN – Saffet ERDOĞAN	Sanal Gerçekliğe Ticari Uygulama Yaklaşımları; İnşaat Sektörü Örneği	22-31
Berkant KONAKOĞLU	Barajların Jeodezik Yöntemler İle İzlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmaların İrdelenmesi	32-46
Mehmet İNCEOĞLU – Bircan İNAN	Bilgisayar Destekli Tasarımın Gelişimi: Yeni Bir Mimari Metodoloji Olarak YBM	47-65
Gülşah DOĞAN	Bina Tasarımında Karar Desteği Olarak Sürdürülebilirlik Değerlendirme Araçları	66-91

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 3, Issue: 1, p. 1-21, 2020

AKILLI ŞEHİRLER KAPSAMINDA YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ KULLANARAK ETKİN ULAŞIM PLANLARININ OLUŞTURULMASI ŐZERİNE BİR MODEL ŐNERİŐİ

A MODEL PROPOSAL ON THE PREPARATION OF EFFECTIVE TRANSPORTATION PLANS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES WITHIN THE CONTEXT OF SMART CITIES

Onur BAŐKAYA¹
Balca AĖAŐSAPAN²
Alper ŐABUK³

(Received 09.08.2019 Accepted 15.02.2020) - Research Article

Özet

Akıllı Şehirler kapsamında her Şehir iÇin farklı konularda ĖalıŐmalar yapılabilirken, ulaşım hizmetinin bütün akıllı Şehir örneklerinde oldukĖa önemli olduğu görülmüştür. Ulaşım hizmetinin akıllı Şehir kapsamında değerlendirilebilmesi iÇin ulaşım planlanmasının etkin olarak hazırlanması gerekmektedir. Ulaştırma sistemlerinin etkin bir Şekilde kullanımını sağlayabilmek amacıyla hazırlanan Toplu Ulaşım Ana Planları, uzman kişiler tarafından belirli periyotlarda hazırlanmaktadır. Bu ĖalıŐmada, ulaŐıma etki eden faktörlerin ve parametrelerin dinamik bir yapıda toplanarak yapay zekâ teknikleri analizleri neticesinde otomatik planların hazırlanması ve etkin toplu ulaşım faaliyetlerinin yürütülmesi ile Ėevre kirliliğine, trafik yoğunluğuna, yüksek maliyet problemlerine Ėözüm getirilmesi, bunun sonucunda, belirli periyotlarda hazırlanan ulaşım planlaması iş yükü ve maliyetinin azaltılması hedeflenmektedir. GerĖekleŐen ulaşım hareketlerinin kayıt altında tutulması ile ileride oluşacak olan ulaşım hareketlerinin analizi yapılabilecek ve gelecekte gerĖekleŐmesi beklenen ulaşım hareketlerinin düşük bir yanılma payı ile yaklaşık olarak

¹ Eskişehir Teknik Őniversitesi, Lisansüstü EĞitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, onurbaskaya@eskisehir.edu.tr

² Eskişehir Teknik Őniversitesi, Lisansüstü EĞitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, bagacsapan@eskisehir.edu.tr

³EskiŐehir Teknik Őniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Restorasyon Anabilim Dalı, acabuk@eskisehir.edu.tr

Başkaya, O. & Ağaçsapan, B. & Çabuk, A. (2020). Akıllı Şehirler Kapsamında Yapay Zekâ Teknikleri Kullanarak Etkin Ulaşım Planlarının Oluşturulması Üzerine Bir Model Önerisi. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST), 3 (1): 1-21.

tahmin edilerek ulaşım planlanmasının somut bir bilgiye bağlı kalarak yapılması amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Akıllı şehir, Yapay zekâ, Coğrafi bilgi sistemleri, Ulaşım planı, Etkin ulaşım.

Abstract

While it is possible to work on different topics for each city within the scope of smart cities, it is seen that transportation service is very important in all smart city examples. In order to evaluate the transportation service within the scope of smart city, transportation planning must be prepared effectively. The Public Transportation Master Plans, which are prepared in order to ensure the efficient use of transportation systems, are prepared by experts in certain periods. In this study, by gathering the factors and parameters affecting the transportation in a dynamic structure, preparing automatic plans as a result of artificial intelligence techniques, and carrying out effective public transportation activities, solving environmental pollution, traffic density, high cost problems, and consequently, transportation planning workload prepared in certain periods so reduce cost. It is aimed to carry out the transportation planning by adhering to a concrete information by keeping a record of the realized transportation movements and to analyze the transportation movements that will occur in the future and to estimate the transportation movements that will be realized in the future with a low margin of error.

Keywords: Smart city, Artificial intelligence, Geographical information systems, Transportation planning, Effective transportation.

Başkaya, O. & Ağaçsapan, B. & Çabuk, A. (2020). Akıllı Şehirler Kapsamında Yapay Zekâ Teknikleri Kullanarak Etkin Ulaşım Planlarının Oluşturulması Üzerine Bir Model Önerisi. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST), 3 (1): 1-21.

Bu makale, birinci yazar Onur BAŞKAYA'nın "Başkaya O., Akıllı Şehirler Kapsamında Yapay Zekâ Teknikleri Kullanarak Etkin Ulaşım Planlarının Oluşturulması Üzerine Bir Model Önerisi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi" yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. GİRİŞ

Ulaşım, insan veya nesnelerin yer değiştirmesi (bulunduğu yerden farklı bir yere aktarılması) ve bunun organize edilmesidir. Yer değiştirmenin yanında erişebilirliğin de sağlanmasıdır. Ulaşmak ve ulaşılabilir olmak oldukça önemlidir (Ayataç, 2016, 31- 35). Tarihte araç sayı ve teknolojilerindeki yetersizliklerden dolayı zor şartlarda gerçekleştirilen ulaşım hizmeti, günümüzde araçların fazlalığından kaynaklanan, yol ve park alanlarının yetersizliği, hava kirliliği, trafik yoğunluğu, yüksek miktarda enerji tüketimi gibi problemlerle birlikte gerçekleşmektedir (Franklina vd., 2018, 1). Bu problemlerin çözümlenebilmesi için birçok şehirde insanlar toplu taşıma araçlarına yönlendirilmekte ve toplu taşıma araçlarının hatları ve kapasiteleri genişletilmektedir.

İyi yönetilen, yaşayanlara kolaylık sağlayan, sürdürülebilir ve çok yönlü şehir olarak tanımlanmakta olan akıllı şehirlerde ulaşım konusu, özellikle çevre, enerji ve insanların hayatlarının kolaylaştırılmasına etkileri bakımından oldukça önemlidir (Glasmeier ve Nebiolo, 2016, 1122). Bir şehrin akıllı şehir olabilmesi için çok az insan müdahalesi gerektiren ya da hiç gerektirmeden, kendi kendine çalışabilen ve düzeltme yapabilen akıllı teknolojiler kullanılmalıdır (Goodspeed, 2014, 79-92). Ulaşım alanında akıllı teknolojilerin kullanılmasıyla, araçlar etkin bir şekilde kullanılabilir, ulaşım hareketlerini etkileyen faktörler önceden hesaba katılarak dinamik planlar oluşturulabilecektir. Bunun sonucunda trafik yoğunluğu, çevre kirliliği, maliyet ve iş yükü gibi problemler azalacaktır (Ling vd., 2017, 375-379).

Son yıllarda, akıllı teknolojilerin hızlı ilerlemesi ile akıllı şehir kavramı büyük bir ün kazanmış ve birçok şehirde kentsel hizmetlerin iyileştirilmesi için daha bütünsel bir yaklaşım benimsenmeye başlanmıştır. Sınırlı kaynaklarla toplu taşıma hizmeti sağlamaya çalışan şehirler, Akıllı Ulaşım Sistemi yatırımları yapmaya başlamıştır. Akıllı Ulaşım Sistemi'nde mevcut ulaşım altyapısını daha verimli kullanmak amacıyla akıllı teknolojiler kullanılmaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemi'nin sonucunda ise ulaşım hizmetleri iyileşmekte, tıkanıklıklar, kazalar ve hava kirliliği azalmaktadır. Bu nedenle Akıllı Ulaşım Sistemi, akıllı ulaşım bileşeni olarak akıllı şehirlerin temel uygulaması haline gelmiştir. 2011 yılında düzenlenen Dünya Ekonomik Forumu'na göre dünya çapında toplam enerji kullanımının yaklaşık beşte biri ve en yükseklerinin ulaştırma hizmetlerinde kullanıldığı belirtilmektedir. Akıllı Ulaşım Sistemi ile sağlanan kentsel ulaşım talep yönetimi, iklim değişikliğini hafifletmek için büyük bir çözüm olarak görülmektedir (Chen vd., 2017, 381-396).

Şehirlerde gün içerisinde gerçekleşen çok sayıda ulaşım hareketleri, veri olarak tutulmadığından çeşitli çıkarımlar için kullanılamamaktadır. BİT kullanılarak, hat, durak ve otobüs kapasite bilgilerinin tutulması sonucunda hangi saatlerde yoğunluğun olduğu, hangi kapasitedeki araçların kullanılması gerektiği hesaplanabilir. Tüm ulaşım verilerine ait kayıtlar saklanabilir ve bu kayıtlardan çeşitli çıkarımlar yapılabilir (Neumann, 2017, 494-505). Ulaşım hareket verilerinin coğrafi bilgi sistemleri dâhilinde düzenli bir biçimde toplanması, makine öğrenmesi ve genetik algoritma teknikleri ile ulaşım planlarının etkinliğinin sağlanması, bu verilerin işlenerek karar verme mekanizmasına katkıda bulunması amaçlanmaktadır. Ulaşım

planlamalarının teknoloji yardımıyla insan gücü olmadan yapılması ve etkin olarak yapıldığı için iş yükünün, araç ve yakıt miktarlarının azaltılması hedeflenmektedir. Bahsedilen modelin kullanılması, etkin ulaşım planlanması ve ulaşım hizmeti verilmesinin yanında şehrin yönetimi, karar verme gibi birçok konuda bu verilerin kullanılabilceği görüşünü savunarak şehirler için ulaşım veri tabanı modeli sunmasından dolayı önem arz etmekte ve ulaşım planlarının coğrafi bilgi sistemleri ve yapay zekâ teknikleri ile birlikte yapılmasının gerekliliğini göstermektedir. Ayrıca bu çalışma daha önce birçok rotalama çalışması yapılmasına rağmen toplu ulaşım rota planlaması hakkında yeterli sayıda çalışma yapılmaması nedeniyle önem kazanmakta, araç rotalama problemini toplu taşıma araçları çerçevesinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

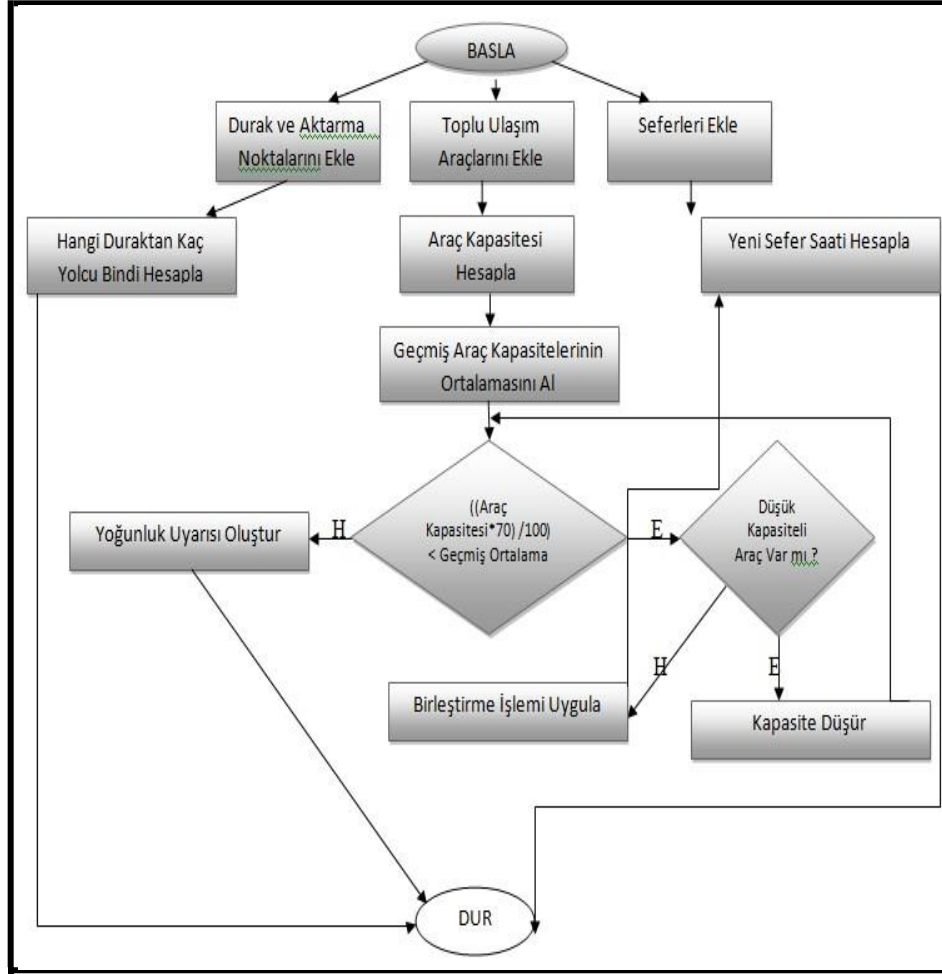
Geçmiş ulaşım verilerinin toplanması ve analiz edilmesi neticesinde dinamik ulaşım planı oluşturmayı hedefleyen çalışmanın modelinde kullanılan materyal, yöntem ve veriler bu bölümde tanımlanmıştır.

2.1. Materyal

Önerilen modelde, Esri Community Analyst, Esri Location Analytics, ArcGIS Network Analyst, ArcGIS Geoevent Extension For Server, ArcGIS Desktop araçları kullanılmıştır. Bu materyallerden Esri Community Analyst, planlama yapılan şehrin bölgeleri için yoğunluk analizi ve yoğunluk haritalarının oluşturulması, Esri Location Analytics, durakların en uygun yerlerde konumlandırılması, ArcGIS Network Analyst, yol ağı içerisinde toplu ulaşım araçları için en uygun hatların oluşturulması amacıyla kullanılmıştır. Araçların validatör ve GNSS cihazlarından alınan verilerin gerçek zamanlı olarak modele aktarılması ve böylece gerçek zamanlı analizlerin yapılabilmesi, durumların anlık olarak takip edilerek gerekli müdahalelerin yapılmasını sağlayabilmek amacıyla ArcGIS GeoEvent Extension for Server kullanılmıştır. ArcGIS Pro ve ArcMap editörleri vasıtasıyla kullanılacak olan diğer araçlar için platform olarak ise ArcGIS Desktop kullanılmıştır. Toplu taşıma araçlarının anlık yoğunluklarının ölçülebilmesi ve bu çerçevede karar verebilmek için (ilave araç göndermek, sefer sayısını azaltmak, sefer saatlerini düzenlemek vb.) iniş kapılarında yolcu sayma sensörü kullanılması gerekmektedir.

2.2. Yöntem

Hatlarda geçmişte yaşanan yoğunluk bilgilerinin veri tabanı ortamında saklanması sonrasında coğrafi bilgi sistemleri ve yapay zekâ teknikleri kullanılarak toplu taşıma araçları teknolojik bir altyapı ile hazırlanmış ulaşım planı çerçevesinde hizmet verecektir. Geçmiş ulaşım hareketlerinin analizi ile gelecekte gerçekleşecek olan ulaşım hareketi tahmini yapılarak toplu taşıma araçları, kapasite ve kişi oranı ile daha etkin rotalandırılabilir. Ayrıca modelde ulaşım hareketlerinin ortalaması alınacağından veritabanına kaydedilen ulaşım sayısı arttıkça modelin doğruluğu da artacaktır. Modele ait algoritma Resim 1’de gösterilmiştir.

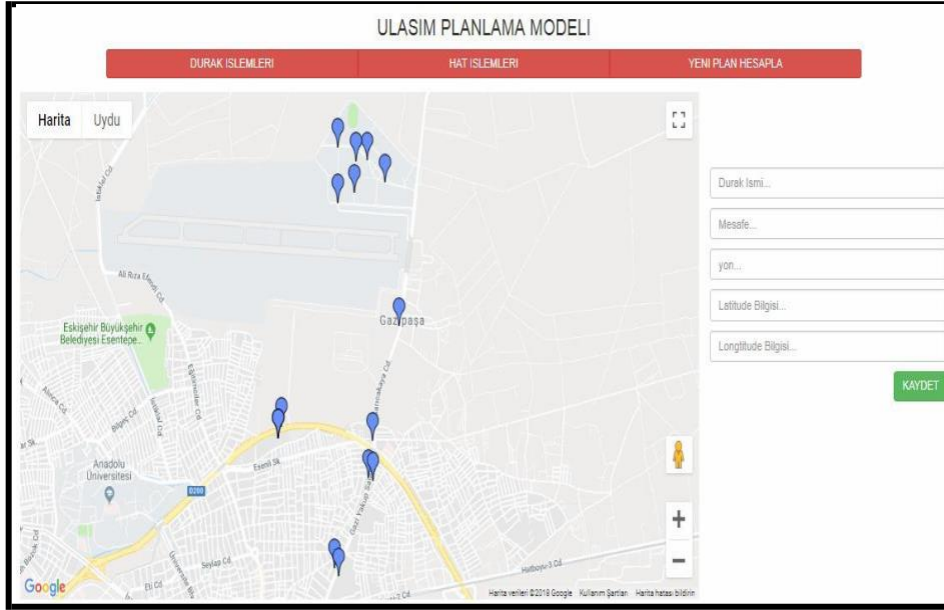


Resim 1. Modelin Algoritması

Kapasite durumuna göre araç kapasitesi artırılabilir veya azaltılabilir. Bu seçenekler veri tabanı ortamında tutularak veriler birikecek böylece makine öğrenmesi tekniği ile uzman sistem kurgusu yapılarak ortaya daha gerçeğe yakın sonuçlar çıkacaktır. Bahsedilen model aşamalardan oluşacaktır. Bu aşamalar yöntem alt başlığı altında incelenmiştir.

2.2.1. Durak ve Aktarma Noktalarının Konumsal Olarak Kaydedilmesi

Durak bilgileri hangi araca hangi seferde kaç yolcunun bindiğinin hesaplanması için nokta veri tipinde uygulamaya eklenmelidir. Resim 2’de durakların uygulamaya eklenmesi ve harita üzerinde nasıl gösterildiği görülmektedir. Uygulamada altlık olarak Google Harita kullanılmıştır. Her bir durak uygulamaya eklenirken id, isim, yön ve konum bilgisi girilerek kaydedilmiştir.



Resim 2. Durakların Harita Düzleminde Gösterilmesi

2.3. Toplu Taşıma Araçlarının Veri Tabanına Kapasite Bilgileri İle Birlikte Kaydedilmesi

Çalışma yapılan bölge içerisinde hizmet vermekte olan toplu taşıma araçları kapasite kontrolü yapılmak üzere öznitelik verisi olarak eklenmelidir. Araçlar, id, plaka, araç türü ve kapasite bilgileri ile kaydedilmelidir.

2.4. Sefer Bazında Ulaşım Yoğunluk Verilerinin Analizi

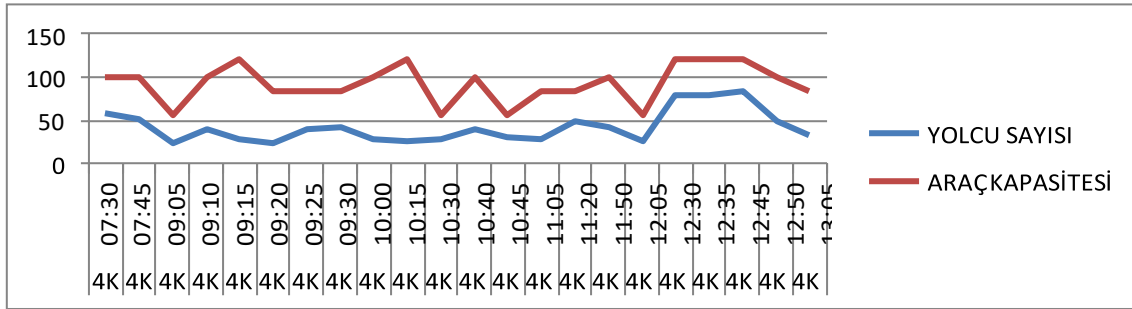
Her sefere ait yoğunluk bilgisi veri tabanında tutulduğunda karşılaştırma yapılarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilecektir. Geçmiş ulaşım hareketlerinin yoğunluk analizi yapıldığında, gelecekte yapılacak olan ulaşım hareketlerinin tahmininde daha doğru sonuçlar üretilebilecektir. Günlük yolculuk bilgilerinin her otobüs seferi bazında hareket kaydının tutulması sonucunda ilerleyen zamanlarda gerçekleşecek olan ulaşım hareket yoğunluğu hakkında çıkarım yapılabilecektir. Otobüs kapasite bilgileri de saklandığında belirli saatlerde daha düşük kapasiteli veya daha yüksek kapasiteli araç görevlendirmek mümkün olabilecektir. Veritabanında sefer, araç, durak tabloları ilişkisel olarak saklanacak ve işlemler bu tabloda yapılacaktır.

2.5. Hat Yoğunluklarının Tespit Edilmesi ve Sefer Sıklıklarının Düzenlenmesi

Hat yoğunlukları, hafta içi, hafta sonu, gündüz, akşam gibi zamanlarda değişkenlik göstermektedir. Hafta içi ve hafta sonu günler seçilerek bu günlerde yaşanan yoğunlukların ortalaması alınarak hafta, ay ve yıl olarak katsayılandırma yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bunun yanında sefer bazında yoğunluk bilgisinin tutulması ile hangi saatlerde daha yoğun ulaşım hareketi olduğu analiz edilebilecektir.

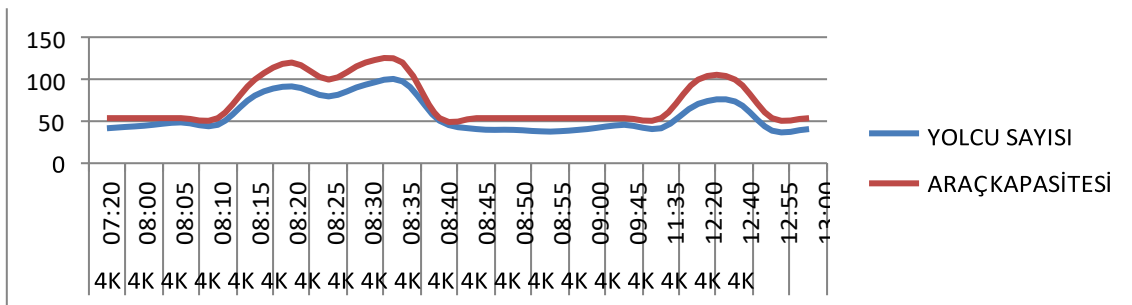
Üniversite öğrencileri toplu ulaşım araçlarında konfordan daha çok kullanılabilirliğe önem vermektedirler. Bu sonuç, karar vericilerin konfordan ziyade öncelikle hattın kullanılabilirliğini artırmaya yönelik çalışmalar yapması gerektiğini göstermektedir (Güner S., 2017, 33-41). Toplu taşıma araçlarının doluluk oranlarındaki azalma yolcu başına taşıma maliyetini artırmaktadır. Bu yüzden yüksek kapasiteli araçların insan hareketinin yoğun olduğu saatler dışında hizmet vermesi verimliliği düşürmektedir (Akbulut F., 2016, 336-355). Bu sebeplerden dolayı ulaşım planlamalarında bir doluluk oranının belirlenmesi gerekmektedir. Ulaşım hizmeti verilirken oturarak ya da ayakta seyahat edecek yolcuların rahatlıkla seyahat edebileceği bir doluluk oranı olması ve kapasite düşürme işlemi yapılırken araç kapasiteleri arasında yaklaşık yüzde 15(2 kez kapasite düşürme işlemi uygulandığında yaklaşık yüzde 30 olacaktır.) fark olmasından dolayı bu oran %70 olarak seçilmiştir.

Eskişehir Teknik Üniversitesi'ne hizmet vermekte olan 4K hattında sefer saatleri web sitesinden alınarak hipotetik veri üretme yöntemi ile denenmiştir. Saat 07:20 – 13:05 saatleri arasındaki seferler veritabanına kaydedilerek denenmiştir. Model en az %70 doluluk oranı ile toplu taşıma araçlarının yolcu taşımalarını amaçlamıştır. Az sayıda yolcunun olduğu durumlarda ise daha önce mobil uygulama üzerinden alınmış ulaşım hareketlerine göre oluşacak dinamik rotalı toplu taşıma araçlarının görevlendirilmesini tavsiye etmektedir. Modelin analizi neticesinde yüzde 70 doluluk kapasitesinin altındaki seferleri listelenmiştir. Modele dâhil edilen toplam 42 adet seferden 22 adedi doluluk kapasitesine ulaşamayarak Resim 3'de gösterilmiştir.



Resim 3. Sefer Kapasite Karşılaştırılması Sonucu %70 Doluluk Altındaki Seferlerin Listesi

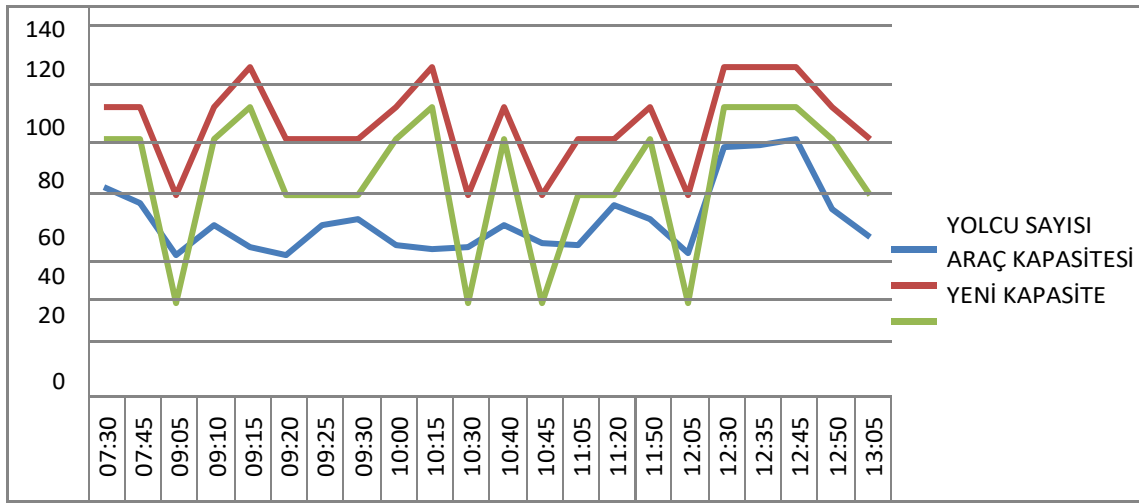
Resim 4'de ise modelin analizi sonucunda 42 adet hattın yüzde 70 ve üzeri dolulukta 20 adet hat gösterilmiştir.



Resim 4. Yüzde 70 ve Üzeri Doluluk Kapasitesindeki Seferlerin Listesi

Yüzde 70 ve üzerindeki doluluk oranındaki seferler model için uygundur ancak diğer seferler yeni analizlere tabi tutularak doluluk oranına ulaşması sağlanmalıdır. Bu kapsamda 22 adet sefer üzerinde araç kapasitesi düşürülecektir.

Araç kapasitesinin düşürülmesi ile elde edilen sonuç Resim 5’de gösterilmiştir. Araç kapasitesinin düşürülmesi sonucunda uygun doluluk oranına ulaşan araçlar için herhangi bir işlem yapılmayacak yüzde 70 doluluk oranına ulaşmamış olan araçlar için ise kapasite düşürme veya sefer birleştirme işlemi yapılacaktır. Araç kapasitesinin düşürülmesi ile 22 araçtan 7 araç istenilen doluluk oranına ulaşmıştır.



Resim 5. Araç Kapasitesi Düşürülerek Uygun Doluluk Oranına Ulaşan Seferler

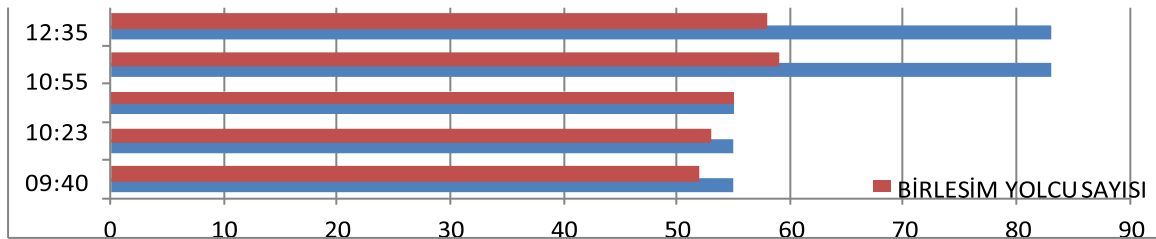
2.6. Hat Yoğunluklarının Tespit Edilmesi ve Araç Kapasitelerinin Düzenlenmesi

Kapasite düşürme işlemlerinin ardından seferlerin birçoğu %70 doluluk oranının üzerinde bir kapasiteye ulaşmıştır. 42 adet seferden 10 adedi istenilen yoğunluğa ulaşmadığından bu seferler üzerinde birleştirme işlemi uygulanacaktır.

Burada araca binen kişi sayıları araç kapasitesi ile karşılaştırılarak araç kapasitesini geçmeye kadar birleştirme işlemi uygulanmıştır.

2.7. Düzenlenen Seferlerin Saatlerinin Yeniden Optimize Edilmesi

Birleştirme işleminin sonucunda uygun doluluk oranına ulaşmayan 10 sefer, 5 sefere düşürülmüş ve sefer saatleri yoğunluk oranına göre Resim 6’da görüldüğü gibi oluşmuştur.

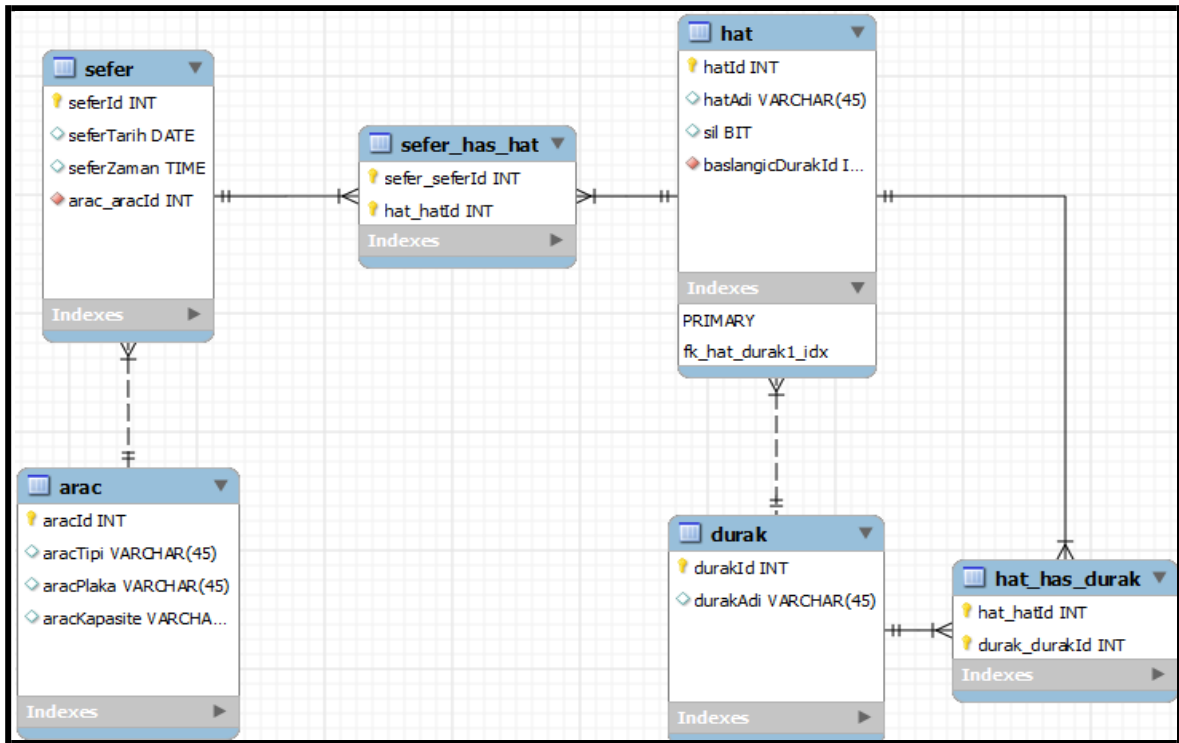


Resim 6. Seferlerin Yeniden Optimize Edilmesi Sonucu

Sonuç olarak hipotetik veriler ile oluşturulmuş olan modelde 42 adet sefer yerine 37 adet sefer ile 1 hat üzerinde ve yarım günlük veriler ele alındığında 5 adet seferin iptal edilebileceği görülmüştür. Uydu görüntüsü üzerinde mesafe ölçüldüğünde her sefer için yaklaşık 8 km. mesafe tasarrufu yapılacağı ve ulaşımın çok küçük bir bölümünü oluşturan Eskişehir Teknik Üniversitesi yönünde hizmet veren 4 hattın sadece 1 hattı ele aldığımızda 40 km. tasarruf yapıldığı görülmüştür. Bu modelin tüm ulaşım hareketlerinde uygulandığı düşünüldüğünde oldukça büyük miktarlarda araç, yakıt, hava kirliliği ve iş gücü tasarrufu sağlanacaktır.

2.8. Veri Tabanı Tasarımı

Sisteme ait veri tabanı tasarımı Resim 7’de görüldüğü gibidir.



Resim 7. Veri Tabanı Tasarımı

Veri tabanı, durak, hat, arac, sefer, cadde/sokak, onemli_lokasyon ve bolge tablolarından oluşmaktadır. Bir aracın birden fazla seferde bulunabileceğinden ancak bir seferde sadece bir aracın bulunabileceğinden araç ve sefer tabloları arasında bire-çok ilişki bulunacaktır. Bir araç birden fazla duraktan geçebileceği ve bir duraktan birden fazla araç geçeceği için durak ve araç tabloları arasında çoka-çok ilişki bulunacaktır. Bir araç birden fazla hatta çalışabileceği ve bir hatta birden fazla araç çalışabileceğinden araç ve hat tabloları arasında çoka çok ilişki bulunacaktır. Bir durakta birden fazla hat geçebileceğinden ve her hat birden fazla duraktan oluşabileceğinden hat ve durak tabloları arasında çoka-çok ilişki bulunmaktadır. Her bölgede birden fazla durak bulunabileceğinden ancak bir durağın sadece bir bölgede bulunabileceğinden durak ve bölge tabloları arasında bire çok ilişki olacaktır. Bir

önemli lokasyonun farklı zamanlarda farklı ziyaretçileri olacağından önemli lokasyon tablosu ile giriş_cikis tabloları arasında çoka-çok ilişki kurularak giriş ve çıkış saatleri arasında gerçekleşecek yoğunluk bilgisi kaydedilebilecektir. Bunun yanında cadde ve sokaklara ait yoğunluk bilgileri de kaydedilerek bölgelere ait yoğunluk bilgileri kaydedilmektedir.

2.9. Veri Yapıları

Sistem modelinde kullanılması öngörülen veri ve veri yapıları bu alt başlık kapsamında açıklanmıştır.

Araç verisi: Araç verisi nokta veri tipinde olacak ve tip (otobüs, tramvay, metro, dolmuş vs.), plaka, kapasite ile aracın nerede olduğunu görebilmek amacıyla gps cihazından alınan verinin saklanacağı konum sütunlarından oluşmaktadır.

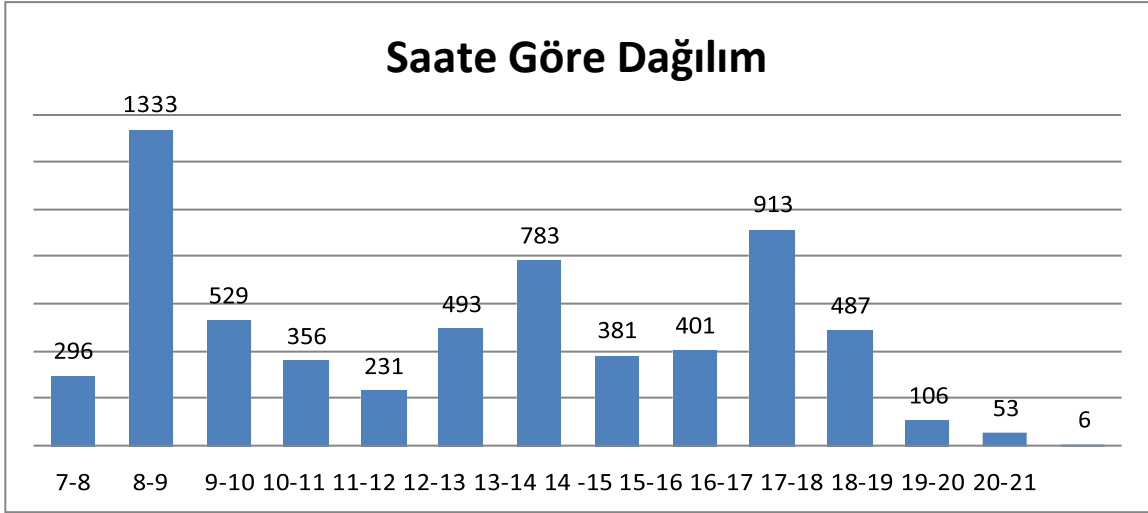
Sefer verisi: Sefer verisinde tarih, saat, binen kişi sayısı ve araç bilgisi kaydedilerek hangi seferde kaç yolcunun taşındığı bilgisi saklanacaktır.

Durak verisi: Durak verisi nokta tipinde olacaktır. Durağın hangi yöne doğru hizmet verdiğini gösteren yön bilgisi, isim bilgisi ve hangi bölgede olduğunu gösteren bolge_id bilgisi bulunacaktır.

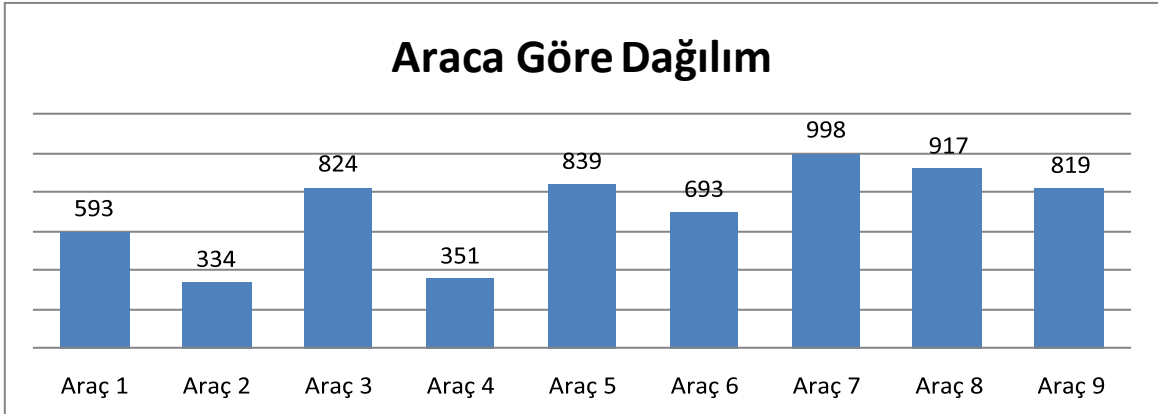
Hat verisi: Hat verisi çizgi tipinde olacaktır. İsim ve hangi yöne doğru ilerleyeceğini gösteren yön bilgisinden oluşacaktır. Yön bilgisi 0 iken ilerlenen yön 1 iken tersine ilerletilebilecektir. Genetik algoritma kullanılarak duraklardaki yolcu sayılarına göre durakların takip edilmesi sonucunda dinamik olarak oluşacaktır.

Öznitelik Verileri: Hazırlanan model önerisinin denenmesi amacıyla Eskişehir ilinde, Eskişehir Teknik Üniversitesi'ne hizmet vermekte olan 4K hattının yolcu sayıları Estram A.Ş.'den temin edilmiştir. Bunun yanında 4K hattına ait sefer bilgileri Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'nin web sitesinden güncel şekli ile model üzerinde kaydedilmiştir (Hızlı Menü Otobüs Saatleri, 2019).

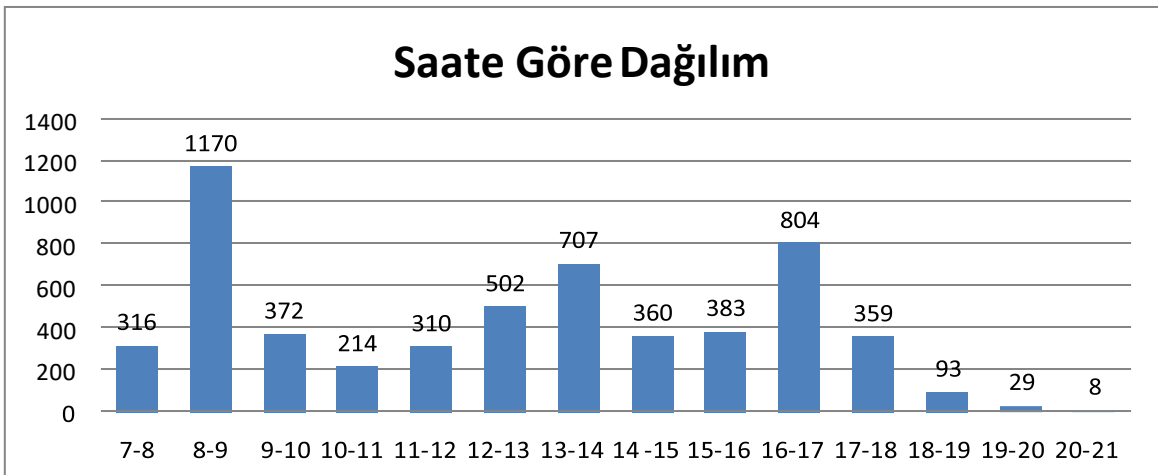
Estram A.Ş.'den alınan 4K hattına ait veriler aşağıda görüldüğü gibidir. Bu veriler hafta içi ve hafta sonu olarak seferlere göre değerlendirilecek ve ortalama alınarak hesaplanmıştır. Verilerin sefer ve durak bilgisine göre bir uygulama ile validatör cihazlarından alınması daha hızlı, kolay ve hata oranı düşük bir seçenek olacaktır.



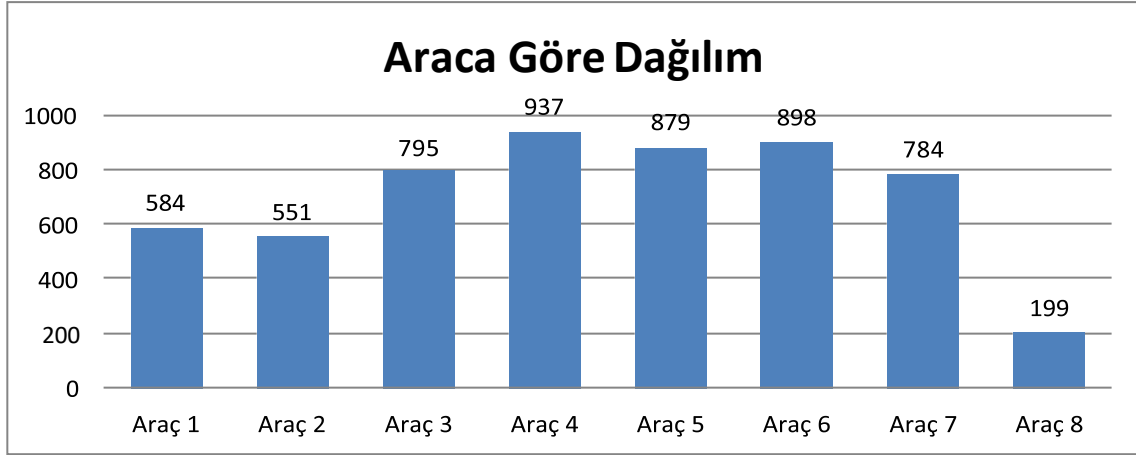
Resim 8. 08.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının saate göre dağılımı



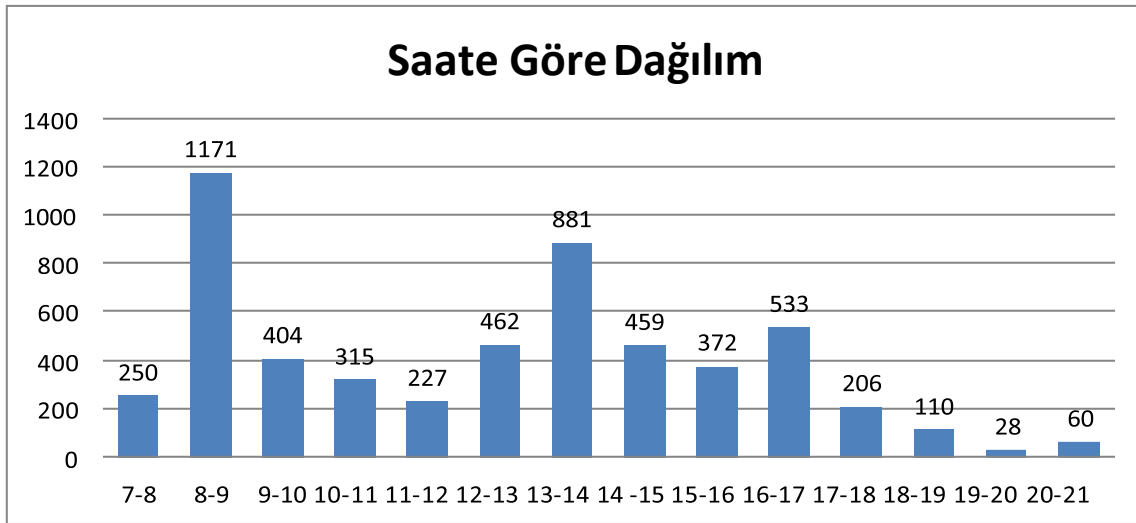
Resim 9. 08.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının araca göre dağılımı



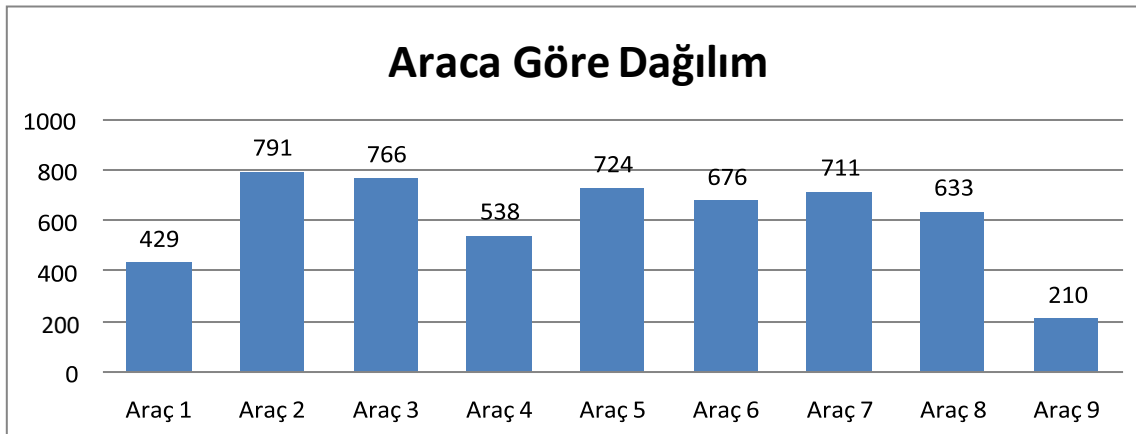
Resim 10. 09.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının saate göre dağılımı



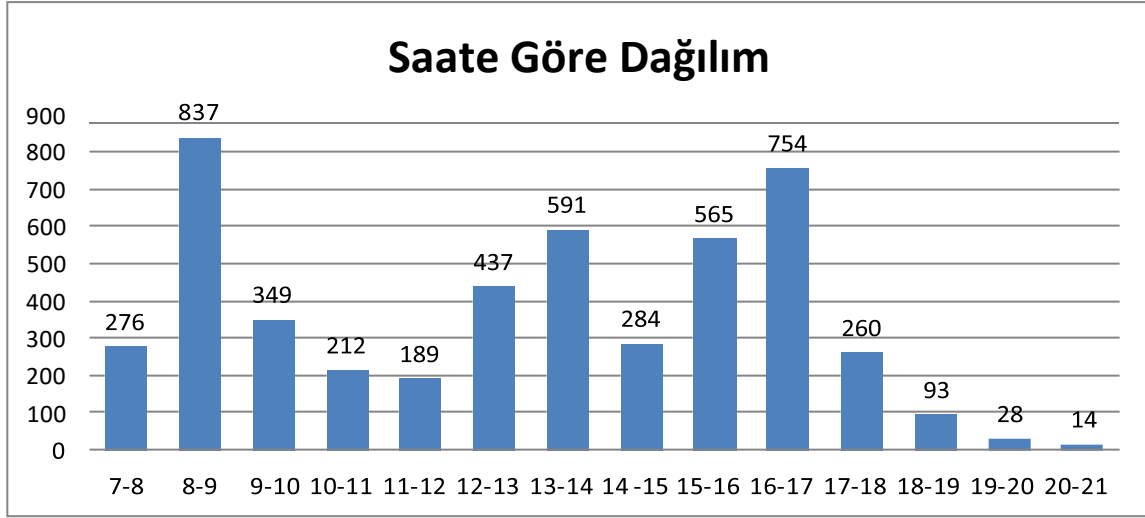
Resim 11. 09.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının araca göre dağılımı



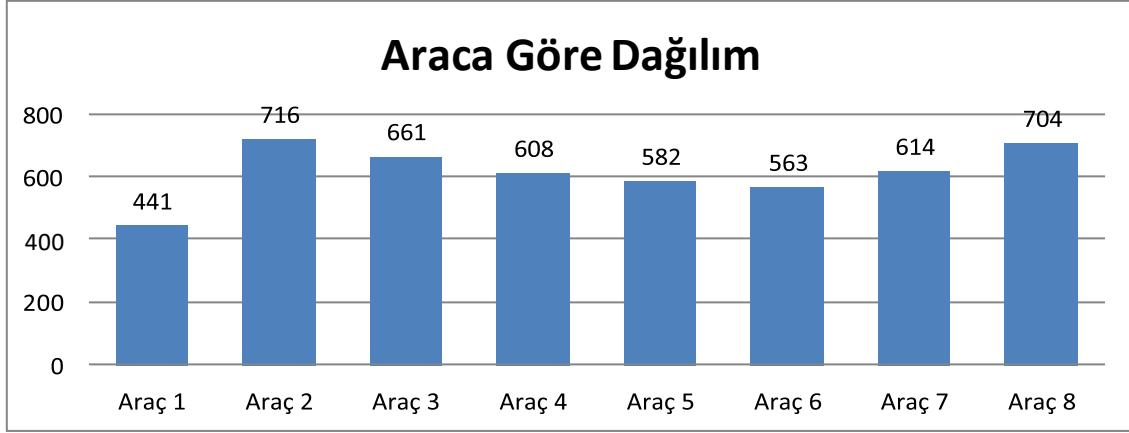
Resim 12. 10.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının saate göre dağılımı



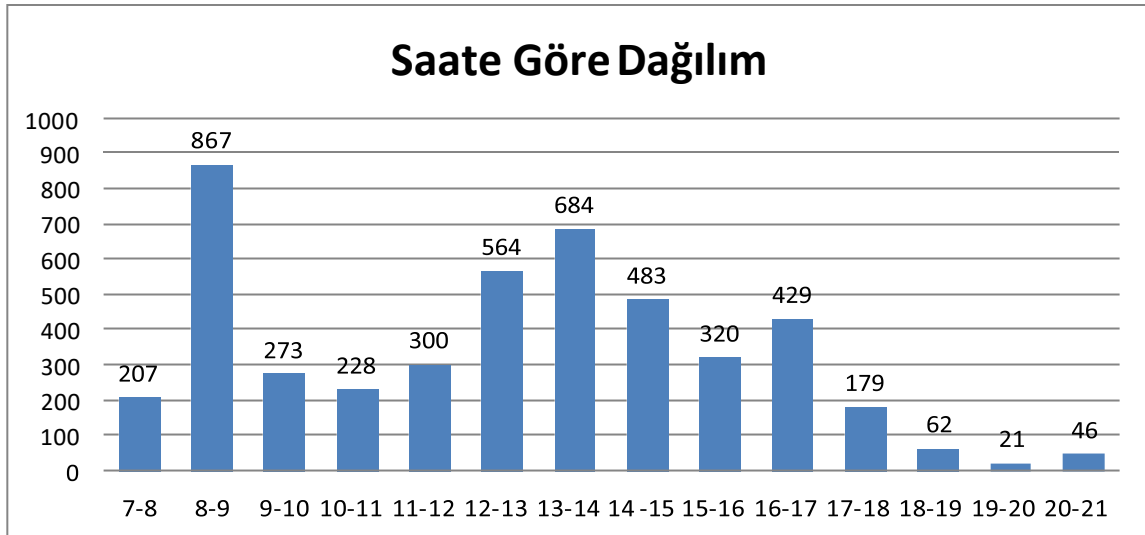
Resim 13. 10.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının araca göre dağılımı



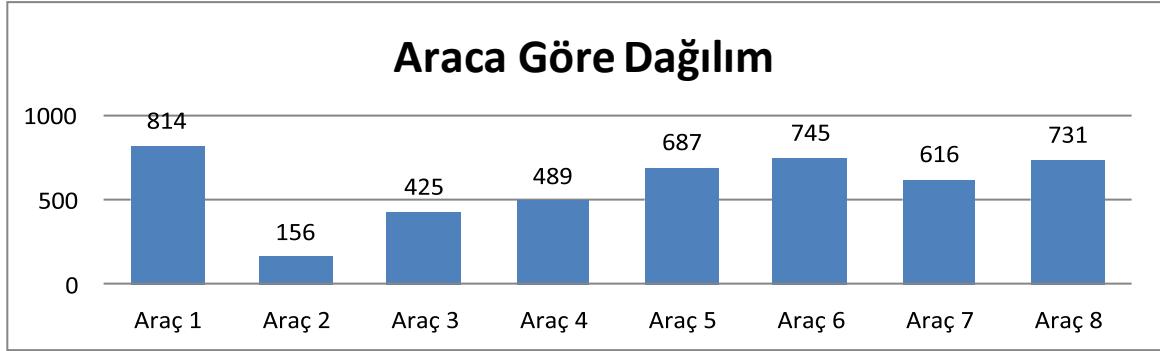
Resim 14. 11.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının saate göre dağılımı



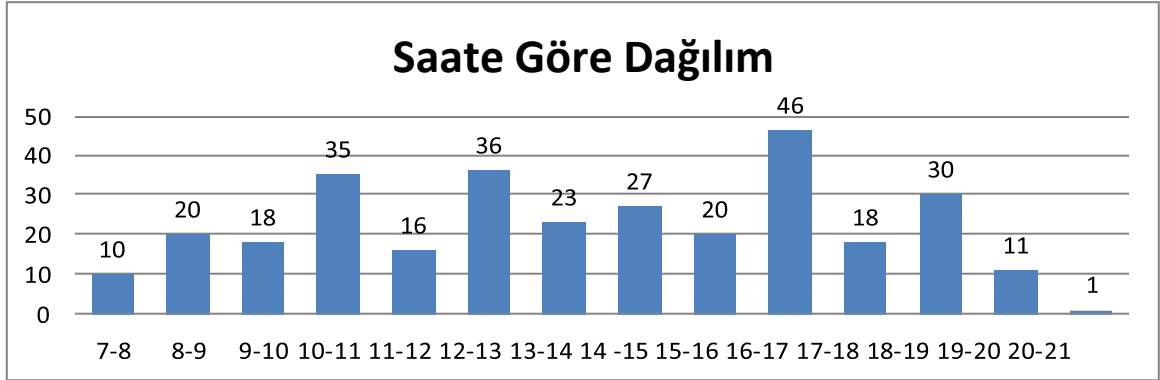
Resim 15. 11.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının araca göre dağılımı



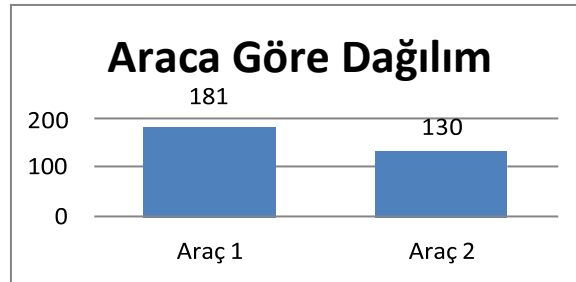
Resim 16. 12.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının saate göre dağılımı



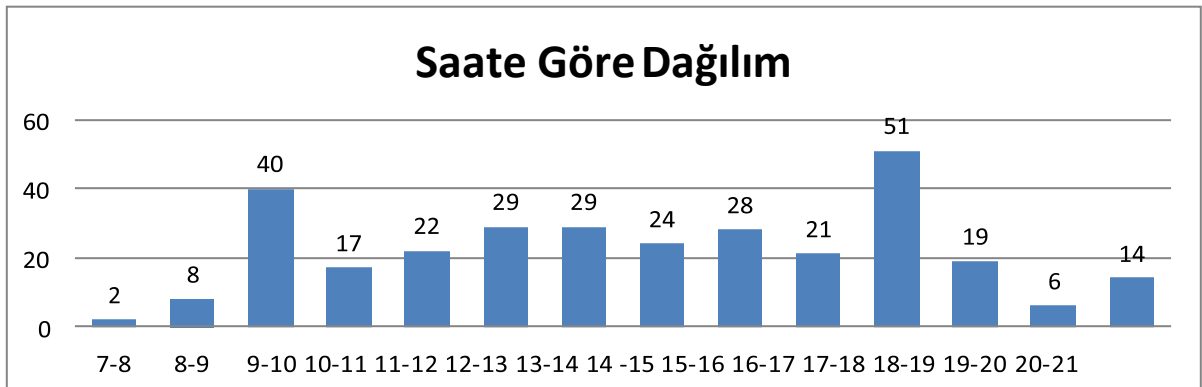
Resim 17. 12.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının araca göre dağılımı



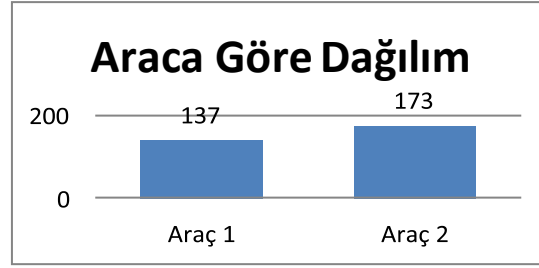
Resim 18. 13.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının saate göre dağılımı



Resim 19. 13.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının araca göre dağılımı



Resim 20. 14.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının saate göre dağılımı



Resim 21. 14.10.2018 tarihinde hizmet veren 4K hattına ait yolcu sayılarının araca göre dağılımı

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Hızlı Menü Otobüs Saatleri(2019) web sitesinden alınarak modele kaydedilen 4K hattına ait sefer bilgileri ise Resim 22'de görüldüğü gibidir.

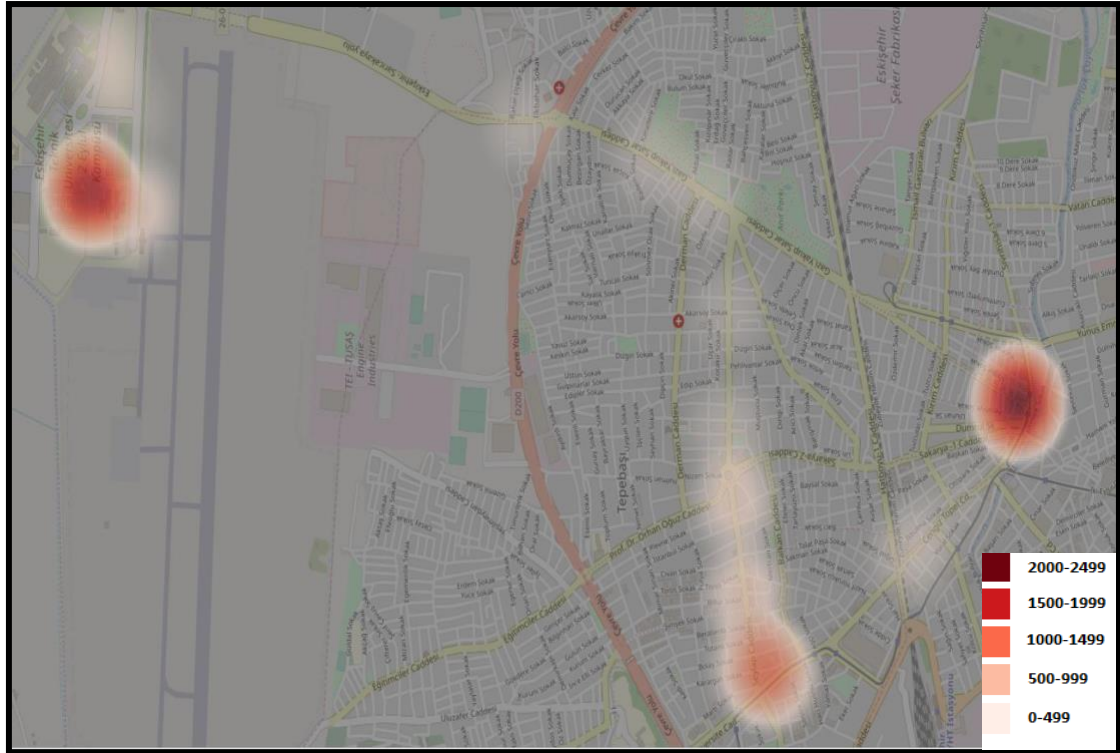
YILDIZ				ESK.TEK.ÜNİV.İKİ EYLÜL KAMPÜSÜ			
SAAT	DAKİKA	CUMARTESİ	PAZAR VE RESMİ TATİLLER	SAAT	DAKİKA	CUMARTESİ	PAZAR VE RESMİ TATİLLER
01				01			
02				02			
03				03			
04				04			
05				05			
06				06			
07	20 30 45	30	30	07	40		
08	00 05 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55	00 30	00 30	08	00 15 25 30 35 40 50 55	15 45	15 45
09	00 05 10 15 20 25 30 45	00 30	00 30	09	00 05 10 20 25 30 45	15 45	15 45
10	00 15 30 40 45	00 30	00 30	10	00 15 30 45	15 45	15 45
11	05 20 35 50	00 30	00 30	11	00 15 30 45	15 45	15 45
12	05 20 30 35 40 45 50 55	00 30	00 30	12	00 15 20 25 30 35 40 45 50 55	15 45	15 45
13	00 05 10 15 20 25 30 40 45 50 55	00 30	00 30	13	00 05 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55	15 45	15 45
14	00 15 20 30 35 40 50	00 30	00 00	14	05 05 15 30 45	15 45	15 45
15	10 25 45	00 30	00 30	15	00 15 30 45	15 45	15 45
16	05 20 25 30 35 40 45 50 55	00 00	00 30	16	00 05 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55	15 45	15 45
17	00 05 10 15 20 25 30 35 40 45	00 30	00 30	17	00 05 10 15 20 25 30 45	15 45	15 45
18	00 20 40	00 30	00 30	18	00 10 20 30 40 50	15 45	15 45
19	00 40	00 30	00 30	19	00 20 40	15 45	15 45
20	20	00	00	20	15	15	15

Resim 22. 4K hattına ait sefer başlangıç saatleri

Yolcu sayıları ve sefer başlangıç saati bilgileri model üzerine yerleştirilmiştir. Modelin doğruluğunun test edilmesi aşamasında manuel olarak girilen veriler modelin başarılı olduğu ispat edilirse web servis vasıtasıyla beş dakikalık periyotlar halinde alınarak hesaplanması amaçlanmaktadır. Veriler model üzerinde hafta içi ve hafta sonu seferleri için ayrı ayrı hesaplanmış ve hafta içi seferleri için elde edilen sonuç aşağıdaki gibi olmuştur. Hafta içi yolculukların ortalaması alınarak model çalıştırıldığında 86 adet 0 yönünde (Yıldız -Eskişehir Teknik Üniversitesi) 85 adet 1 yönünde (Eskişehir teknik Üniversitesi-Yıldız) hizmet veren 171 adet seferden 83 adet sefer iptal edilmiştir. Hafta sonu gerçekleşen seferlerin model sonucu aşağıda görülmektedir. Hafta sonu seferleri incelendiğinde, 26 adet 0 yönü (Yıldız -Eskişehir Teknik Üniversitesi) ve 26 adet 1 yönü (Eskişehir teknik Üniversitesi-Yıldız) olmak

üzere 52 adet seferin hiçbiri %70 ya da daha fazla doluluk oranında hizmet vermediği görülmektedir. Araç kapasitesi düşürüldüğünde yine uygun doluluk oranına ulaşılamamıştır. Aşağıda hafta sonu seferleri için birleştirme sonucu görülmektedir. Hafta sonu verilerinin incelenmesi sonucunda da 52 adet sefer yerine sadece 7 adet gerçekleştirerek ulaşım hizmetinin gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Hafta sonu iptal edilen 45 adet sefer ve hafta içi iptal edilen 83 adet sefer il genelinde oldukça yüksek sayıları bulacaktır. İptal edilen bu seferlerle talep edilen seyahatler rahatlıkla karşılanabilecek ve oldukça yüksek bir tasarruf sağlanacaktır. Bu seferlerin yerine mobil uygulama ile yolculuk talepleri alınarak yolculara Singapur örneğinde olduğu gibi oturma garantili yolculuk hizmeti sunulacak böylece iptal edilen bu seferlerle talep edilen seyahatler rahatlıkla karşılanabilecek ve oldukça yüksek bir tasarruf sağlanacaktır. Hafta içi ve hafta sonu olarak sefer sayılarına göre 2 farklı değerlendirme yaptığımız model ile günlere göre bir plan oluşturmakta mümkün olabilecektir. Dinamik Ulaşım Planı Modeli ile seferler iptal edilebileceği gibi tam tersine bir hareketin olacağı da önceden tespit edilerek iptal edilen seferler yerine ilave seferler yapılabilir.

Modele uygulanan toplam 2146 adet yolculuk hareketinin duraklardaki dağılımı sonucu oluşan yoğunluk haritası Resim 23’de görüldüğü gibidir. Diğer hatlara ait verilerin toplanmasıyla birlikte daha kapsamlı yoğunluk haritaları oluşturulabilecektir. Bu yoğunluk haritaları ulaşım planlamanın yanında şehrin yönetimi ve güvenliği gibi birçok konuda kullanılabilir.



Resim 23. 4K hattına ait yolculuk yoğunluk haritası

3. SONUÇ

Eskişehir Teknik Üniversitesi Kampüsü'nde hizmet vermekte olan hat ve durak bilgileri çalışmada konvansiyel olarak ele alınarak otobüslere binen yolcu sayıları hipotetik olarak eklendiğinde 42 sefer yerine 37 sefer yaparak yaklaşık yüzde 11 oranında seferlerin azaldığı görülmüştür. Bunun üzerine hipotetik olarak çalışan sisteme gerçek veriler yerleştirildiğinde 171 adet hafta içi bir günde gerçekleşen sefer sayısı ve 52 adet hafta sonu 1 günde gerçekleşen sefer sayısından hafta içi bir günde 83 adet sefer ve hafta sonu bir günde 45 adet sefer iptal edilerek haftada gerçekleştirilen 959 adet sefer yerine 454 adet sefer ile gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Sefer sayılarının %52,65 oranında optimize edildiği ve haftada 4040 km tasarruf ederek temel ulaşım hizmetinin verilebileceği görülmektedir. Bu kavramsal altyapı, trafik yoğunluğunun azalmasına, azalan yakıt tüketimi sonucunda çevre kirliliği ve yakıt giderlerinin azalmasına, ulaşım planlarının dinamik hale getirilmesiyle birlikte plan maliyetlerinin ortadan kalkmasına sebep olmakla birlikte daha etkin bir ulaşım da olanak sağlayacaktır. Dinamik programlama mantığı ile geliştirilen bu sistem sezgisel yöntemlerden ziyade ileride geliştirmeye açık (hat optimizasyonu, gelen yolculuk taleplerin doğrudan karşılanabilmesi vb.) akıllı bir sistemin kavramsal altyapısını oluşturmaktadır.

Bu çalışma sonucunda incelenen veriler çerçevesinde araç kapasitelerinde düşüş olduğu ve sefer sayılarının yüksek oranlarda azalabileceği görülmüştür. Ulaşımın çok yoğun olduğu zamanlarda ise toplu taşıma araçları yetersiz kalabilecektir. Bu nedenle ulaşım hareketlerinin önceden tahmin edilebilmesi oldukça önem kazanmaktadır. Bunun yanında daha çeşitli kapasitelerde ulaşım araçlarının bulunmasının sistemdeki alternatiflerin artmasını sağlayacağı görülmüştür. Yolcu sayısının az olduğu durumlarda araç kapasitesinin düşürülmesiyle birlikte yolcuların beklemesinin önüne geçilebilecektir.

Sonuç olarak yoğun zamanlarda seferlerin sıklaştırılarak yolculara etkin bir ulaşım hizmeti sunmak gerekirken sakin zamanlarda da seferleri azaltarak ya da daha küçük kapasiteli araçlar çalıştırarak çevre kirliliği, trafik yoğunluğu, iş gücü, enerji gibi birçok konuda tasarruf sağlayabilmek ve doğru zamanda doğru hizmeti vermek doğru planlama ile mümkün olacaktır. Doğru planlamanın ise teknoloji altyapısına dayanması gerektiği, coğrafi bilgi sistemi teknikleri kullanılarak analizler yapılması ve yapay zeka teknikleri kullanarak çeşitli çıkarımlar yapılması böylece oluşturulan uzman sistemin toplu taşıma hizmetinde 3 farklı faktör ile doğrulama yaparak dinamik bir yapının oluşması gerektiği görülmüştür. Oluşan dinamik model araç validatör cihazlarından anlık alınan veriler ve nüfus veritabanı ile eşleştirilmesi ile bölgeye taşınan ya da bölgeden ayrılan kişiler anlık olarak tutulabilecek ve sistem kendi yaşam döngüsünde hiçbir müdahaleye gerek kalmadan çalışabilecektir. Ulaşım planlarının dinamik yapıda oluşturulmasının yanı sıra şehrin güvenliği ve şehrin yönetimi için yapılması gereken analizlere (Şu anda hangi bölgede kaç kişi var? Yapılacak bir etkinlik nerede yapılmalı? Bisiklet yolu nereye yapılmalı? Genç yoğunluğu nerede? Vb.) imkân sağlayan güncel bir veri tabanı fırsatı sunarak kolay, hızlı ve etkili kararlar alınmasını sağlayacaktır.

4. DEĞERLENDİRME

Günümüzde insanların birçoğu zamanının büyük kısmını ulaşım için harcamaktadır. Zaman ise oldukça önemli bir kavramdır ve zamandan tasarruf etmek önem kazanmaktadır. Bunun yanında ulaşım, şehirdeki trafik yoğunluğunun büyük bir kısmını oluşturur ve enerji tüketimi, çevre kirliliği, iş yükü tasarrufu bakımından anlam teşkil etmektedir. İnsanların toplu taşıma araçlarına yönlendirilebilmesi ve toplu taşıma hizmetinin mümkün olan en efektif biçimde verilmesi şehrin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır.

Yapay zekâ teknikleri kullanılmadan uzun dönemli analizler neticesinde hazırlanan ulaşım planları statik ve değişime açık değildir. Bu planların hazırlanması karmaşık ve zaman alıcı olduğu gibi değişimlere anlık olarak tepki verememektedir. Ulaşım planlarının CBS ve yapay zekâ teknikleri kullanılarak daha detaylı analizler ile oluşturulması, daha etkin bir ulaşım hizmeti sunulabilmesine imkân sağlamaktadır.

Günümüz teknoloji imkânlarını kullanarak hazırlanan ulaşım planları insanlar tarafından optimize edilmeye çalışılan ve bir dayanağı olmayan planların aksine sürekli güncellenen ve işlenen bir bilgiye dayanmaktadır. Ulaşım yoğunlukları ve nüfus yoğunluklarının analizi yapılabilecek böylece ulaşımın yanında birçok alanda yönetim kolaylığı ortaya çıkmaktadır. Ulaşım planı dinamik yapıda olacağından yapılacak olan ekleme veya çıkartmalar kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir.

Dinamik olarak hazırlanan ulaşım planları, ulaşımın yanında güvenlik ve yönetim konularında da kolaylık sağlamalıdır. Günümüzde oldukça önemli olan veri, tek bir problemi çözmek için değil ileride oluşabilecek ihtiyaçları önceden görerek farklı karar verebilme mekanizmalarına altyapı olabilecek şekilde gelişime ve değişime açık olarak tutulmalıdır.

Şehirde sürdürülebilirliğin sağlanması ile şehrin akıllı şehir kapsamında değerlendirilmesi, günümüzde çok değerli olan verilerin doğru bir şekilde toplanarak analizlerinin yapılması, şehirde yaşayan kişilerin ulaşımında geçen zamanlarından tasarruf ettirilmesi açısından dinamik ulaşım planlarının oluşturulması önem kazanmaktadır. Literatürde, araç rotalama problemi ve en kısa yolu bulma çalışmaları ile daha sık karşılaşılmasına rağmen toplu ulaşım planlamasında en kısa zaman, en düşük maliyet, en kaliteli hizmet sunmayı hedefleyen çalışmaya rastlanmamıştır. Akademik çalışmalarda ve yerel yönetim çalışmalarında bu konuya ağırlık verilmesinin önemli ve ihtiyaç dâhilinde olduğu görülmektedir.

Yapay zekâ teknikleri kullanılarak etkin ulaşım planları oluşturulması üzerine bir model sunan çalışma ile % 52.65 oranında azalmış olan sefer sayısının küçük bir bölümünü kullanarak toplanan seyahat taleplerinin karşılanması, en kısa mesafe ve en kısa süre problemlerinin optimizasyonu ile oturma garantili hizmet veren toplu taşıma araçlarının hizmete alınması hem ulaşım hizmetinin aksamaması hem de toplu taşımanın vatandaşların daha ihtiyaçlarını gidermeye yönelik planlanabilir. Böylece kentte yaşayan bireyler toplu taşıma araçlarını daha aktif kullanmaya teşvik edilerek

toplu taşıma araçlarının, yakıt, iş gücü, trafik yoğunluğu ve çevre kirliliği parametrelerinde azalma gerçekleştirilebilir.

Çalışmada sadece geçmiş yolculuk hareketlerinden yararlanılarak gelecekteki yolculuk hareketlerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bunun yanında şehirdeki önemli lokasyonlara (hastane, üniversite, otogar, kamu kurumları vb.) ait saatlik ulaşım hareketlerinin (yolcu sayısı, öğrenci sayısı, personel sayısı vb.) analizinin yapılması ile toplu ulaşım hatlarının optimizasyonu önemli lokasyonları kapsayan planlar oluşturulabilecek böylece toplu taşıma hizmetinin daha etkin verilmesi sağlanabilecektir.

Ayrıca şehir üzerinde bölgeler (zone) oluşturularak bölgelerin nüfus yoğunluk analizleri (çalışan kişi sayısı, öğrenci sayısı, yaşayan sayısı) sokak ve bina bazındaki analizlere indirgenerek yapıldığında, önemli lokasyonların ulaşım hareketi tahminleri yapıldığında ve geçmiş ulaşım verilerinin analizi ile gelecek ulaşım hareketlerinin tahmini yapıldığında ulaşım hareketlerinin planlanması 3 faktörlü doğrulama tekniği ile yapıldığından çok daha doğru sonuçlar üretilebilecektir. Böylece ulaşım planlaması çok faktörlü olarak gerçeğe çok daha yakın olarak planlanabilir. Bunun sonucunda araçlar nüfus yoğunluğuna göre dağıtılabilir, durak ve hat optimizasyonu bu yoğunluklara göre oluşturulabilir.

Araçlara binen kişi sayıları anlık olarak web servisler ile alınırken, bunun yanında inen kişi sayısının da kapılara yerleştirilen yüz tanıma kameraları, hareket algılayıcı sensörler veya araç lastiklerinde bulunan basınç ölçen sensörler vasıtasıyla hesaplanması araç kapasite hesaplamasının doğru hesaplanması için gerekmektedir. İnen kişi sayısının bilinmesi doğru kapasite hesabının yanında önemli bir veri kaynağı olacaktır.

Oluşturulan ve geliştirilmesi oldukça faydalı olacağı düşünülen bu modelin daha da faydalı ve etkili olabilmesi için kurumsal anlamda şehrin yönetiminde rol sahibi olan kurumların veri paylaşımı ve veri entegrasyonu yapması gerekmektedir. Bu entegrasyonun sağlanması durumunda nüfus sayısı sürekli güncel kalacak, yoğunluk tespit edilerek ulaşım hareketleri planlanabilecek, kolluk kuvvetleri güvenlik amacıyla yoğunluk tespiti yapabilecek ve birçok analizin altyapısı oluşturulacaktır. Dinamik ulaşım planlamanın yanında dinamik kent rehberi oluşmasına da olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akbulut, F. (2016). Kentsel Ulaşım Hizmetlerinin Planlanması Ve Yönetiminde Sürdürülebilir Politika Önerileri. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(1), 336-355.
- Ayataç, H. (2016). Kentsel Ulaşım Planlaması ve İstanbul. *İTÜ Vakfı Dergisi*, 71, 31-35.
- Chen, Y., Ardila-Gomez, A., & Frame, G. (2017). Achieving energy savings by intelligent transportation systems investments in the context of smart cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 381-396.
- Franklina, R. S., van Leeuwenb, E. S., & Paezc, A. (2018). Transportation where people leave: An introduction. *Population Loss: The Role of Transportation and Other Issues*, 2, 1.

- Glasmeier, A., & Nebiolo, M. (2016). Thinking about smart cities: The travels of a policy idea that promises a great deal, but so far has delivered modest results. *Sustainability*, 8(11), 1122.
- Goodspeed, R. (2014). Smart cities: moving beyond urban cybernetics to tackle wicked problems. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 79-92.
- Güner, S. (2017). Operational Efficiency and Service Quality Analysis in Public Transportation Systems. *Journal of Transportation and Logistics*, 2 (2), 33-48 . DOI: 10.22532/jtl.358727.
- Hızlı Menü Otobüs Saatleri. (2019, 9 Ocak) Erişim Adresi: http://www.eskisehir.bel.tr/otobus_saatleri_dvm.php?otobus_hat_id=102&menu_id=57
- Ling, Y., Zong-fu, J., Shou-xu, J., Xiang-min, R., & Fu-sheng, Z. (2017, August). Urban night bus routes planning with taxi traces. In 2017 12th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE) (pp. 375-379). IEEE.
- Neumann, T. (2017, April). Fuzzy Routing Algorithm in Telematics Transportation Systems. In International Conference on Transport Systems Telematics (pp. 494-505). Springer, Cham.

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 3, Issue: 1, p. 22-31, 2020

SANAL GERÇEKLİĞE TİCARİ UYGULAMA YAKLAŞIMLARI; İNŞAAT SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ

COMMERCIAL APPLICATION APPROACHES TO VIRTUAL REALITY;
CONSTRUCTION SECTOR EXAMPLE

İbrahim YENİGÜN^{1*}
Kasım YENİGÜN²
Saffet ERDOĞAN³

(Received 01.11.2019 Accepted 15.02.2020) - Review Article

Özet

Dünyamızda yaşanan hızlı değişim ve gelişimin kendini gösterdiği alanların başında teknoloji gelmektedir. Teknoloji konusunun öncülüğü, insanoğlunun bilgi ve yeteneklerini kullanarak gereksinim duyduğu alet, donanım, hizmetin üretilmesi ve bunların etkin bir şekilde kullanılması işlevlerini yerine getirmesinden kaynaklanmaktadır. Her geçen gün ortaya çıkan teknolojik gelişmeler, hayatımıza hızlıca dâhil olmakta, yaşam kalitemizi ve konforumuzu arttırmaktadır. Teknoloji iletişim, inşaat, eğitim, sağlık ve sanayi gibi daha pek çok sektörde yoğun bir şekilde kullanılmakta, kuramsal ve uygulama alanlarında önemli katkılar sağlamaktadır. Bu katkılardan, önemli oranda istifade eden sektörlerin başında ise ticaret sektörü gelmektedir. Ticari kuruluşların müşterileriyle olan iletişim ve etkileşimlerinin çok hızlı değişim göstermesi, söz konusu kuruluşları teknolojik yenilenmelere zorunlu kılmaktadır. Aynı hızla gelişim kaydeden teknoloji dünyası da, toplumsal değişimlere bağlı olarak ortaya çıkan yeni ihtiyaçları etkili yöntemlerle karşılamaktadır. Ticaret ve teknoloji dünyasının aynı paralellikteki yaklaşımları, onları aynı kavşakta bir araya getirmiştir. Bu birliktelikteki yeni itici güç ise son yılların en önemli teknolojik gelişmelerinden biri olan sanal gerçeklik uygulamalarıdır. Pek çok alanda olduğu gibi iş dünyasının da ihtiyaç ve beklentilerini karşılamada yeni nesil bir yöntem olan sanal gerçeklik, bireyin duyularını yanıltarak fiziksel bir sanal ortamın içindeymiş gibi

¹Harran Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Sanliurfa, Turkey, ibrahimyenigun@hotmail.com

^{2,3}Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sanliurfa, Turkey, kyenigun@hotmail.com,
saffet_erdogan@hotmail.com

hissetmesine imkân sağlayan, üç boyutlu bilgisayar grafik esaslı teknolojilerin kullanıldığı yeni bir maruz bırakma aracıdır. Bu bağlamda çalışmada; sanal gerçekliğin bilişsel ve duysal deneyimlemelerle yüksek ve kalıcı etkileşim gücünün ticaret alanındaki yansımalarının, inşaat sektörü özelindeki etkilerinin ve kazanımlarının aktarılması başlıca hedeflerdendir.

Anahtar Sözcükler: Ticari yaklaşımlar, Sanal gerçeklik, İnşaat

Abstract

Technology is one of the areas where rapid change and development in our world manifests itself. The pioneering of technology stems from the fact that human beings use their knowledge and skills to produce the tools, equipment and services they need and use them effectively. Technological developments that are emerging with each passing day, are rapidly involved in our lives and increase our quality of life and comfort. Technology is used extensively in many sectors such as communication, construction, education, healthcare and industry and makes significant contributions in theoretical and application fields. One of the leading sectors that benefited from these contributions is the trade sector. The rapid changes in the communication and interaction of commercial organizations with their customers necessitate technological renewals. With the same rapid development, the technological world meets the new needs arising from social changes with effective methods. The same parallel approaches of the world of commerce and technology have brought them together at the same crossroads. The new driving force in this combination is virtual reality applications, one of the most important technological developments of recent years. Virtual reality, a new generation method in meeting the needs and expectations of the business world as it is in many other fields, is a new exposure tool that uses three-dimensional computer graphics based technologies that allow the individual to feel as if they are in a physical virtual environment by misleading their senses. In this context; The main objectives are to convey the reflections of high and permanent interaction power of virtual reality with cognitive and sensory experiences in the field of trade, effects and gains in the construction sector.

Keywords: Business approaches, Virtual reality, Construction.

1.GİRİŞ

İnsanoğlunun en temel özelliklerinden biri de gelişimdir. Aynı zamanda doğasının da gereği olan bu özellik, mühendislik mesleğinin ve bunun sonucu olarak da teknolojik gelişmelerin temel sebebidir. İçerisinde bulunduğumuz 21. yüzyıl ise teknolojik gelişmelerin en yoğun yaşandığı dönem olmuştur. Başta bilim, ticaret, tıp, iletişim gibi önemli alanlar olmak üzere daha pek çok alan teknolojik gelişmelerden büyük oranda istifade etmişlerdir.

İnsanoğlunun varlığına bağlı olarak devam edecek olan bu etkileşim, bilginin yayılımı ve yeni icatların keşfi adına büyük yarar teşkil etmektedir. Hatta insanın keşifler konusunda kabiliyeti o kadar artmıştır ki, aynı alan da aynı zaman da birden fazla yeniliğe tanıklık etmek mümkün olmuştur. Dolayısıyla, akıl sınırlarını zorlayan ve her an bir yenisine daha şahit olduğumuz teknolojik gelişmeler, insan yaşantısını da bambaşka bir noktaya taşımaktadır.

Teknolojideki gelişmeler sayısız bilim dalına kuramsal ve uygulama alanında önemli katkılar sağlamaktadır. Gelişmiş ülkelerin, başarılarının arkasında da bu teknolojik gelişmelerden yararlanmaları ve daha da önemlisi bunları hayata geçirmeleri yatmaktadır. Söz konusu ülkelerin, hayata geçirerek önemli başarılar elde ettikleri konuların başında bilginin işlenmesi, değerlendirilmesi ve iletilmesi gelmektedir. Bu konudaki çalışmaların başarısı, geleceğini sağlam planlamak isteyen ülkeleri enformasyon, ses ve hareketli görüntülerin sağlandığı teknolojik gelişmeleri yakından takip etmeleri hususuna yönlendirmiştir. Çünkü yarının toplumları, altyapılarını günümüz bilgi teknolojileri olarak anılan teknolojiler üzerine kurmaktadır. Dolayısıyla mevcut teknolojik altyapının azami oranda doğru ve sağlıklı bir biçimde konumlandırılması gerekmektedir. Aksi durumda toplumlar, gelecekte daha karışık ve çözülmesi zorlu meselelerle karşı karşıya kalabileceklerdir. Bu koşullara bağlı olarak sağladığı yararlar da göz önünde bulundurulduğunda, sanal gerçeklik (VR) uygulamaları pek çok sektörde kendine haklı ve önemli oranda yer bulmaktadır.

2.VR TEKNOLOJİSİNE KISA BAKIŞ

VR, kullanıcının bilgisayar tarafından oluşturulmuş bir ortam ile etkileşime girmesine ve bütünleşmesine olanak tanıyan bir insan-bilgisayar ara yüzü olarak tanımlanabilir (Liu, 2005). Bir tür etkileşim metodu olarak da ifade edilen VR, bilgisayar tarafından oluşturulan ekran, ses, metin içeriğiyle kullanıcının gerçek dünyadaki deneyimini geliştirmek için efektlerin yeteneklerini kullanan özel bir ortamdır (Loijens, Brohm ve Domurath, 2017). VR, üç boyutlu bir görüntünün veya ortamın içinde gerçeğe yakın şekilde etkileşime girilebilmesine olanak tanıyan, sensörler ile donatılmış, özel bir dijital sistem kullanan bilgisayar simülasyonudur (Whyte, 2003).

1963 yılında Ivan Sutherland'ın hazırladığı tez, sanal gerçeklik adına en büyük

ve ilk adım olmuştur. Sanal ortamdaki deneyimler kişinin gerçek yaşamındaki deneyimlerini de etkilediğinden VR, sanal deneyimler ile gerçek yaşam deneyimleri arasında bir köprü kurma görevi üstlenmiştir. Bilgisayar destekli taslak çalışmalarına öncülük yapan bu çalışma, o günden itibaren iş dünyasındaki kullanımı adına belirgin ve çok sayıda araştırmaya neden olmuştur (Bridges, 1986).

3. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE VR UYGULAMA YAKLAŞIMLARI

VR, genellikle bir eğlence aracı olarak görülse de son yıllarda, ticari amaçlı kullanılan uygulamaları ve mühendislik problemlerine getirdiği yaklaşımlarla yepyeni ufuklar açmaktadır (Bayraktar ve Kaleli, 2007). VR'ın iddialı olduğu alanlardan biri de inşaat sektörü ve yönetimi olmuştur. İnşaat sektöründeki çok sayıda uygulama fırsatı, uzmanları VR'ın etkin kullanımı için araştırmalara yönlendirmiştir. İnşaat projelerinin planlanmasında, ilerleyiş takibinde, iş yönetiminde, işçi eğitiminde, zaman ve maliyet analizinde, kalite yönetiminde ve satış süreçlerinde başarılı uygulama alanlarına dair önemli potansiyele sahiptir (Ahmed, 2019).

İnşaat endüstrisi, dünyanın en büyük endüstrilerinden biridir. İnşaat endüstrisi tarihinin başından itibaren büyük değişimler geçirmektedir. Özellikle içinde bulunduğumuz son yüzyıl, inşaat sektöründe çok ve çeşitli alanlardaki gelişmelere tanıklık etmiştir. Büyük dönüşüm ve değişimin yaşandığı inşaat sektörü, daha büyük ve iyi faaliyetlerde bulunmak adına yeni yaklaşımlar, yöntemler, teknikler ve stratejiler açısından büyük mesafeler katetmiştir (Escamilla ve Ostadalimakhmalbaf, 2016). Bu süreçte, teknolojik gelişmelerden azami oranda yararlanan inşaat sektörü, VR konusunda da önemli kullanım alanları oluşturmuştur. İnşaat endüstrisi, VR'ın üç boyutlu ve gerçeğe yakın deneyimleme avantajını, birçok yönden kişilerin etkileşimlerinde kullanılan önemli bir materyal olarak değerlendirmiştir (Dunleavy ve Dede, 2014). Bununla birlikte VR, proje yetkililerinin işlerini her zamankinden daha tatmin edici bir düzeyde kolaylaştıran, modern ve etkili bir tesis yönetim sistemi özelliği getirmektedir (Koch, Neges, König ve Abramovici, 2014). Son yıllarda bu konu üzerine yapılan odaklanmış çalışmalar, başarılı sonuçları da beraberinde getirmiştir. Proje sahibinden, yürütücüsüne ve işçisine kadar arzu edilen beklentilere yanıt veren çözümleriyle VR, gelecek için de büyük katkılar vaat etmektedir (Behzadi, 2016) (Şekil 1).



Şekil 1. Proje çalışmalarında VR kullanımı (vrotto.net/)

İnşaat mühendisliği ve yönetimi dünyasında üç boyutlu özelliğiyle benzersiz bir deneyim sunan VR, tüketici için de aynı oranda büyük yararlar sunmaktadır (Park, Lee, Kwon ve Wang, 2013). Bu şekilde, tüketicinin gerçeğe yakın deneyimleme fırsatı bularak önceden fikir sahibi olması sağlanırken, proje yetkililerinin proje ortaya çıkmadan hataları ve riskleri görmesine, buna bağlı gerekli önlemleri almasına olanak sağlar (Lin, Duh, Li, Wang ve Tsai, 2013). İnşaat dünyasına VR teknolojisi girmeden önce, hata yönetim sistemi pahalı ve zaman alıcı bir konuydu. Bununla birlikte, VR teknolojilerinin yardımıyla, hata yönetimi çok kolay ve etkili hale gelmekte, fiziksel emeğe gerek kalmamaktadır. Böylece işçilik, maliyet ve zaman konularının yönetilmesinde, kaynaklar tasarruf elde edilmektedir.

Sağladığı yüksek öngörü özelliğiyle, projelerin geleceğini şekillendiren VR, inşaat sektöründe çalışan işçilerin eğitimi konusunda da önemli kazanımlara sahiptir. İnşaat endüstrisi, kendine özgü risk ve belirsizlik doğası nedeniyle en tehlikeli endüstrilerden biri olarak kabul edilir (Rozenfeld, Sacks, Rosenfeld, ve Baum, 2010). Her yıl artan inşaat kazalarından kaynaklı ölüm ve yaralanmalar, inşaat dünyasının önüne geçilmesi gereken önemli sorunlardan biridir. Dolayısıyla inşaat projelerinde hissedilen en büyük endişelerden biri de çalışanların eğitimi konusudur. Çünkü işçilerin inşaat kalitesi ve güvenliği çoğunlukla çalışanların doğru, kalıcı ve etkili eğitimine bağlıdır (Demirkesen ve Arditi 2015; Rumane 2016). Ancak bu sorunun istenen düzeyde veya standart seviyede gerçekleştirilmesi hiç de kolay değildir. Bu aşamadaki kullanımıyla VR teknolojileri, çalışanlara etkili bir eğitim vermek ve emniyet yönetim sistemini şartname olarak uygulamak konularının her ikisinde de yardımcı bir kaynak durumundadır.

Şantiyede kaza oranının azaltılması amaçlı kullanılan VR teknolojileri, inşaat şirketlerinin güvenlik yönetiminin eğitimi, izlenmesi ve kontrol edilmesi için geniş pencereler açmaktadır. Böylece, VR destekli eğitim platformları birebir yaşanmış hissi uyandırarak muhtemel iş ve işçi sağlığını tehdit eden ciddi olumsuzlukların önüne geçilmesinde önemli rol oynayacaktır (Ahmed, 2019). Bununla birlikte yeni neslin teknoloji meraklısı olması, eğitim modelinin pasif öğretim araçlarından vazgeçilerek yerine ilgi çekici ve deneyimleme imkânı sunan yeni teknolojilere geçişini zorunlu kılmıştır (Bhoir and Esmaili, 2015) (Şekil 2). Ayrıca VR eğitiminin etkinliğini ortaya koymak üzere yapılan bir araştırma, VR kullanımının en kısa sürede mükemmel eğitim sağladığını öte yandan ise bireylerde bilginin en uzun şekilde kaldığını kanıtlamıştır (Sekizuka, Koiwai, Saiki, Yamazaki, Tsuji ve Kurita, 2017).



Şekil 2 Eğitim amaçlı VR destekli inşaat uygulamaları (www.khl.com)

VR'ın vurgulanan bu nitelikleri sayesinde, son yıllarda inşaat sektöründe zamanlamanın tanımı da değişmiştir (Meza, Turk ve Dolenc, 2015). Bu konuda yapılan çalışmaların görselleştirilerek zaman çizelgesiyle karşılaştırılması, öngörülen sürecin takibi açısından önem arz etmektedir. Planlanan yapılar ile inşa edilen arasında görsel bir karşılaştırma sağlayan VR, proje yönetiminde çok kullanılan ve pratik fonksiyonlarından biri olduğunu göstermektedir (Park vd., 2013).

VR, inşaat sektörünün sadece planlama ve gerçekleştirme aşamalarında değil, bu aşamaların tamamlanması sonrası satış sürecinde de büyük imkanlar sağlamaktadır. İnşaat sektöründeki rekabet ve toplumun bilinçlenmesi sektörün, modern ve çağın gereksinimlerini karşılayan pazarlama stratejilerini kullanmasını zorunlu kılmıştır. VR, gerek bu konudaki zorunluluğu karşılayan çözüm olması gerekse de şirket prestijini arttıran bir tanıtım ve pazarlama argümanı olmasıyla da

oldukça önemli bir açığı kapatmaktadır. Gerçekleştirilen projelerin müşteriye tanıtılması ve satışı sürecinde, başta fiziksel ortama gidilme gereksinimini ortadan kaldırarak uzağı yakın etmesi, etkili ve stratejik bir pazarlama olanağı sunması VR'ın avantajını bir kez daha ortaya koymaktadır. Ayrıca müşteri grubundakilerin, istedikleri özellikleri birebir deneyimleme fırsatı bulmaları, beklentilerini karşılayıp karşılamadığı sorusuna yanıt bulmaları ve daha pek çok konuda önceden bilgi edinme şansını yakalamaları VR'ın önemli katkılarındanadır. Günümüz toplumlarının yoğun yaşam koşullarına bağlı insanlara sunulan bu pratik ve zaman tasarruflu çözüm, alıcı konumundakilere önemli konfor sağlayacaktır.

4.SONUÇLAR

Teknolojik yenilenmelere bağlı şekillenen dünyamız, her geçen gün daha fazla bilgisayar odaklı bir yaşama dönüşmektedir. Oldukça hızlı gerçekleşen bu dönüşüm, yaşantımızın artık eskisi gibi olması ihtimalini de ortadan kaldırmaktadır. Hareketli yaşamdan mobilize yaşama geçen günümüz insanı, sınırların olmadığı bir evrende, hızlı erişim ihtiyacı ekseninde iletişimini sağlamayı arzulayan canlı modeline doğru evrimleşmektedir (Bayraktaroğlu, 2008). Bu değişim ve gelişimin getirdiği gereksinim, pek çok yeniliği insanlığın kullanımına taşımaktadır.

Günümüz dünyasının gelecek vaat eden yeniliklerinden olan VR teknolojisi, sağladığı gerçeğe yakın deneyimleme imkanıyla insanları yeni bir boyuta taşıyabilmektedir. Gerçek hayata benzeyen ve dijital olarak oluşturulmuş bu ortam, deneyimlemeyi önemli bir derinliğe kavuşturmaktadır. Böylelikle VR teknolojileri, inşa edilmeden önce bir projenin gerçekten deneyimlenmesine olanak tanır. Ayrıca çalışan eğitimi, güvenlik yönetim sistemi, ilerleme takibi, işgücü yönetimi, hata yönetimi vb. konular için temel bir araç niteliği taşır.

Son araştırmalar, VR teknolojisinin inşaat yönetiminin geleceğinde önemli yer tutacağını göstermektedir. İnşaat sektöründeki çeşitli konulara entegrasyonu maliyet, zaman ve enerji tasarrufu sağlayacak, iş ve işçi sağlığına getireceği kalıcı etki sayesinde verimliliği arttıracaktır. Bununla birlikte, inşaat dünyasının en önemli süreci olan satış aşamasında etkili iletişim aracı olarak değerlendirilecek ve fiziksel ortama gidilme gereksinimini ortadan kaldırarak, etkin zaman kullanımını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, S. (2019). A Review on Using Opportunities of Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Project Management. *Organization, Technology and Management in Construction*, 11: 1839-1852
- Bayraktar, E. ve Kaleli, F. (2007). Sanal Gerçeklik ve Uygulama Alanları. *Akademik Bilişim 2007*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Bayraktaroğlu, A.M. (2008). Editör Isparta. Süleyman Demirel Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Hakemli Dergisi, ART-E 2008-01
- Behzadi, A. (2016). Using augmented and virtual reality technology in the construction industry. *American Journal of Engineering Research*, 5(12), pp. 350-353.
- Bhoir, S. And Esmaeili, B. (2015). State-of-the-art Review of Application of Virtual Reality Environment in the Construction Safety. In *Proceedings of the Architectural Engineering Institute (AEI) Conference 2015*, Milwaukee, WI, USA, 24–27 March 2015.
- Bridges, A. H. (1986). Any progress in systematic design? *Computer-aided Architectural Design Futures*. CAAD Futures Conference Proceedings, Delft, The Netherlands, pp. 5-15
- Demirkesen, S., and Arditi, D. (2015). Construction safety personnel's perceptions of safety training practices. *International Journal of Project Management*, 33(5), pp. 1160-1169.
- Dunleavy, M., and Dede, C. (2014). Augmented reality teaching and learning. In: Spector, J., Merrill, M., Elen, J., & Bishop, M.
- Escamilla, E. and Ostadalimakhmalbaf, M. (2016). Capacity building for sustainable workforce in the construction industry. *The Professional Constructor*, 41(1), pp. 51-71.
- Koch, C., Neges, M., König, M., and Abramovici, M. (2014). Natural markers for augmented reality-based indoor navigation and facility maintenance. *Automation in Construction*, 48, pp. 18-30
- Lin, T.J., Duh, H. B.L., Li, N., Wang, H.Y., and Tsai, C.C. (2013). An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. *Computers & Education*, 68, pp. 314-321.
- Liu, L. (2005). Virtual reality and occupational therapy. *OT Now*, 24-5.
- Loijens, L. W., Brohm, D., and Domurath, N. (2017). What is augmented reality? In: Loijens, Leanne W. S. (ed.), *Augmented Reality for Food Marketers and Consumers*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, p. 356.
- Meza, S., Turk, Z., & Dolenc, M. (2015). Measuring the potential of augmented reality in civil engineering. *Advances in Engineering Software*, 90, pp. 1-10.
- Park, C.S., Lee, D.-Y., Kwon, O.S., and Wang, X. (2013). A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. *Automation in Construction*, 33, pp. 61-71.

Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y., and Baum, H. (2010). Construction job safety analysis. *Safety Science*, 48(4), pp. 491-498.

Rumane, A. R. (2016). *Quality Management in Construction Projects*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Sekizuka, R., Koiwai, K., Saiki, S., Yamazaki, Y., Tsuji, T., and Kurita, Y. (2017). A virtual training system of a hydraulic excavator using a remote controlled excavator with augmented reality. In: Paper presented at the Proceedings of the 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), Taipei, Taiwan, 11-14 December, 2017.

Whyte, J. (2003). Industrial applications of virtual reality in architecture and construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 8(4), pp. 43-50

www.khl.com

www.vrotto.net

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 3, Issue: 1, p. 32-46, 2020

BARAJLARIN JEODEZİK YÖNTEMLER İLE İZLENMESİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN İRDELENMESİ

INVESTIGATION OF THE STUDIES ON THE MONITORING OF DAMS
WITH GEODETIC METHODS

Berkant KONAKOĞLU

(Received 18.12.2019 Accepted 15.02.2020) - Review Article

Özet

Yapım maliyeti oldukça yüksek olan barajlar, barajın kendi ağırlığı, sıcaklık değişimi ve su yükü gibi iç ve dış faktörlerden dolayı deformasyona maruz kalırlar. Bahsi geçen faktörler karşısında yapısal davranışın ne kadar etkilendiği izlenmeli, varsa hareketlerin belirlenmesi ve barajların güvenlikleri sağlanmalıdır. Barajların kurulum amaçlarına sağlıklı bir şekilde hizmet etmeleri için jeodezik ve geoteknik yöntemler ile izlenmelidir. Bu çalışmada, baraj deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle izlenmesi konusunda dünyada ve Türkiye’de yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, jeodezik ölçüm tekniklerden robotik total station, GNSS ve yersel lazer tarayıcı örnekleri verilmiştir. Bu çalışmanın amacı barajlarda deformasyonların jeodezik yöntemler ile incelenmesi üzerine çalışan kişilere mevcut çözümleri ve gelecekteki yönelimleri anlamalarına yardımcı olmaktır.

Anahtar Sözcükler: Barajlar, Yapı sağlığı izleme, Jeodezik izleme, Deformasyon analizi

Abstract

Dams with high construction costs are subject to deformation due to internal and external factors, such as self-weight, temperature changes and the force of the reservoir water. The effects of these factors on structural behavior should be monitored and, if necessary, precautions must be taken. To serve the purpose of their establishment in a beneficial way, dams should be monitored by geodetic or geotechnical methods. In this study, the studies on dam deformation monitoring with geodetic methods in the world and in Turkey were evaluated. Within the scope of the study, robotic total station and GNSS, terrestrial laser scanner samples were given. The aim of this study is to support the people working on the investigation of the deformations in the dams by geodetic methods to better comprehend current solutions and future tendencies.

Key Words: Dams, Structural health monitoring, Geodetic monitoring, Deformation analysis

1. GİRİŞ

Baraj sağlığını izlemek, güvenlik koşullarını sağlamada ve sürdürülebilirlik işlevlerini sürdürmede önemli bir role sahiptir. Baraj kazaları insanlar, insan yerleşimleri ve çevre için yüksek risk oluşturmaktadır. Muhtemel kaza durumlarını tespit etmek amacıyla barajların sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Barajlar yaklaşık 100 yıl hizmet edecek şekilde tasarlanır ve yapılır. Bir barajın ömrü tasarım, inşaat, ilk dolum ve işletme aşaması olmak üzere toplam 4 aşamadan oluşur (Li vd., 2016). Bazı barajların enerji üretimini artırmak için inşaat aşaması henüz tamamlanmadan barajlara su tutmaya başlatılabilir. Bu durum ilk dolum aşamasını, inşaat aşaması haline getirebilir (Gong vd., 2006 ve Yang vd., 2010). İlk dolum aşaması, barajın çok büyük miktarda su yükü taşıdığı evredir. Ayrıca istatistiksel verilere göre ilk beş yıl, bir baraj hayatının en tehlikeli dönemi olup baraj yıkımları bu aşamada çok yüksektir. Bu türde baraj yıkımlarına örnek olarak Malpasset Barajı (Londe, 1987), Banqiao ve Shimantan Barajları (Xu vd., 2008), St. Francis Barajı (Begnudelli ve Sanders, 2007), Zillergründl Barajı (Widmann, 1990), Kölnbrein Barajı (Feng vd., 1996), Sayano-Shushenskaya Barajı (Sultanbekov, 2005), Oroville Barajı (Koskinas, 2019) ve Whaley Barajı (Le Page, 2019) gösterilebilir.

Baraj işlevini tam olarak yerine getirme garantisi verilmemesi, enerji üretimi veya sulama çalışmalarında kullanılan barajda ekonomik olarak kayba yol açabilir. Baraj hareketlerini izleme çalışmaları jeodezik ve geoteknik yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Geoteknik yöntemlere örnek olarak, ekstansometreler, yük ve basınç hücreleri, ters ve düz sarkaçlar, inklinometreler ve piyezometreler verilebilir. Yıllar geçtikçe gelişen teknoloji, jeodezik cihazların veri işleme kapasitesini artırmış, arazide geçirilen zamanı ise azaltmıştır. Baraj sağlığının izlenmesi, yersel ve uydu bazlı ölçüm yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Baraj hareketlerinin izlenmesinde yersel ölçmelere örnek olarak barajın gerçek şeklini çok yüksek bir ayrıntı ve doğruluk düzeyiyle tanımlayabilen robotik total stationlar, yersel lazer tarayıcılar ve yersel sentetik açıklıklı radar tekniği; uydu bazlı ölçmelere örnek olarak sentetik açıklıklı radar teknikleri verilebilir. Baraj hareketlerinin izlenmesinde kullanılabilecek diğer uydu bazlı ölçme yöntemlerinden bir diğeri GPS/GNSS alıcılarının kullanımınıdır.

Önemi gün geçtikçe daha da artan baraj güvenliğinin jeodezik olarak denetlenmesi alanında dünya çapında çalışmalar yürütülmektedir. Yapılan bu araştırmada dünyada ve Türkiye’de bu alanda yapılan çalışmaların genel görünümü özetleyerek, gelecekte bu alanda çalışma yapacaklara bilgi sağlanması amaçlanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan araştırmada, baraj deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle incelenmesi konusunu temel alan, ulusal ve uluslararası düzeyde yapılmış çalışmalar kronolojik sıraya göre ele alınmıştır.

Hudnut ve Behr (1998), Amerika’nın California eyaletine 5 km uzaklıkta bulunan Pacoima Barajı’nda yaptıkları çalışmada toplam 3 adet sürekli ölçüm yapan GPS istasyonu kurarak baraj hareketlerini izlemişlerdir. İstasyonlardan biri (DAM1) barajın

sol palye tarafına kurulurken, diğeri (DAM2) ise baraj kretinin orta yerine kurulmuştur. Referans istasyonu ise hareket beklenmeyen yere tesis edilmiştir. Çift frekanslı GPS alıcılarının kullanıldığı çalışmada veri kayıt aralığı 30 sn olarak seçilmiş, fakat değerlendirme aşamasında 120 sn ile değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Gamit-Globk yazılımını kullanılmıştır. Kurulan GPS izleme sistemi aktif hale geldikten sonra baraj kretinin orta noktasında bulunan DAM2'nin sonbahar ve kış aylarında mansap yönüne doğru, ilkbahar ve yaz aylarında ise memba yönüne doğru hareket ettiği belirlenmiştir.

Manake ve Kulkarni (2002), Hindistan'da 85 m yüksekliğinde kaya dolgu tipinde inşa edilen Koyna Barajı'ndaki hareketlerin belirlenmesi amacıyla Aralık 2000 ve Mayıs 2001 yılları olmak üzere iki periyot ölçüm yapmışlardır. Baraj hareketlerini izlemek için 12'si baraj gövdesi olmak üzere toplam 35 noktadan oluşan bir jeodezik ağ kurulmuştur. Jeodezik ölçüm için çift frekanslı Trimble 4000SSI marka GPS alıcıları kullanılmıştır. Ölçüm süresi 6 saat, veri kayıt aralığı 15 sn ve uydu yükseklik açısı 15 °olarak seçilmiştir. GPS verilerini değerlendirmek için Trimble GPSurvey 2.3 yazılımı, dengeleme işlemi için Columbus 3.0 yazılımı kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Koyna Barajı'ndaki hareketler ile baraj rezervuarındaki su seviyesi arasında yüksek korelasyon olduğu belirlenmiş ve GPS gözlemleri ile belirlenen hareket miktarlarının geleneksel ölçü yöntemleri ile tespit edilen hareket miktarları ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca GPS ölçü yönteminin yapısal ve kabuk hareketlerini izlemek için çok ekonomik, yeterli ve etkili bir yöntem olduğunu belirtilmiştir.

Alba vd. (2006), yaptıkları çalışmada yersel lazer tarama yöntemi ile büyük beton barajların deformasyonlarının izlenebilirliğini araştırmayı amaçlayan bir projenin ilk sonuçlarını sunmuşlardır. Bu amaçla, bir test alanı olarak 136 metre yüksekliğe ve 381 m kret uzunluğuna sahip Cancano Gölü (İtalya) Barajı seçilmiştir. Çalışma kapsamında iki farklı yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. İlki uzun menzilli Riegl LMSS-Z420i, diğeri ise orta menzilli Leica HDS 3000'dir. İki lazer tarayıcı kullanılarak üç ölçüm kampanyası gerçekleştirilmiştir. Ölçüm periyotları, su seviyesinin en yüksek ve en düşük olduğu zamanlarda planlanmıştır. Buna göre Mayıs 2005, Ekim 2005 ve Mayıs 2006 yıllarında ölçümler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, yer değiştirmelerin referanslandırma işlemindeki hatalardan kaynaklanan gürültülerden ayrılmasının büyük önem taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Kulkarni vd. (2006), Manake ve Kulkarni (2002) yazarları tarafından daha önce yapılmış olan çalışmanın devamı niteliğinde yapılan çalışmada baraj tipi taş dolgu olan Koyna Barajı'nda Aralık 2000 ile Eylül 2004 yılları arası çift frekanslı GPS alıcıları ile ölçüm yapmışlardır. Çalışma alanına kurulan 31 noktalı GPS ağında 10 periyot ölçüm yapılmıştır. Elde edilen GPS verileri Bern Üniversitesi tarafından yazılan Bernese v4.2 akademik yazılımında değerlendirilmiştir. Barajda belirlenen hareket yönü ile Hindistan levha hareket yönünün kuzeydoğu yönünde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deformasyon çalışmalarında GPS kullanımının sahip olduğu yüksek hassasiyet ve doğruluk nedeniyle çok etkili bir araç olduğunu belirtilmiştir.

Bayrak (2007), Kızılırmak üzerinde 120 m yükseklik ve 510 m kret uzunluğuna sahip Yamula Barajı'nın ilk dolum aşamasında düşey yönlü hareketler ile rezervuar su

seviyesi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. 6 referans ve 9 obje noktasından oluşan deformasyon ağında Aralık 2003, Mart 2004, Kasım 2004 ile Nisan 2005 periyotlarında düşey yönlü veriler Sokkia 530R marka total station ile ölçülmüştür. Meydana gelen hareketlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için statik, kinematik ve dinamik jeodezik deformasyon modelleri kullanılmıştır. Geliştirilen dinamik modelde, statik ve kinematik modelin aksine rezervuar su seviyesi değişimi dikkate alınmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre rezervuar su seviyesindeki artışın düşey yönlü hareketleri tetikleyici bir etken olduğu sonucuna varmıştır.

Bayrak (2008), Bayrak (2007) yaptığı çalışmaya ek olarak 2000 ile 2005 yılları arasında Yamula Barajı'nın ilk dolun aşamasında yatay yönlü hareketlerinin rezervuar su seviyesiyle olan ilişkisini araştırmıştır. Araştırmacı bu çalışmada, deformasyon analiz yöntemi olarak daha önceden geliştirdiği dinamik deformasyon yöntemini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, düşey yönlü hareketlere ek olarak rezervuar su seviyesindeki değişimler ile yatay yönlü hareketler arasında da korelasyon olduğu ve baraj hareketine neden olan su seviyesi yükseklik değişimi dikkate alınarak geliştirilen dinamik deformasyon modelinin sonuçlarının daha gerçekçi olabileceği sonucuna varılmıştır.

Gikas ve Sakellariou (2008), baraj tipi toprak dolgu olan Mornos Barajı'nda düşey yönlü hareketleri jeodezik, geoteknik ve sonlu elemanlar analiz yöntemleri ile belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar, jeodezik yöntemlerden hassas geometrik nivelman yöntemi kullanmışlardır. Nivo olarak Zeiss Ni2 ve Leica NA2 kullanılmıştır. Ayrıca Wild T2 ve Leica TC 1600 marka cihazlarla trigonometrik nivelman yapılmıştır. Geoteknik ölçme cihazlarından ekstansometreler kullanılmıştır. Düşey yönlü hareketlerini izlemek için barajın yapım, suyun ilk dolun ve işletme aşamaları olmak üzere toplam 3 aşamada (30 yıl boyunca) ölçümler gerçekleştirilmiştir. Baraj kreti üzerinde 17 noktadan oluşan nivelman ağı kurulmuştur. Yapılan değerlendirme sonucunda düşey yönlü hareketler barajın inşa aşaması ve suyun ilk dolun aşamasında artış göstermiş ve zamanla azalmıştır. Toplam düşey yönlü hareketler incelendiğinde ise toplam hareketlerin %60'ının inşa ve suyun ilk dolun aşamalarında, geri kalan %40'ının ise barajın işletme aşamasında meydana geldiği görülmüştür. Maksimum düşey yönlü hareketin baraj ortasında olduğu belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan hareket değerleri karşılaştırıldığında ise belirlenen hareketlerin uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

González-Aguilera vd. (2008), 1994 yılında Adaja Nehri üzerine inşa edilen betonarme Las Cogotas Barajı'nda su tutmaya başlamadan önce toplam 3 periyot ölçüm yaparak lazer tarama teknolojisinin baraj güvenliğini izleme çalışmalarında kullanılabilirliği üzerine çalışma yapmışlardır. Tarama işlemi için Trimble GX200 marka yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Farklı ölçüm periyotlarında aynı noktanın taranmasının ve lazer ışınının genişliğinin bulunmamasından dolayı, sadece lazer tarayıcıların büyük barajların yapısal kontrolünü sağlamak için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı üç boyutlu yüzey modelleme yaklaşımı ile barajların yapı sağlığının izlenebileceği belirtilmiştir.

Taşçi (2008), baraj tipi kil çekirdekli kaya dolgu olan Altınkaya Barajı'nda olası hareketleri belirlemek amacıyla çalışma yapmıştır. Baraj hareketlerini izlemek için 6'sı

referans ve 11'i obje noktasından oluşan toplamda 17 noktalı bir ağ kurulmuştur. Çift frekanslı Astech Z surveyor marka GPS'ler ile bu ağda yılda 2 kez olmak üzere toplam 4 periyot statik ölçü şeklinde ölçümler yapılmıştır. Referans noktalarında 45 dakikalık ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kayıt aralığı 10 sn olarak belirlenmiş, uydu yükseklik açısı ise 15° olarak ayarlanmıştır. GPS ölçülerinin değerlendirme ve dengeleme aşamaları ticari yazılımlardan GeoGenius 2000 ile gerçekleştirilmiştir. Serbest dengeleme sonucu elde edilen WGS84 kartezyen koordinatlar toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür. Deformasyon analizi yöntemi olarak iteratif ağırlıklı benzerlik dönüşümü (IWST) ve en küçük mutlak toplam (LAS) yöntemleri kullanılmıştır. Deformasyon analizi yükseklik yönünün hassas olmamasından dolayı iki boyutlu (2B) olarak yapılmıştır. Deformasyon analizi sonuçlarına göre en büyük hareketlerin baraj kretinin orta noktasında ve uç noktalarında olduğu belirlenmiştir. Fakat kret üzerinde meydana gelen hareketlerin su yükü nedeni ile oluşup oluşmadığı belirlenmemiştir. Deformasyon analiz yöntemleri karşılaştırıldığında ise LAS yönteminin IWST yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği sonucuna varılmıştır. Gökalp ve Taşçı (2009), yaptıkları çalışmada Taşçı'nın (2008) çalışmasında kullandığı GPS verilerini kullanarak, IWST ve Frederiction yaklaşımı ile iki boyutlu deformasyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Her iki yöntemde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Erkaya vd. (2009), Manavgat Çayı üzerine inşa edilen baraj tipi beton kemer barajı olan Oymapınar Baraj gövdesindeki hareketleri jeodezik yöntemler ile izlemek üzerine çalışma yapmışlardır. 13 noktalı referans noktadan oluşan mikro-jeodezik ağ kurulmuştur. Mikro jeodezik ağda Ekim 2007 ve Nisan 2008 periyotlarında klasik yöntemlerle yatay doğrultular, eğik kenar ile düşey açılar ölçülmüştür. Yersel yöntem olarak GPS yöntemi ile de ölçümler yapılmıştır. GPS ölçümleri 3 oturumda Trimble 5700 ve Astech Z-Max marka GPS alıcıları ile statik olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler akademik yazılım Bernese 5.0 ile değerlendirilmiştir. Ölçüm sırasında kayıt aralığı 15 sn, uydu yükseklik açısı ise 10° olarak seçilmiştir. Ayrıca 2008 Nisan ölçme periyodunda OPTECH ILRIS 3D lazer tarayıcı ile üç farklı istasyondan baraj gövdesi taranmıştır. Baraj gövdesinde düşey yönlü hareketleri belirlemek amacıyla 0.3 mm/km hassasiyetli nivo kullanılarak gidiş/dönüş geometrik nivelman yöntemi kullanılmıştır. Aynı noktalarda hızlı statik modda GPS nivelmanı da gerçekleştirilmiştir. Jeodezik deformasyon analiz yöntemi olarak ortalama aykırıklar (θ^2 -ölçütü) ve Karlshure yaklaşımı (bağıl güven elipsleri yöntemi) kullanılmıştır.

Ehiorobo ve Ehigiator (2011), yaptıkları çalışmada toprak dolgu Ikpoba Barajı'ndaki yatay yönlü hareketleri DGPS (Diferansiyel GPS) tekniği kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Yatay yönlü hareketleri izlemek için 11'i obje noktası, 9'u referans noktasından oluşan jeodezik ağda 2008, 2009 ve 2010 yıllarında ölçüm yapılmıştır. Her bir noktada GPS alıcıları ile en az 1 saatlik ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen GPS verilerinin değerlendirilme ve dengeleme işlemleri için Leica Ski Pro-2 yazılımı kullanılmıştır. Dengeleme işlemi sonucu elde edilen koordinatların periyotlar arası farklarına bakılarak hareketler belirlenmiş, elde edilen koordinat farklarının ölçüm hatasından veya gerçek hareket değeri olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz sonucu ağdaki tüm noktaların hareketli olduğu,

hareket yönünün güney-batı yönünde olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bir sonuç ise DGPS tekniğinin toprak dolgu baraj hareketlerinin kısa bazların kullanılması durumunda üç boyutlu olarak izlenmesinde yüksek hassasiyetli sonuçlar verdiğiidir.

Gumus vd. (2013), Antalya ili Manavgat Nehri üzerine 1977 ile 1984 yılları arası inşa edilen Oymapınar çift eğrilikli beton kemer barajında aynı şartlarda ve su seviyesinde yersel lazer tarama teknolojisi kullanarak 2008 Nisan yılında yüzey taramaları yapmışlardır. Saniyede 2000 nokta veri üreten uzun menzilli ILRIS-3D marka yersel lazer tarayıcısı bu çalışmada kullanılmıştır. Baraj su seviyesinin maksimum, minimum ve orta seviyelerde olduğu üç farklı zaman aralığında elde edilen nokta bulutları ile üç boyutlu yüzeyler arası karşılaştırma yapılmıştır. Yersel lazer tarayıcının tekrarlılığını kontrol etmek amacıyla aynı su seviyesi ve koşullarda 4 farklı tarama yapılmıştır. Üretilen yüzey modellerinin farklarını alarak deformasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Taramalardan elde edilen yüzeylerin hemen hemen aynı doğruluğa ve hassasiyete sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Diğer bir sonuç ise yersel lazer tarayıcılarının deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabileceğidir.

Kalkan (2014), 1983 ile 1992 yılları arasında Fırat Nehri üzerine sulama enerji, içme suyu ve elektrik üretimi amacıyla inşa edilen kaya dolgu tipi Atatürk Barajı'nda radyal hareketleri belirlemek amacıyla çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında hareket beklenmeyen bölgelere tesis edilmiş 32 referans ve baraj kreti üzerinde 200 obje noktasından oluşan bir deformasyon ağı kurulmuştur. Hareketleri izlemek için jeodezik ölçüm tekniklerinden klasik (teodolit ve total station) ve GPS ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. 25 noktada Mayıs 2011 ile Kasım 2010 yılları arasında ölçüm zaman aralığı 3 ile 8 saat arasında değişen GPS ölçümleri yapılmıştır. Veri kayıt aralığı 5 sn ve yükseklik açısı 10° olarak seçilmiştir. Doğrultu, kenar ve düşey açı ölçümleri klasik yöntemler ile yapılmıştır. En büyük yatay hareketin 14.08 cm ile memba tarafındaki obje noktasında olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre GPS ve klasik ölçüm yöntemlerinden elde edilen sonuçların uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen diğer bir sonuç radyal hareket değerleri ile baraj rezervuar su seviyesi arasında net bir ilişki belirlenememiştir.

Alkan vd. (2016), yaptıkları çalışma ile toprak dolgu baraj tipinde olan Obruk Barajı ve çevresinde meydana gelebilecek yatay ve düşey yönlü hareketleri belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma kapsamında 8'i referans, 44'ü obje noktasından ve 6 adet RS noktasından oluşan bir jeodezik ağ kurulmuştur. Oluşturulan jeodezik ağda Ekim 2015 ve Nisan 2016 periyotlarında ölçüm yapılmıştır. Ekim 2015 yılında GNSS ve hassas nivelman ölçümleri, Nisan 2016 yılında ise bu ölçümlere ek olarak robotik total station (Leica TS16) kullanarak yatay açı, düşey açı ve eğik kenar ölçümleri yapılmıştır. GNSS ölçümleri sırasında çift frekanslı alıcılar kullanılmış olup, referans noktalarında 8'er saatlik ölçümler yapılmıştır. Ölçümler, Gamit-Globk ve Leica Geo Office (LGO) yazılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme işlemi sırasında IGS ve Tusaga-Aktif noktalarına dayalı olarak dengeleme işlemi yapılmıştır. Baraj gövdesi üzerinde bulunan obje noktalarında ise 30'ar dakikalık ölçümler yapılmıştır. Obje noktalarının koordinatları da hesaplanan referans noktalarına göre dayalı olarak elde edilmiştir. GNSS ölçümleri sırasında veri kayıt aralığı 10 sn ve uydu yükseklik açısı 10°

olarak seçilmiştir. Nivelman ölçümleri ise ölçme doğruluğu 0.6mm/km Topcon DL-503 nivo ile gidiş-dönüş olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucu noktalara ait elde edilen standart sapma değerleri verilmiştir.

Yigit vd. (2016), 2002 ile 2009 yılları arasında Göksu nehri üzerine inşa edilen gövde tipi çift eğrilikli ince beton kemer olan Ermenek Barajı'nda ilk dolun aşamasında meydana gelen hareketleri incelemişlerdir. 2011 ile 2012 yılları arasında yapılan çalışmada rezervuar su seviyesi ile mevsimsel sıcaklık değişimlerinin barajın tepkisine olan etkisi incelenmiştir. Barajda hareketler jeodezik ve jeodezik olmayan (geoteknik) sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 10'u referans ve 19'u obje noktasından oluşan bir jeodezik ağı kurulmuştur. Kurulan jeodezik ağda ölçümler sırasında robotik total station (Leica TCA 1800) ve prizma (GPH1P) kullanılmış ve dokuz periyot ölçü yapılmıştır. Yapılan ölçüler serbest ağ dengelemesi yöntemine göre dengelenmiş, uyumsuz ölçüleri belirlemek için Pope testi yapılmıştır. Deformasyon analiz yöntemi olarak geleneksel deformasyon analiz yöntemi, lokalizasyon aşaması S-transformasyon yöntemi kullanılmıştır. Deformasyon analizi sonucu elde edilen radyal hareket değerleri ile rezervuardaki su seviyesi ve mevsimsel sıcaklık değişimlerinin arasında yüksek korelasyon olduğu tespit edilmiştir. 58 m lik su artışının barajda 1 cm lik harekete neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar analiz yöntemiyle hesaplanan hareket değerleri ile jeodezik olarak belirlenen radyal hareket değerlerinin uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Saidi vd. (2017), Tunus'ta kret uzunluğu 340 m ve yüksekliği 70 m olarak inşa edilen baraj tipi toprak dolgu barajı olan Sidi Salem Barajı'nda jeodezik yöntemler kullanarak barajda oluşan yatay ve düşey yönlü hareketleri incelemişlerdir. Hareketleri incelemek için bir jeodezik ağ kurulmuştur. Baraj hareketleri ile rezervuar su seviyesi, sıcaklık, hidro-statik basınç ve sismik analizler arasında güçlü bir ilişki bulunduğu ve rezervuar su seviyesi ile hidro-statik basıncın barajı etkileyen en önemli parametreler olduğunu tespit edilmiştir. Jeodezik ölçüm yöntemi ile baraj hareketlerinin incelenmesi, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) aracılığıyla ise hareketlerin haritalanması işlemlerinin yapılacak barajda oluşabilecek risklerin tespit edilmesinde ve önlem alınmasında yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Alcay vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Ermenek Barajı'nın sıcaklık ve su yükünün baraja uyguladığı etkiyi, mikro-jeodezik ağ ve sarkaç verilerini ayrı ayrı ve birlikte ele alarak değerlendirmişlerdir. Baraj hareketlerinin jeodezik olarak belirlemek için Yigit vd., (2016) 'nın çalışmasında kurulan mikro-jeodezik ağ kullanılmıştır. Ermenek Barajı'nda yaklaşık 2 ile 3.2 m arası genişliğe ve yüksekliğe sahip 4 adet galeriler (G1, G2, G3, G4) bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında 3'ü düz, 1'i ters olmak üzere toplamda 4 adet sarkaç, baraj hareketlerini geoteknik olarak belirlemek için baraj gövdesine yerleştirilmiştir. Baraj su seviyesindeki ilk 60 metrelik artışın galeride maksimum 6 mm'lik harekete neden olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan analiz sonucu mevsimsel yer değiştirmenin sıcaklıkla güçlü bir şekilde ilişkili olduğu ve barajın sıcaklığa olan hareket tepkisinin rezervuar suyu seviyesi dolduğunda daha fazla olduğunu belirlenmiştir. Baraj rezervuar su seviyesinin tam dolu olduğu durumda beton sıcaklığında yaklaşık 14 °C'lik bir değişim barajın üst seviyesinde yaklaşık 1 cm'lik

bir hareket üretmiştir. Diğer bir sonuç ise jeodezik ve geoteknik olarak belirlenen hareket miktarlarının birbirleriyle tutarlı olduğu ve aralarındaki farkın 1.5 mm'den az olduğudur.

Acosta vd. (2018), İspanya'da bulunan Arenoso toprak dolgu barajında jeodezik ve sonlu elemanlar analiz yöntemini kullanarak barajın hareketlerini incelemiştir. Yatay ve düşey hareketleri incelemek için dört farklı güzergâh oluşturarak GNSS ve hassas nivelman (Leica DNA03) teknikleri kullanılmıştır. Şubat ve Temmuz 2008, Mart ve Temmuz 2013, Ağustos 2014, Eylül 2015 ve Eylül 2016 periyotları olmak üzere toplam 7 periyot ölçü yapılmıştır. Toprak dolgu barajının genel özellikleri dikkate alınarak baraj hareketleri sonlu elemanlar analiz yöntemine göre hesaplanmıştır. GNSS verileri LGO yazılımında değerlendirilmiştir. Değerlendirme aşamasında hassas efemeris dosyası kullanılmış olup yükseklik açısı 10° olarak seçilmiştir. Sonlu elemanlar analiz yöntemi ile elde edilen hareket değerleri ile jeodezik olarak elde edilen hareket değerleri karşılaştırıldığında baraj kreti üzerinde yatay yönde yaklaşık 6 cm, düşeyde ise ortalama 15 cm fark olduğu tespit edilmiştir. Arada çıkan bu farkın muhtemelen sonlu elemanlar analiz yöntemi ile modelleme sürecindeki basitleştirmelerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Barzaghi vd. (2018) tarafından İtalya'da içme suyu, sulama ve elektrik üretim amacıyla inşa edilen, Eleonora D' Arborea (Cantoniera) boşluklu ağırlık barajında GNSS, kolimatör ve sarkaç (pendulum) ölçümleri yapılarak barajdaki 2.5 yıllık bir zaman dilimi için hareketler incelenmiştir. GNSS ağı, kret üzerinde bulunan obje ve baraj yakın çevresine tesis edilen çift frekanslı alıcılardan oluşmaktadır. Kurulan sistem uzaktan yönetilebilen tamamen otomatik bir sistemdir. Referans istasyonları, baraj çevresinde sabit olarak düşünülen yerlere tesis edilmelerine rağmen yapılan ön testler sonucunda yalnızca birinin sabit kaldığını göstermiştir. Bu nedenle 6 obje noktasının koordinatları sabit kalan referans noktasına göre değerlendirilmiştir. GNSS verileri Leica GNSS Spider yazılımında değerlendirilmiştir. Değerlendirme aşamasında yükseklik açısı 15° olarak seçilmiş ve yayın efemerisi kullanılmıştır. Böylece günlük olarak WGS84 referans sisteminde 3 boyutlu koordinatlar elde edilmiştir. Elde edilen koordinatlar lokal sisteme (East-North-Up) dönüştürülerek deformasyon vektörleri gösterilmiştir. GNSS, sarkaç ve kolimatör verileri üzerinde yapılan karşılaştırmalı analiz sonuçlarına göre, sarkacın baraj hareketlerinin izlenmesinde en hassas yöntem olduğu belirlenmiştir. Diğer sonuçlardan birisi de GNSS tekniğinin sarkaçtan daha az hassas olmasına rağmen, yeterince doğru sonuç verdiği ve baraj hareketlerinin izlenmesinde kullanılabilir olduğudur.

Pipitone vd. (2018), İtalya'da baraj tipi toprak dolgu olan Castello Barajı'nda uzaktan algılama teknolojisini rezervuar su seviyesini izlemek için kullanmışlardır. Çalışma kapsamında optik görüntüler (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ SLC-Off, Landsat 8 OLI-TIRS ve ASTER) ve sentetik açıklıklı radar görüntüleri (Cosmo SkyMed ve TerraSAR-X) kullanılmıştır. Aynı zamanda, baraj hareketlerini izlemek için de GNSS alıcıları kullanılmıştır. Baraj yakın çevresine yakın bölgede 1 adet referans noktası ile baraj kreti üzerine 3 adet obje noktası seçilerek GNSS alıcıları tesis edilmiştir. Objeler 2 adet Topcon GB-500 (PG-A1 anteni ile) ve Topcon NET-G3A (Topcon G3-A1

anteni ile) alıcılarından oluşmaktadır. Uzaktan algılama teknolojisi ile elde edilen rezervuar su seviyesinin baraj hareketine olan etkisi incelenmiştir. Nisan 2011 ile Mart 2012 yılları arası baraj kretinin orta kısmında meydana gelen hareketin değişkenlik gösterdiği ve bu hareketin rezervuar su seviyesi ile arasındaki ilişkisinin tam olarak açıklanamadığı sonucuna varılmıştır.

Yavaşoğlu vd. (2018), Atatürk Barajı'nda baraj hareketlerini izlemek için 2006 ile 2013 yılları arası (11 periyot) yersel, 2007 ile 2013 yılları arası (9 periyot) GNSS yöntemleri ile ölçüm gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan deformasyon ağı 25 referans ve 217 obje noktasından oluşmaktadır. Açık ve mesafe ölçümleri Leica TDA 5005, Wild T3000 elektronik teodolit ve Distomat DI3000 ile yapılmıştır. Deformasyon ağına 25 referans noktası olmasına rağmen baraja yakın 13 nokta kullanılmıştır. 217 obje noktasının koordinatları bu 13 referans noktasına göre hesaplanmıştır. 25 referans noktalarında en az 10'ar saatlik GNSS yöntemi ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sırasında veri kayıt aralığı 5 sn ve uydu yükseklik açısı 10° olarak seçilmiştir. Ayrıca en az 5 referans noktasında eş zamanlı 40 dakikalık ölçümler yapılmıştır. Toplanan GNSS verilerini değerlendirmek için ticari yazılımlardan LGO kullanılmıştır. Değerlendirme aşamasında efemeris verisi olarak hassas efemeris kullanılmıştır. Kurulan referans ağına deformasyon olmadığı belirlendikten sonra tüm obje noktaları referans noktalarına göre dengelenmiştir. Deformasyon analiz yöntemi olarak geleneksel deformasyon analizi yöntemi, lokalizasyon yöntemi olarak S-transformasyon yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca barajda gerinim analizi yapılmıştır. Gerinim analizi Grid Strain Matlab Toolbox kullanılmıştır. Gerinim analizi sonuçlarına göre en büyük deformasyon eski akarsu yatağında meydana gelmiştir. Ayrıca bu sonuçların deformasyon analizi sonuçları ile de uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Xiao vd. (2019), Çin'de SWC rezervuarı hareketlerini izlemek amacıyla GNSS deformasyon izleme sistemi kurmuşlardır. Kurulan GNSS ağına 7/24 çalışan 1 adet referans ve 3 adet obje noktası bulunmaktadır. Çift frekanslı GNSS alıcıları ile 15 sn veri kayıt aralığı ile GPS ve BDS sinyalleri kayıt edilmiştir. Uydu yükseklik açısı 15° olarak seçilmiştir. GNSS verisini otomatik değerlendirmek için yazılım yazmışlardır. Baz vektörlerin farkları çeşitli zaman uzunluklarında yapılan gözlem oturumları ile hesaplanmıştır. Hassasiyeti göstermek için bazların tekrarlılıklarını ve varyans değerlerini kullanmışlardır. Yapılan 12 saatlik ölçümler ile yatayda 1-2 mm, düşeyde ise 2-3 mm hassasiyete ulaşılmıştır. 24 saatlik BDS sinyal verileri ile GPS sinyal verileri kullanılarak yapılan deformasyon sonuçları benzer sonuçlar vermiş, BDS sisteminin deformasyon çalışmalarında mm hassasiyetinde sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen diğer bir sonuç ise su seviyesindeki değişimlerin baraj deformasyonuna neden olan ana faktörlerden biri olduğudur.

Konakoğlu (2019), "Çoruh Barajlar Projesi" kapsamında Çoruh Nehri üzerine inşa edilen, işletme aşamasında Türkiye'nin en yüksek barajlarından biri olan Deriner Barajında meydana gelen hareketleri belirlemeye çalışmıştır. Bu kapsamda Mayıs 2016, Kasım 2016, Mayıs 2017 ve Ağustos 2017 tarihleri olmak üzere toplam dört farklı periyotta GNSS ölçümleri yapmıştır. Çalışma kapsamında 12'si referans ve 9'u obje noktasından oluşan bir jeodezik ağı kurulmuştur. GNSS verilerinin değerlendirme

aşamasında ticari yazılımlardan Magnet Tools yazılımı kullanmıştır. Uygulamada üç farklı statik model (θ^2 -ölçütü, IWST ve LAS) ve kinematik (kalman-filtreleme) deformasyon modeli olarak olmak üzere kullanılmıştır. Bu yöntemlere ek olarak geliştirilen dinamik model ile de deformasyonları belirlemeye çalışmıştır. Geliştirilen dinamik model, barajın hareket etmesine neden olan su seviyesi değişimi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Tüm modeller ile yapılan analiz sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu ve barajda yatay yönde maksimum hareket yaklaşık 3 cm olarak belirlenmiştir. Düşey yönde belirlenen hareketlerin istenilen hassasiyete ulaşamadığı sonucuna varmıştır.

Pytharouli vd. (2019), Yunanistan'ın elektrik üretimi ve sulama amacıyla 580 m kret uzunluğunda inşa edilen Poumari I toprak dolgu barajında jeodezik yöntem ile yapılan ölçümleri analiz etmişlerdir. Yapılan çalışma kapsamında baraj inşası bitiminden 31 yıl boyunca (Şubat 1981-Nisan 2015) yılda bir kez yapılan jeodezik ölçümler rezervuar su seviyesi, yağış ve deprem oluşumu ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırma işlemine ilk doluş aşaması dâhil etmemişlerdir. Baraj işletmeye başladığından beri Geoteknik izleme sistemi, baraj gövdesinin içerisine farklı yerlere yerleştirilmiş çeşitli geoteknik cihazları (Ör: eğim ölçer, piezometre, basınç hücreleri) içermektedir. Jeodezik izleme sistemi ise baraj üzerine tesis edilmiş 79 obje noktasından oluşmaktadır. 2015 yılına kadar en fazla hareket kretin orta noktasında 623 mm olarak belirlenmiştir. Memba ve mansap taraflarındaki noktaların hareketleri karşılaştırıldığında aralarında 250 mm fark olduğu, bu durumun memba tarafının su tutan taraf olmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Kret oturma indeksi 0.02 ve yıllık oturma oranı ise 0.02% olarak hesaplanmıştır. Hareketlerin hiç birinin bu indeksi geçmediği fakat 1986, 1988 ve 1992 yıllarında bu oranı aştığını belirlemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, rezervuar seviyesi değişimi ile kretin ve mansap tarafındaki noktaların düşey yönlü hareketleri arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır. 1984 ile 2015 yılları arası aşırı yağış olarak tanımlanan alt eşiği aştığı 19 durum olduğu belirlenmiştir. Bu durumlardan hiçbirinin barajın yukarı yönlü hareket etmesi ile doğrudan bir ilişki kuramamışlardır. Ayrıca incelenen süre boyunca 50 km içinde kaydedilen sismik hareketlerin (maksimum 5.3) baraj hareketlerine neden olduğuna dair bir kanıt bulamamışlardır.

3. SONUÇ

Olası bir kazayı önlemek veya olabilecek kazayı yavaşlatacak önlemler olarak can ve mal kaybına engel olunması için baraj güvenliği sürekli olarak denetlenmelidir. Ülkelerin ekonomik açıdan kalkınmasına yardımcı olan barajlarda hareketlerin denetlenmesi yapım aşamasında başlamalı, işletme aşamasında devam etmelidir. Yapılan bu çalışma ile geçmişten günümüze kadar yapılan baraj sağlığını jeodezik olarak izleme ile ilgili araştırma yayınlarının ele alınması ve konu hakkında okuyucunun bilgilendirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan literatür taramasında Dünya çapındaki çalışmalar da çoğunlukla 7/24 esasına göre çalışan, yüksek hassasiyetli, verinin anlık işlendiği ve uzaktan kontrol edilebilir GNSS sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda geoteknik ölçümlerin yanında jeodezik ölçümlerde

yapıldığı görülmüştür. Ayrıca, baraj sağlığını izleme çalışmalarının uzun yıllar boyunca sürdürüldüğü tespit edilmiştir. Türkiye’de ise yapılan çalışmalarda çoğunlukla total station kullanıldığı, 7/24 veri toplayabilecek GNSS sistemlerinin tercih edilmediği belirlenmiştir. Bu durumun sürekli ölçüm yapan GNSS sistemin pahalı olmasından dolayı olduğu sonucu çıkarılabilir. Ülkemizde, GNSS dâhil diğer jeodezik yöntemler ile yapılan tüm çalışmaların da periyodik olduğu belirlenmiştir. Türkiye’de, jeodezik deformasyon analiz yöntemleri (statik, kinematik ve dinamik) ile hareketin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını inceleyen çalışmalar diğer ülkelere göre daha fazladır. Bu durum, üniversitelerimizdeki akademisyenlerin, barajların hareketlerini jeodezik yöntemler ile inceleyebilecek bilgi birikimine sahip olduğunu göstermektedir. Ülkemizde son yıllarda artan baraj sayısı göz önüne alındığında bu denetimin sürekli olarak yapılması gerekmektedir. Türkiye’de jeodezik çalışmaların uzun yıllardır sürdürüldüğü tek baraj Atatürk barajı olduğu görülmektedir. Baraj sağlığı denetimiyle sorumlu kamu kurum ve kuruluşlarının Türkiye’de bulunan üniversiteler ile iş birliği yaparak geoteknik ölçümlerin yanında barajlar mutlaka jeodezik ölçümler ile izlenmesini teşvik etmelidir. Bu çalışmada baraj hareketlerini uzaktan algılama yöntemleri ile inceleyen çalışmalara yer verilmemiştir.

KAYNAKÇA

- Acosta, L., de Lacy, M., Ramos, M., Cano, J., Herrera, A., Avilés, M., & Gil, A. (2018). Displacements study of an earth fill dam based on high precision geodetic monitoring and numerical modeling. *Sensors*, 18(5), 1369. <https://doi.org/10.3390/s18051369>
- Alba, M., Fregonese, L., Prandi, F., Scaioni, M., & Valgoi, P. (2006). Structural monitoring of a large dam by terrestrial laser scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5), 6.
- Alcay, S., Yigit, C. O., Inal, C., & Ceylan, A. (2018). Analysis of displacement response of the Ermenek dam monitored by an integrated geodetic and pendulum system. *International Journal of Civil Engineering*, 16(10), 1279-1291. <https://doi.org/10.1007/s40999-017-0211-x>
- Alkan, R. M., Gülal, V. E., İlçi, V., Ozulu, İ. M., Alkan, M. N., Köse, Z., Aladoğan K., Tomuş, F. E., Şahin M., Yavaşoglu, H., & Oku, G. (Ekim, 2016). Obruk Barajı Deformasyon Ölçüleri, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.
- Barzaghi, R., Cazzaniga, N., De Gaetani, C., Pinto, L., & Tornatore, V. (2018). Estimating and comparing dam deformation using classical and GNSS techniques. *Sensors*, 18(3), 756. <https://doi.org/10.3390/s18030756>
- Bayrak, T. (2007). Modelling the relationship between water level and vertical displacements on the Yamula Dam, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Science*, 7(2), 289-297.
- Bayrak, T. (2008). Verifying pressure of water on dams, a case study. *Sensors*, 8(9), 5376-5385. <https://doi.org/10.3390/s8095376>

- Begnudelli, L., & Sanders, B. F. (2007). Simulation of the St. Francis dam-break flood. *Journal of Engineering Mechanics*, 133(11), 1200-1212.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2007\)133:11\(1200\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2007)133:11(1200))
- Ehiorobo, J. O., & Irughe-Ehigiator, R. (2011). Monitoring for horizontal movement in an earth dam using differential GPS. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 2(6), 908-913.
- Erkaya, H., Hoşbaş R. G., Gülal, V. E., ersoy, N., Doğan, U., Pırtı, A., Soyca, M., Gümüş, K., Öcalan T., Aykut, N. O., Akpınar, B., & Poyraz F (Mayıs, 2009). Beton Kemer Barajlarda Deformasyonların Modern Ölçme Teknikleri ile Belirlenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Feng, L. M., Pekau, O. A., & Zhang, C. H. (1996). Cracking analysis of arch dams by 3D boundary element method. *Journal of Structural Engineering*, 122(6), 691-699.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1996\)122:6\(691\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:6(691))
- Gikas, V., & Sakellariou, M. (2008). Settlement analysis of the Mornos earth dam (Greece): Evidence from numerical modeling and geodetic monitoring. *Engineering Structures*, 30(11), 3074-3081.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.03.019>
- Gökalp, E., & Taşçı, L. (2009). Deformation monitoring by GPS at embankment dams and deformation analysis. *Survey Review*, 41(311), 86-102.
<https://doi.org/10.1179/003962608X390021>
- Gong, G. C., Chang, J., Chiang, K. P., Hsiung, T. M., Hung, C. C., Duan, S. W., & Codispoti, L. A. (2006). Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effect of the Three Gorges Dam?. *Geophysical Research Letters*, 33(7). <https://doi.org/10.1029/2006GL025800>
- González-Aguilera, D., Gómez-Lahoz, J., & Sánchez, J. (2008). A new approach for structural monitoring of large dams with a three-dimensional laser scanner. *Sensors*, 8(9), 5866-5883. <https://doi.org/10.3390/s8095866>
- Gumus, K., Erkaya, H., & Soyca, M. (2013). Investigation of repeatability of digital surface model obtained from point clouds in a concrete arch dam for monitoring of deformations. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 19(2), 268-286.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702013000200007>
- Hudnut, K. W., & Behr, J. A. (1998). Continuous GPS monitoring of structural deformation at Pacoima Dam, California. *Seismological Research Letters*, 69(4), 299-308. <https://doi.org/10.1785/gssrl.69.4.299>
- Kalkan, Y. (2014). Geodetic deformation monitoring of Ataturk Dam in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 397-405. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0765-5>
- Konakoğlu, B. (2019). Beton barajlarda deformasyonların statik, kinematik ve dinamik modeller ile belirlenmesi: Artvin Deriner Barajı Örneği. Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Koskinas, A., Tegos, A., Tsira, P., Dimitriadis, P., Iliopoulou, T., Papanicolaou, P., Koutsoyiannis, D., & Williamson, T. (2019). Insights into the oroville dam 2017 spillway incident. *Geosciences*, 9(1), 37. <https://doi.org/10.3390/geosciences9010037>

- Kulkarni, M. N., Radhakrishnan, N., & Rai, D. (2006). Global positioning system in disaster monitoring of Koyna dam, Western Maharashtra. *Survey Review*, 38(301), 629-636. <https://doi.org/10.1179/sre.2006.38.301.629>
- Le Page, M. (2019). The trouble with dams. *NewScientist*, 243(3242), 5. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(19\)31448-4](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(19)31448-4)
- Li, Q., Zuo, Z., Hu, Y., & Liang, G. (2016). Smart monitoring of a super high arch dam during the first reservoir-filling phase. *Journal of Aerospace Engineering*, 30(2), B4016001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AS.1943-5525.0000573](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000573)
- Londe, P., 1987. The Malpasset dam failure. *Engineering Geology*, 24(1-4), 331-338. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(87\)90069-X](https://doi.org/10.1016/0013-7952(87)90069-X)
- Manake, A., & Kulkarni, M. N. (2002). Study of the deformation of Koyna dam using the Global Positioning System. *Survey Review*, 36(285), 497-507. <https://doi.org/10.1179/sre.2002.36.285.497>
- Pipitone, C., Maltese, A., Dardanelli, G., Lo Brutto, M., & La Loggia, G. (2018). Monitoring water surface and level of a reservoir using different remote sensing approaches and comparison with dam displacements evaluated via GNSS. *Remote Sensing*, 10(1), 71. <https://doi.org/10.3390/rs10010071>
- Pytharouli, S., Michalis, P., & Raftopoulos, S. (2019). From theory to field evidence: observations on the evolution of the settlements of an earthfill dam, over long time scale. *Infrastructures*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/infrastructures4040065>
- Saidi, S., Houimli, H., & Zid, J. (2017). Geodetic and GIS tools for dam safety: case of Sidi Salem dam (northern Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 10(22), 505. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3259-7>
- Sultanbekov, R. R. (2005). Substantiation of the strength and stability of concrete dams based on the solution of a nonlinear three-dimensional problem. *Power Technology and Engineering (formerly Hydrotechnical Construction)*, 39(4), 211-214. <https://doi.org/10.1007/s10749-005-0309-1>
- Taşçi, L. (2008). Dam deformation measurements with GPS. *Geodezija ir kartografija*, 34(4), 116-121. <https://doi.org/10.3846/1392-1541.2008.34.116-121>
- Widmann, R. (1990). Fracture mechanics and its limits of application in the field of dam construction. *Engineering Fracture Mechanics*, 35(1-3), 531-539. [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(90\)90228-9](https://doi.org/10.1016/0013-7944(90)90228-9)
- Xiao, R., Shi, H., He, X., Li, Z., Jia, D., & Yang, Z. (2019). Deformation Monitoring of Reservoir Dams Using GNSS: An Application to South-to-North Water Diversion Project, China. *IEEE Access*, 7, 54981-54992. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2912143>
- Yang, Z., Liu, D., Ji, D., & Xiao, S. (2010). Influence of the impounding process of the Three Gorges Reservoir up to water level 172.5 m on water eutrophication in the Xiangxi Bay. *Science China Technological Sciences*, 53(4), 1114-1125. <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0387-7>
- Yavaşoğlu, H. H., Kalkan Y., Tiryakioğlu, İ., Yigit, C. O., Özbey, V., Alkan, M. N., Bilgi, S., & Alkan, R. M. (2018). Monitoring the deformation and strain analysis on the

Konakoğlu, B. (2020). Barajların Jeodezik Yöntemler İle İzlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmaların İrdelenmesi. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST), 3 (1): 32-46.

Ataturk Dam, Turkey. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 94-107.

<https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1411400>

Yigit, C. O., Alcay, S., & Ceylan, A. (2016). Displacement response of a concrete arch dam to seasonal temperature fluctuations and reservoir level rise during the first filling period: evidence from geodetic data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4), 1489-1505. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1047902>

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 3, Issue: 1, p. 47-65, 2020

BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMIN GELİŞİMİ: YENİ BİR MİMARİ METODOLOJİ OLARAK YBM

DEVELOPMENT OF COMPUTER AIDED DESIGN: BIM AS A NEW
ARCHITECTURAL METHODOLOGY

Mehmet İNCEOĞLU¹

Bircan İNAN²

(Received 23.12.2019 Accepted 15.02.2020) - Review Article

Özet

Son yıllarda gelişen bilgisayar bilimi ile birlikte hayatımıza giren yazılımlar birçok alanda yeni metodolojiler ve yeni kavramlar kazandırmıştır. Gelişen bu bilgisayar bilimleri ile birlikte sanat, mühendislik bilimleri, sağlık, sosyal, beşeri, ekonomi ve mimarlık alanları gibi çok çeşitli alanlarda yeni metodolojiler geliştirilmiştir. Bilgisayar programlarının başlangıcı ile mimarlık alanına giren 2 boyutlu CAD ortamları ve 3 boyutlu yazılımlar, kullanılan metodolojileri değiştirmiştir. Son yıllarda gelişen teknoloji ve bilgisayar bilimi sayesinde 2 boyutlu ya da 3 boyutlu çizimler kullanılarak oluşturulan metodolojileri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni metodolojik sistemler Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) olarak adlandırılmıştır.. YBM programları sayesinde n-boyutlu çalışmalar yapılarak yapıların sadece projelendirme aşamaları değil inşa edilmesi aşamaları ve yapının sürdürülebilirliği, işletimi gibi çok çeşitli konularda değerlendirilmektedir. YBM metodolojisi sadece proje yönetimi ve projelendirme süreçleri sırasında kullanılmamaktadır. Günümüzde mimarlar artık tasarımlarında YBM sistemlerini giderek daha verimli bir halde kullanmaktadırlar. Bu metodolojiler tasarımları olabildiğince farklı noktalara çekmektedirler. Metodoloji sadece mimarlık alanında değil, aynı zamanda mimari tasarım ve akımlarla direkt olarak bağlantılı olmuştur. Günümüz teknolojisiyle birlikte hayatımıza giren YBM üzerinden geliştirilen grafiksel programlama dilleri sayesinde hesaplamalı tasarım ve parametrik tasarım gibi yeni mimari tasarımları çok çeşitlendirmişlerdir. YBM sayesinde disiplinler arası işbirliği artmış olup tüm proje paydaşları ile rahatlıkla ortak bir çalışma yapılabilmektedir. Ortak yapılan çalışmalar sayesinde yapıya ait çeşitli projeler arasında yaşanan çeşitli karmaşalar önlenerek yapının inşa aşamasında karşılaşılabilecek çeşitli sorunların önüne geçilebilmiştir.

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, mehmeti@eskisehir.edu.tr

² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, bircan.inan993@gmail.com

İnceoğlu, M. & İnan, B. (2020). Bilgisayar Destekli Tasarımın Gelişimi: Yeni Bir Mimari Metodoloji Olarak YBM. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST), 3 (1): 47-65.

Makale içerisinde verilen örneklerle bu durum desteklenmiştir. Bu çalışmada literatür taraması yapılarak elde edilen bilgilerin ışığında çeşitli örneklerle desteklenerek bilgisayar biliminin mimarlık alanına kattığı yeni bir metodoloji olan YBM sistemlerini incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bilgisayar, Yazılım, Yapı Bilgi Modellemesi, Metodoloji, Mimarlık, Parametrik Tasarım

Abstract

With the development of computer science in recent years, different software emerged in our lives provide us new methodologies and new concepts in many areas. This developing computer science, put out new methodologies in various fields such as art, engineering sciences, health, social, humanities, economics and architecture. Appearing computer programing and emergence of 2D CAD and 3D software in the field of architecture, has improved many of used methodologies. These new developed methodological systems have been named as Building Information Modeling (BIM). Since BIM methodology is used in nD projects, is not only used in project planning processes, but also can be used in many other subjects like project management, structure sustainability and construction management. The architects have been using BIM systems in their deisgns in more and more efficient ways. These methodologies have been drafting designs into different positions as possibble. The methodology has also been directly related to architectural design and movements, rather than being related only to the field of Architecture. Architectural designs have been varied by the progressive design and by the parametric design, which are developed through the graphical programming languages evolving alongside the BIM that is involved in our lives with today's technologies. Through the BIM, the collaboration among disciplinaries has been increasing and collaboration has been being conducted among all the stakeholders. Several issues that would occur during the construction period are prevented by precaution several confuse that might happen among the several design drawings of the building. This phenomenon have been supported by the cases that are given along the article. In this study, Building Information Modelling Systems; which are gathered in a new methodology that IT sciences earned to the field of Architecture; are investigated through the guidance of the literature sources which is supported by cases.

Keywords : Computer, Software, BIM, Methodology, Architecture, Parametric Design

1.GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi hemen hemen her sektörün uzun yıllardır süregelen uyguladıkları metodolojileri değiştirmiştir. Birçok alanda kullanılan yöntemler değişmiş ve teknolojinin getirdiği bu yeni değişimle birlikte her alan bu değişimlere entegre olmuştur.

1970'li yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar sayıları artmıştır. Bu artışa paralel olarak bilgisayar yazılımlarında da artış ve gelişme gözlenmiştir. Bu artışla birlikte yeni programla dilleri ve yeni programlama mantıkları gelişmiştir. Bu programlama dillerinin hepsi en son aşamada nesne tabanlı yazılımlara dönüşmüştür. Bu alanda çeşitli kurum ve kuruluşlarca yeni bilgisayar programları da piyasaya sürülmüştür (İlhan, 2015). Mimarlıkta ki yeni metodolojiler ve akımlar, gelişen bu yazılım ve bilgisayar teknolojisiyle birlikte gelişmiştir. Özellikle gelişen bu yazılım teknolojisiyle birlikte mimari tasarım anlamında hesaplamalı tasarım ve parametrik tasarım gibi kavramlar da gelişmiştir. Mimarlık alanındaki geliştirilen bu yeni akımlar gelecekteki oluşacak yeni mimari akımlara da öncülük edebilecektir (Bredella, 2019).

Gelişen teknolojik imkânlarla birlikte yapı sektörü ve bu sektörü de ki gerek projelendirme süreçleri gerekse yapım süreçlerinde ki proje paydaşlarının da çalışma metodolojilerinde değişimlere neden olmuştur. 2 boyutlu CAD ve 3 boyutlu çizim programları günümüz teknolojisiyle birlikte gelişmiş ve bu gelişmelerle paralel yeni metodolojiler ortaya çıkmıştır (Mathews, 2013). Teknolojiyle birlikte hayatımıza giren bu yeni metodun ismi Yapı Bilgi Modellemesidir. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) sayesinde mimarlar, mühendisler artık daha verimli çalışabildikleri gibi günümüzde inşa edilen kompleks yapılarda da hata paylarını en az düzeye çekebilmektedirler (Öktem & Ertuğral, 2017).

YBM tabanlı sistemler sadece verimlilik üzerine kurulmuş bir sistem değildir. YBM metodolojisi aynı zamanda günümüzdeki 2 boyutlu CAD ortamları ve 3 boyutlu ortamlarında modelleyemediğimiz yeni hesaplamalı tasarımlar ve parametrik tasarımları yapabilmemizi sağlarken bunların diğer proje paydaşları ile paylaşarak üretime geçmesi gibi diğer süreçlere de geçilebilmesi sağlanmıştır (Azhar, Khalfan, & Maqsood, 2012).

YBM metodolojisi sayesinde günümüzde projeler için yaşam döngüsü sistemi oluşturulmuştur. Bu yaşam döngüleri sadece projelendirme ya da sadece yapım aşamasıyla birlikte sınırlı kalmamış yapıların sürdürülebilirliği gibi kavramlar dahilinde projelerin hayata geçirilerek yürütülmesi de söz konusu olmuştur (Acs, 2015).

Bu çalışmada YBM metodolojisinin kapsamı ve örneklerle desteklenerek günümüz metodolojisinin açıklanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda gerekli kaynak taraması yapılarak çalışılmış olup YBM metodolojisinde günümüz mimar ve mühendislerinin nasıl çalışması gerektiği vurgulanmıştır (Yang & Liao, 2016).

2.BİLGİSAYAR ORTAMINDA TASARIMIN GELİŞİMİ

Gelişen teknoloji ile birlikte hayatımıza giren bilgisayar ve yazılımlar gün geçtikçe çok hızlı bir şekilde gelişmektedir. Gelişen bilgisayar bilimleri sayesinde oluşan imkanlar her alanı etkileyebildiği gibi mimarlığı da etkilemektedir.

İnsanlık tarihindeki geçmiş dönemlere ve uygarlıklara bakıldığında her dönemin koşulların ve teknolojik imkanları doğrultusunda mimari metodolojiler geliştirilmiştir. Örnek verilmek istenirse Mısır uygarlığında M.Ö. 2700’li yıllarda önemli bir yere sahip olan Baş Rahip İmhotep metodoloji anlamında döneminin teknolojisi ve bilgi birikimi ile oluşturulan tuğla fırınındaki tuğla diziliminin sıralanmasından yola çıkarak döneminin imkanları ile kurgusal bir düzen oluşturmuştur (Bauval ve vd. 2013). Oluşturulan bu düzen ile geçmişten günümüze kadar ulaşan mısır piramitlerinin fikri ortaya çıkmıştır. O dönemdeki teknolojinin günümüz kadar gelişmemiş olması ve bu kurgunun tamamının insan zihninde yapıldığı gerçeğini de ortaya koymaktadır. Verilen örnekteki gibi geliştirilen bu metodolojiler de dönemlerinin teknolojik imkânlarıyla birlikte paralel bir şekilde gelişmiştir. Bu paralellik sadece metodoloji olarak kalmayıp mimari tasarım akımlarını da etkilemiştir. Mimarlar kullandıkları metodoloji ile mimari tasarımlarını ortaya koydukları için metodolojinin doğrudan tasarım diline de etkisi vardır. Aslında bu paralellik birçok alanda bulunabilmektedir. Günümüzün metodolojisi olan teknolojik gelişmeler sayesinde sanat, bilim, mühendislik, mimarlık, sosyal ve beşeri bilimler gibi birçok alanda kullanılan metodolojiler de değişmiştir.

Bu değişim sadece metodolojilerle sınırlı kalmamıştır. Bu değişimlerle birlikte sosyal ve kent yaşamlarında da büyük değişimler görülmüştür. Dünyanın birçok ülkesinde insanlar köy gibi yerel yaşam alanlarından kentlere göç etmişler ve kentleşme hızı oldukça artmıştır. Bu kentleşmeyle birlikte birçok kent kontrolsüz bir şekilde büyümüştür. Bu kentleşme sorunlarından dolayı günümüzde gelinen son durumlar göz önüne alındığında, dünyanın birçok ülkesinde yeni akıllı kentlerin kurulması söz konusu olmaktadır. Gelişen bilgisayar ve yazılım teknolojisi göz önüne alındığında yeni yapılacak kentlerin ve yapıların yapay zekalar ile yönetilmesi ve insanların konut ya da yapı içerisindeki yaşamlarına göre yeni cevaplar verebilmesi yakın gelecekte beklenmektedir.

Gelişen bilgisayar bilimleri ve yazılımlar ile günümüzdeki mimarlık ve yapı bilimleri alanında devrim olarak nitelendirilen YBM tabanlı teknolojilerin tarihi 1970’li ve 1980’li yıllara kadar dayandığı düşünülse de ilk olarak 1962 yılında Douglas C. Englebart tarafından “Augmenting Human Intellect” isimli bir makalede bahsedilmektedir (Bergin, 2012). Ancak YBM sistemlerinin mantığı ve çalışma prensiplerinden biri olan hesaplamalı tasarım insanlık tarihinde kullanımı çok daha eskiye dayanmaktadır.

YBM metodolojisi ve çalışma sistematığı olarak hesaplamalı tasarım ve düzene sahip olmuştur. Hesaplamalı tasarım ve bilgi modellemesi günümüzde kullandığımız

teknolojilerle birlikte giderek geliştirilmiştir. Yapı henüz daha yapılmamışken bu projeyi sanal ortamda inşası ve kurgulanması, günümüz mimarlığı için önemli bir gelişme olarak görülse de geçmiş dönemlerde de mimarlar bu sistemlere benzer yardımcı sistemler kullanmışlardır.

YBM metodolojisinin altında yatan fikri ise Eastman (1999) *“bir binanın, yaşam döngüsü boyunca bütün ana aktivitelerim destekler nitelikte elektronik temsilini modelini geliştirmek”* tarafından açıklanmıştır. Aslında Eastman tarafından ortaya konan bu fikir yüzyıllardır mimarların kullandığı metodolojilerin teknolojiyle buluşması anlamına gelmektedir (Özener Ö. O., 2009). Ortaya koyulan bu metodoloji sadece tasarım süreçleri ile ilgili olmayacaktır. Günümüz koşulları gereği yapıların sürdürülebilirliğini de sağlanmasına yönelik bir metodoloji geliştirilmesi söz konusu olmuştur.

Teknolojinin tasarım metodolojisine girmesi ilk olarak 1963 yılında piyasaya çıkarılan Sketchpad programı ile olmuştur. 2 boyutlu çizim imkanı sağlayabilen bu program sayesinde tasarım ve mimarlık alanlarında 2 boyutlu çizim çağı başlamıştır. Bu program ve devamında gelecek 2 boyutlu çizim programları vektörel çizim imkanı sağlamıştır. CAD olarak adlandırılan bu bilgisayar destekli tasarım metodolojisi halen günümüzde kullanılmaktadır. Kağıt ve kalem yardımıyla yapılan çizimlerin bilgisayar üzerinde vektör ve noktalarla yapılabilmesini sağlamıştır (Mathews, 2013). Ancak teknoloji ve yapılan yapıların fonksiyonel ve fiziksel boyutlarının büyümesiyle birlikte bu programlarda yetersiz kalmıştır. Charles Eastman 2 boyutlu çizimlerin artık döneminin ve geleceğin gerekliliklerine göre yetersiz kaldığını öne sürerek 1977 yılında “İnteraktif Tasarım İçin Grafik Dili’ni geliştirerek günümüzün YBM sistemleri için ilk adımı atmıştır (Bergin, 2012). 1984 yılında Macaristan’da kurulan Graphisoft isimli şirket tarafından ilk 3 boyutlu çizim programı olan Archicad adlı program piyasaya çıkmıştır. Bu program sayesinde mimari tasarım unsurları kullanılarak 3 boyutlu şekilde tamamen çizim yapabilmesine olanak sağlanmıştır. Archicad, YBM tabanlı teknolojilere en yakın ve Eastman’ın ortaya koyduğu Grafik dili ilkelerine bağlı ilk program olmuştur (Ofluoğlu, 2009). Archicad programı ile YBM metodolojiye uygun şekilde çizim yapılıp bu metodoloji için ortaya konan tüm fikirlere esas bir program olmuştur (Martens, Peter, & Peter, 2007). Dr. Chuck Eastman, Georgia Teknik Üniversitesi’nde Mimarlık ve Bilgisayar Enstitüsü’nde YBM (BIM) terimini dünyaya sunmuştur (Zhao & Yang, 2012).

2 boyutlu ve 3 boyutlu bina modellemelerine uygun bu imkanlar ve teknoloji gelişmelerden hemen sonra YBM metodolojisini geliştirme ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için 4 boyutlu ve n-boyutlu çizim programlarının geliştirilmesine başlanmıştır. 1988 yılında Stanford şehrinde Paul Teicholz tarafından kurulan CIFE birimi bu araştırmaların merkezi olmuştur. Bu birim içerisinde birçok öğrenci ve araştırmacı YBM tabanlı teknolojiler üzerinde çalışmıştır. Bu birimde yapılan çalışmalar YBM tabanlı teknolojilerin ve metodolojilerin tabanını oluşturmuştur (Bergin, 2012). Bu birimde yapılan çalışmalardan hemen sonra 2 boyutlu ve 3 boyutlu çizim programları üzerinde çalışan ve geliştirdiği programlar ile geniş kitlelerce kullanılan Autodesk isimli firma YBM alanında yeni bir program geliştirip piyasaya sunmuştur. Geliştirilen

programın ismi Revit olup günümüzde YBM tabanlı programlar arasında sıkça kullanılan programlardan biri olmuş ve YBM metodolojisi yaygınlaşmıştır (I. Kıvırcık, 2016).

3. YBM KAPSAMI VE DİSİPLİNLERARASI İLİŞKİLER

3.1 Kapsamı

Günümüzde hızla artan teknolojik gelişmelerle birlikte, artan nüfusa karşı artan ihtiyaçlar, yapı malzemelerinin geliştirilmesi ve artan inşaat faaliyetleri ile birlikte ekonomik rekabet faktörleri göz önüne alınarak inşaat sektörü hızla büyümektedir ve sektörün ihtiyaçları da giderek artmaktadır. Bu ihtiyaçlara yönelik olarak proje paydaşlarının da sorumlulukları artmaktadır. YBM tabanlı teknolojiler ise proje paydaşlarının omuzlarına binen bu yükün hafifletilmesi ve süreçlerin doğru yönetilebilmesini sağlamıştır. YBM, projedeki yapı unsurlarını, yapı malzemelerini, çevresel ve fiziksel faktörleri gibi birçok faktörleri göz önüne alarak projelerin tasarımı, yapım süreçleri ve sürdürülebilirliği gibi kullanıcılara çeşitli bilgiler verecektir. YBM aynı zamanda mimari tasarım sürecinde aktif olarak kullanılarak hesaplamalı tasarım ve parametrik tasarım gibi argümanlarında rahatlıkla kullanılabilmesine olanak sağlamıştır. Proje için çevrenin ve oluşturulması planlanan yapı kütesine dair hesaplamalar yaparak çeşitli bilgiler sunacaktır (Kaçmaz, 2019).

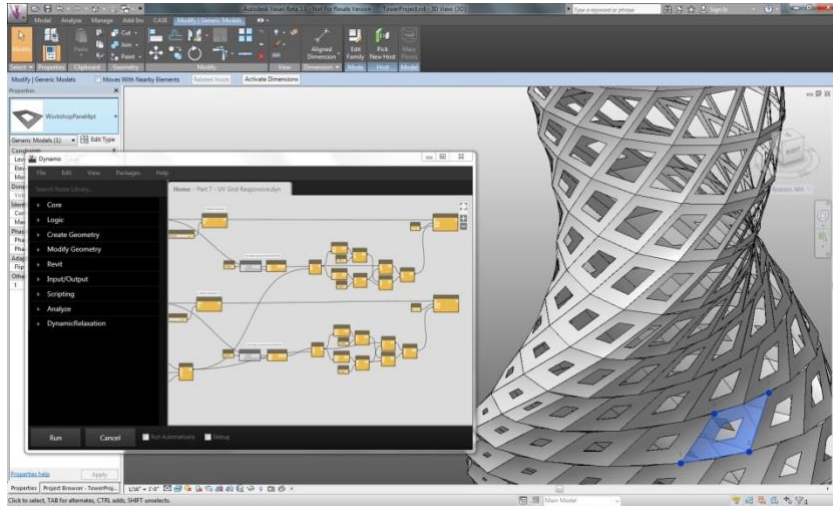
YBM tabanlı programlardan alınacak tüm bu bilgilerin ışığında projenin yapım ve yapım sonrası işletme maliyetleri hakkında alınan bilgiler ile ekonomik rekabet anlamında proje paydaşlarına gerekli duydukları bilgiler verilerek projenin ticari anlamda başarılı olması sağlanabilecektir (Karagöz, 2019).

YBM metodolojisi günümüz koşullarına göre değerlendirildiğinde tasarım ve inşa süreçleri için uygun bir metodoloji olarak görülmektedir. YBM sayesinde ortak bir amaç uğruna birçok kesimden insanlar toplanarak YBM'nin geliştirilmesi konusunda çalışmaktadır. Akademisyenler, öğrenciler, mimarlar, yazılım şirketleri gibi birçok alanda uzman kişiler günümüzde YBM tabanlı teknolojilerin geliştirilmesi için çaba göstermektedir. YBM metodolojisinin ortaya koyduğu tüm parametrelerle birlikte yapılan bütüncül tasarımlar, 3 boyutlu ya da 2 boyutlu tasarımlardan ayrılmaktadır. Diğer proje paydaşları ile birlikte projenin yaşam döngüsüne bağlı kalınarak 3 boyutlu ve 2 boyutlu çizimlerle birlikte modelleme ve tasarım imkanı oluşturulmaktadır (Tsai, Mom, & Hsieh, 2014). YBM metodolojisi tanımlanacak olursa; günümüzde insanların ortaya koydukları projelerin tasarımı, yapımı, maliyeti, işletimi, sürdürülebilirliği, bakımı ve güvenliği gibi birçok boyutta bilgilerin projeye sanal ortamda aktarımı ve gelecekte eklenecek birçok parametreye entegre olabileceği gibi bu süreçlerden oluşacak verilerin en iyi şekilde yapıyla birlikte modellenerek dijital olarak bizlere sunabilen günümüzün mimarlık metodolojilerinden biridir (Barlish & Sullivan, 2012).

3.1.1 Görsel Programlama Dilleri

YBM metodolojisinin yaygınlaşp kullanılmasıyla birlikte projelendirme metodolojisine yeni bir üye katılmıştır. Daha karışık formlar ya da çoklu formlar üzerinden daha basit komutlarla tasarım yapmak 2 boyutlu ya da 3 boyutlu çizim programlarında çok daha zordu. Bu programlarda hesaplamalı tasarım ya da parametrik tasarım düzeninde bir tasarım yapmak sadece bu programı bilmekle kalmayıp bu programlar üzerinden programla dillerini kullanarak script yazabilmek gerekiydi. Ancak yazılması planlanan bu scriptler çok uzun ve ciddi derecede programlama bilgisi gerektirmekteydi (Aranda-Mena, 2017). Bu durum mimarlar, tasarımcılar ve diğer proje paydaşları için kullanılabilir bir durum değildi.

YBM metodolojisi sayesinde kullanabildiğimiz görsel programlama dilleri sayesinde birçok sorun ortadan kalkmaktadır. Bir yazılımcının yapacağı karmaşıklıkta kodları tamamen hazır görsel dizinler kullanılarak çizim unsurlarına verilmek istenen komutlar kolayca verilebilmektedir. Kullanıcıların ya da yazılım firmalarının ürettiği görsel dizin kutularının birbirine görsel olarak bağlanarak ve her kutuda işlevine bağlı olarak verilecek rakamsal değerlerle birlikte kutucuklar program tarafından aynı bir yazılım scripti işlenir gibi teker teker okunmaktadır. Bu yapılan okumalar sırasında çizim unsurlarına atanan algoritmali görsel dizin kutularındaki komutlarda da eş zamanlı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu görsel programla platformlar ise arka yüzünde C## veya Pyhton gibi programlama dilleri kullanarak çalışmaktadır (Reinhardt & Mathews, 2017).



Şekil 1 : Revit Dynamo parametrik tasarım örneği

Kaynak : <https://dynamobim.org/dynamo-autumn-workshop-recap/>

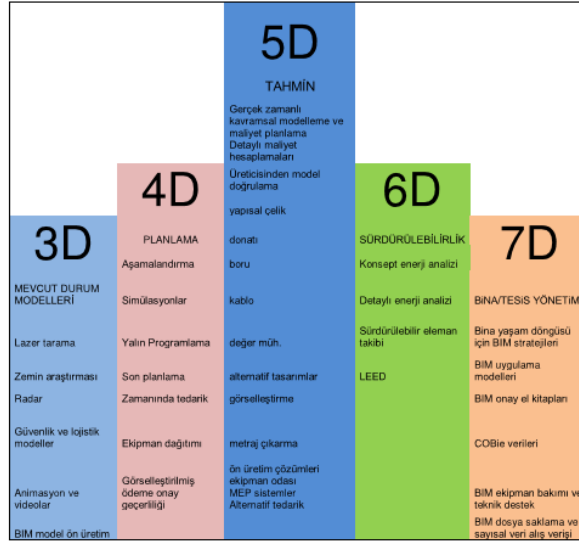
Görsel programla dilleri sayesinde günümüzde parametrik tasarım ya da hesaplamalı tasarımlar için herhangi bir yazılımcı ihtiyacı olmadan tasarımcılar tarafından kolaylıkla tasarım yapılabilmektedir. Görsel programlama dilleri sadece parametrik ya da hesaplamalı tasarım yapma amacıyla tasarlanmamıştır. Bu programlama dilleri sayesinde çok daha karmaşık ve geniş çaplı projelerde çizim unsurlarının gruplandırılması, metraj faaliyetleri, üretim ve bakım süreçlerine yardımcı

olabilecek data sağlanması gibi çeşitli amaçlarda kullanılarak proje paydaşlarına yardımcı olabilmektedir (Hammad, Sutrisna, Do, & Jonescu, 2018).

Grafiksel programlama dilleri ayrı platformlar üzerinden çalışmamaktadırlar. Bu programlama dilleri YBM tabanlı programlara entegre olarak çalışabilmektedir. Bu durumda çizim yapan proje paydaşları için ek olarak başka programlar arası geçiş yapmadan kolaylıkla programlama dilleri kullanılabilir ve YBM metodolojisi sayesinde oluşturulan bu ortak platformda rahatlıkla yeni tasarım ve çizim öğeleri kullanarak daha verimli çalışabilmektedirler. Oluşan tüm bu durumları toparlamak gerekirse YBM metodolojisi sayesinde hayatımıza giren görsel programlama dilleri bizlere yaptığımız tasarımları çok daha kolayca bilgisayar ortamına aktarabilmemizi sağlarken aynı zamanda yapılan çizim üzerinde ki kontrolümüzü sağlamlaştırdığını söyleyebiliriz.

3.1.2 YBM Boyutları

Gelişen bilgisayar bilimi ve yazılım teknolojisi ile birlikte geçmişte kullanılan 2 boyutlu CAD ortamları ve 3 boyutlu çizim ortamlarının yerini alan YBM metodolojisinde yapılan geliştirmeler sonucunda 3 boyutun üstünde belirli boyutlar tanımlanmıştır. Tanımlanan yeni bu boyutlarla ilgili projenin 2 boyutlu, 3 boyutlu yapılan modelleme ve çizimlerine ek olarak projenin yapım, sürdürülebilirlik, bakım-onarı, yaklaşık maliyet gibi çok çeşitli boyutlar kazandırılmıştır. Kazandırılan bu boyutlardan dolayı literatürde YBM programlarında belirli boyut sınıflandırmasına gidilmiştir. Tüm bu boyutlar literatürde “nBIM” olarak ifade edilmiştir. (Azhar ve vd, 2008; Erdik, 2018). 3D, 4D, 5D, 6D ve 7D boyutları YBM alanında üzerinde en çok durulan boyutlardır (Akkoyunlu, 2015). 4D boyutlu modellemeler yapının inşa süreçlerini iş akış şeması ve yapı yapım sırasında izlenecek yönergeleri içerir. 5D boyutu ise yapının yine 3D boyutundan faydalanarak projenin metraj ve projedeki fabrikasyon ürünlerin süreçleri hakkında bilgiler veren boyuttur. 6D boyutu projedeki yapının sürdürülebilir bir yapı olması enerji kimliği gibi yaklaşımlar ile yapının işletilmesinde enerji tasarrufu gibi çeşitli durumlara imkan verilmiştir. 7D boyutun da ise projenin yapım sonrası işletilmesi, projedeki mekanik ve elektronik ekipmanların bakımı ve konumları gibi çeşitli bilgi ve imkanlar sunarak havalimanı gibi çok büyük kompleks yapılar için büyük faydalar sağlamaktadır.



Şekil 3.6 : Çok boyutlu BIM (BIMTaskgroup).

Şekil 2: YBM Boyutları

Bu boyutlar sayesinde kompleks ve büyük yapılardan daha küçük yapılara kadar projelendirme, yapım aşaması ve yapım sonrası gibi bir projenin tüm yaşam döngüsü kapsayıcı şekilde ele alabilmemizi sağlayacaktır. Bu boyutlar sayesinde projeler bir bütün olarak tek bir platformda incelenebilecektir (Kamardeen, 2010). Bu faydaların hepsi günümüzde ve gelecekte ihtiyaç duyacağımız daha büyük ve karmaşık projelerde güvenilir bir disiplinler arası bir ilişki içerisinde daha verimli yapılar yapabilmemizi sağlayacaktır.

3.2 Disiplinler Arası İşbirliği

YBM sistemleri geliştirilmesiyle birlikte birçok yenilik gelmiştir. Ancak YBM ile gelen yenilikler sadece proje tasarımı ya da yapımı için değildir. YBM metodolojisi ile projenin paydaşları arasında veri akışı da hızlanmıştır. YBM metodolojisi sayesinde tüm proje paydaşları için ortak bir dil oluşturulmuştur. Bu ortak dil sayesinde her proje paydaşı projelendirme aşamasında bu ortak dili kullanarak projelendirme yapabilecektir. YBM tabanlı program platformları üzerinde yapılan statik, elektrik, mekanik, mimari gibi birçok proje üzerinde yapılan işlemleri tüm proje paydaşları tarafından görülerek projelendirme aşamalarında bir tesisat unsurları ya da yapı unsurları arasında olası bir çakışma durumu söz konusu olmayacaktır.

Dünyanın birçok ülkesinde YBM için gerekli standartlar ve mevzuatlar geliştirilmiştir (Alkawi, 2016). Buildingsmart adı altında yapılan bu mevzuata göre proje paydaşları arasında oluşturulan bu platformun ve ortak projelendirme dilinin faydaları şu şekilde sıralanabilir;

- Proje paydaşlarının duydukları gereksinimler için gerekli cevabı hızlı ve güvenilir bir platformda verilebilmesi

- Denetleyici kurum ve işverenler tarafından projede ki yapı unsurlarını ve yapı malzemeleri gibi çeşitli bilgilere ulaşıp istenilen standartlar ya da istenilen ihtiyaçlara göre sürekli denetlenebiliyor olması
- Projenin yaşam döngüsü boyunca gerekli veri akışının sağlanarak güvenilir bir bilgi kaynağı oluşu ve proje iyileştirmelerinin yapılabilirliği
- Projenin tasarım ve inşa sürecinde en uygun yazılımlar kullanılarak verim kaybının azaltılması
- Proje tasarımında pazar kalitesini ve rekabetçiliği artırması
- Projeden elde edilecek bilgilerin tedarikçiler tarafından gerekli karar ve ilkeler doğrultusunda kullanılabilir olması (Akkoyunlu, 2015; GSA 2007)

Disiplinler arası ortak çalışmalar yapılabilmesi için oluşturulan bu ortak platform sayesinde tüm proje paydaşları arasında veriler alışverişi ve sürdürülebilir bir proje süreci oluşturulmuştur (Akkoyunlu, 2015; Eastman ve vd, 2011). Proje üzerinden mimari proje için yapılan 3 boyutlu model aynı zamanda inşaat mühendisi, elektrik mühendisi, makine mühendisi ve diğer tüm proje paydaşları tarafından kullanılabilir. Böylece yapılacak tek bir model üzerinden mimari, statik, elektrik ve mekanik gibi tüm sistemler proje yerinde inşa edileceği gibi tüm standartlara uygun bir şekilde disiplininde uzman kişiler tarafından modellenilebilir. Yapılacak bu ortak model ile paydaşlar arasında gerekli tesisat, statik gibi olası çakışmalarında önüne geçilerek proje tadilatları ile yapı uygun bir şekilde modellenip inşa edilebilir hale gelecektir. Disiplinler arası yapılacak bu ortak çalışma ile projelendirme ve tasarım aşamasında ortak bir dil oluşturulmuş olacaktır (Akkoyunlu,2015).

Proje içerisindeki farklı disiplinlerdeki paydaşlar tarafından yapılacak imalat, metraj, planlama süreçlerinin hepsi YBM sistemi ile kontrol altında ve hızlı bir şekilde yapılabilecektir. Yapılacak gerekli metraj gibi hesaplardaki hata payları en az düzeye indirilerek disiplinler arası oluşturulan bu ortak platformdaki verimi yükseltecektir.

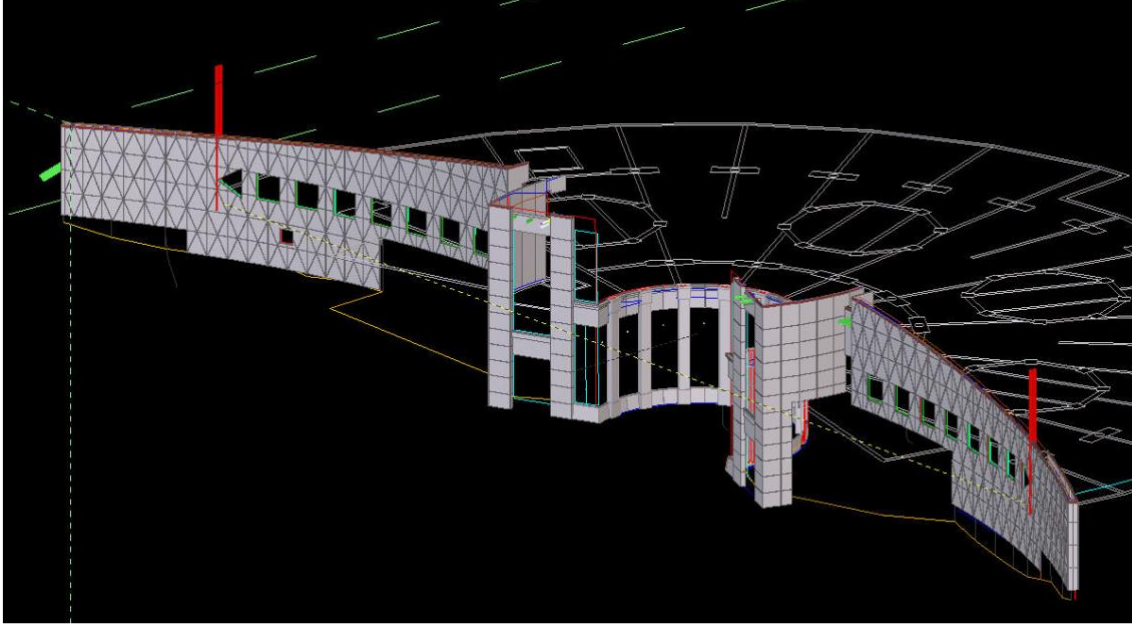
Projelendirme ve tasarım aşamasında disiplinler arası bir çalışma ile modellenen proje inşa sürecinde de kullanılabilir. İnşa sahasındaki farklı disiplinlerdeki paydaşlar tarafından proje rahatlıkla incelenip herhangi bir hata ya da teknik aksaklığa mahal vermeden inşa süreci devam ettirilebilecektir.

4. Dünyada YBM ve Örnek Projeler

4.1 Blackfoot Tarihi Parkı Projesi

Blackfoot Tarihi Parkı, Kanada'nın Batı Kanada eyaletlerinden biri olan Alberta eyaletinde yaşayana yerli halk olan Blackfoot olarak adlandırılan halkın kültürel ve tarihsel öğelerini içeren turistik bir bölgedir. Yapının tasarım aşamasında hem bu kavmin kültürel hem de tarihsel öğeleri taşınması planlanmıştı. Cephesinde kavmin kültürel öğeleri yer alacak olup iç mekan çözümleri de kavmin yaşadıkları çadır tipolojisine benzer şekilde tasarımı yapıldı (Kaner, Sacks, Kassian, & Quitt, 2008).

Yapının cephesinde hem dikey hem de yatayda paneller bulunurken kavisli duvarlarla tasarıma kültürel etkiler kazandırılmıştı.



Şekil 3 : *Blackfoot projesinin bilgisayar ortamında oluşturulan cephe modeli*

Kaynak : (Kaner et al., 2008)

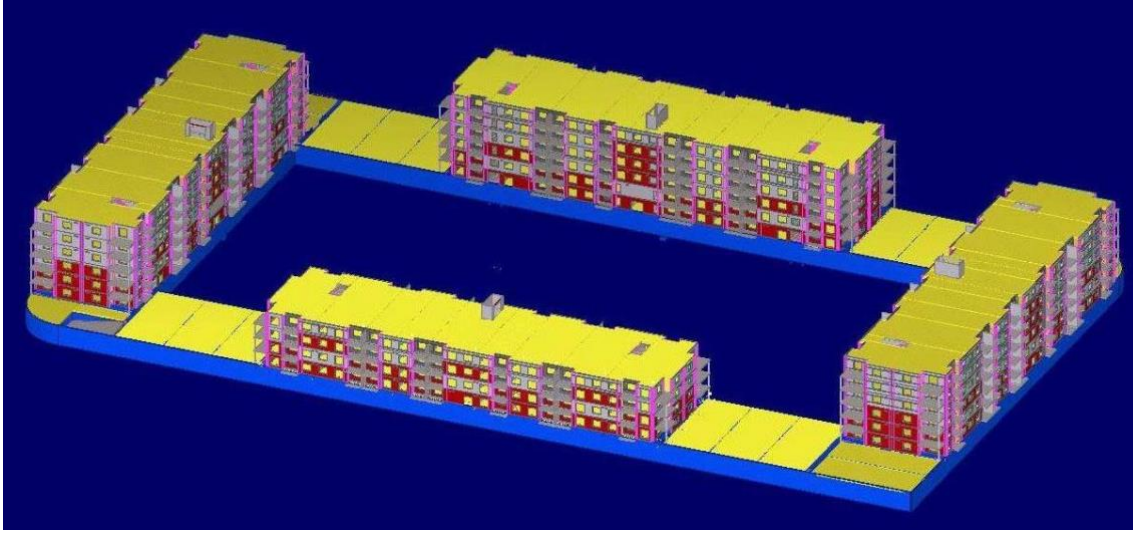
Cephede yapılacak panellerin betonarme ve çelik konstrüksiyon ile bütünleşmesi çok önemliydi. Yapının kütlesi ile cephesinin farklı olması istenen etkiyi bozacaktır.

Yapının tasarım aşaması 3 boyutlu programlar ve 2 boyutlu CAD ortamında başladı. Sonraki süreçlerde ise proje YBM ortamına aktarıldı. YBM ortamında çalışılması sırasında projenin yüklenici firması ve diğer paydaşlarla YBM ortamı üzerinden iletişime geçilerek projede kullanılacak yapı malzemesi ve yapı elemanlarıyla birlikte modellenmesi tamamlandı. Kavisli prekast modellemeleri için kullanılan YBM programının grafik programlama dili olan altyapısı kullanılmıştır. Ancak asansör ve diğer mekanik yapı parçalarının üretimi için ilgili firmalara gönderilmek üzere CAD ortamına aktarılarak gönderilmiştir.

YBM uzmanları tarafından proje paydaşlarından gelen CAD çizimler YBM programlarının içine entegre edilerek çizilmiş bu projede başarılı sonuçlar alınmıştır. Projelendirme süresi olarak projenin YBM kullanılmadan yapılması halinde dahi aynı sürede projelendirilmiş ve modellenmiştir. Ancak 2 boyutlu ya da 3 boyutlu ortamlarda modellenmesi halinde inşaat süreci ve projenin yaşam döngülerinde herhangi bir kazanç sağlanamayacağı gibi mekanik proje, statik proje, elektrik projesi gibi yapı hakkındaki birçok projenin çakışması sağlanarak projelendirme sürecindeki oluşabilecek hatalar en aza indirilmiştir (Kaner et al., 2008).

4.2 Eagle Ridge Projesi

Proje 22 konut yapısından oluşan kompleks bir site projesidir. 4 katlı ve 6 katlı yapılardan oluşmaktadır. Yapıların bodrum katlarında bloklar arası bodrum katları mevcuttur. Ancak yapıların buldukları alanlara göre bodrum katları ve zemin katlarında farklılıklar bulunmaktadır. Yapıların tamamı betonarme olarak tasarlanmıştır. Yapıların cephelerinde çok katmanlı cephe kaplamaları bulunmaktadır.



Şekil 4 : *Eagle Ridge Proje modellemesinin 4 katlı olan blokların görünümü*

Kaynak : (Kaner et al., 2008)

Yüklenici firma zamansal olarak çok kısa sürede projede imalata geçmek istemiştir. Bu şartlar altında mimari proje ofisi projeye direkt olarak YBM programlarında modellemeye ve tasarım aşamalarına başlamıştır. Projenin cephelerinde kullanılacak katmanlı cephe sistemleri ve taşıyıcılar diğer proje paydaşlarından gelen bilgiler doğrultusunda modellenmiştir.

Projenin YBM ortamında modellenmesinde 2 YBM uzmanı tarafından yönetilmiştir. Proje başlangıcında proje paydaşları ile yapılan toplantı sonucunda çıkan kararlar birer dosya haline getirilip proje öncesinde bir YBM protokolü hazırlanarak başlanmıştır.

Proje paydaşları ile yapılan toplantılar sonucunda YBM programları üzerinde buluşulan ortak platform sayesinde tasarım aşaması çok hızlı ilerlemiştir. 2 boyutlu ve 3 boyutlu programlar kullanılarak çizim sürecinde harcanacak süreden daha kısa sürede projelendirme yapılmıştır.

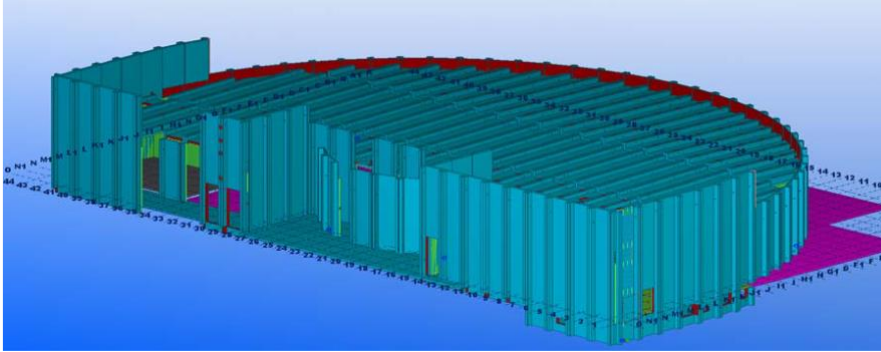
Projenin ilk etapta yapılan yapılarda görülen bazı aksaklıklar ve yüklenici firmalar tarafından istenen bazı revizeler olmuştur. Projede ciddi bir tadilat yükü oluşturmuştur. Çok katlı yapılarda yapılacak tadilat normal şartlarda 270 saat sürmesi beklenirken 203 saat gibi sürelerde sürmüştür.

Projenin yapım sürecinde CAD ortamında çizilen bazı montaj detayları ilk etapta YBM programlarına aktarılmamıştı. Ancak ilerleyen zamanlarda bu montaj detayları YBM programlarına aktarılmıştır ve diğer projelerle çakışmaları kontrol edilmiştir.

Proje 5D boyutuna kadar modellenmiştir. Bu yapılan modelleme sayesinde yapının projelendirme, metraj ve yapım sürecindeki fabrikasyon üretimler paralel şekilde yürütülerek yapım programına göre hiçbir sıkıntı yaşanmadan yapılmıştır. Çakışan noktalarda revizeler yapılarak projenin yapım sürecinin hatasız gitmesi sağlanmıştır. Projede olası çakışmalar YBM programları sayesinde giderilmiş olup yapım aşamasında birçok blokta nerdeyse hiç hatasız bir şekilde yapılabilmektedir (Kaner et al., 2008).

4.3 İsrail’de Prefabrik Sığınak Projesi

İsrail’in güney bölgesinde yapılan bu sığınak hava saldırılarına karşı çevre halkı korumak amacıyla yapılan kamusal bir yapıdır. Proje tamamen toprak altında ve 1500 m² alan kaplamaktadır. Yapı içerisinde sadece sığınak alanı değil teknik hacimlerde bulunmaktadır. Yapılan sığınağın kütlesi alışıldık bir kütle olarak tasarlanmamıştır. Sığınak kütlesi yarı dairesel bir form olarak tasarlanmıştır.



Şekil 5 : Prefabrik sığınak projesinin YBM ortamında ki modeli

Kaynak : (Kaner et al., 2008)

Yarı dairesel cephesinde kullanılması planlanan U profillerin hepsinin ölçüsü ve profili birbirinden farklı olacağı görülmüştür. Bu nedenle ilgili tasarımcılar ilk etapta CAD ortamında yaptıkları çizimler daha sonra YBM ortamına aktarılmıştır. Proje paydaşları ile yapılan toplantılar sonucunda proje başlanmadan önce belirli kurallar belirlendi. Proje 2 aşamada modellenecekti. İlk etapta dikey paneller ve profiller modellenecek 2. Etapta ise yatay paneller ve profiller modellenecekti.

İlk etapta yapılan modellemede çizim teknikerleri her panel başına yaklaşık olarak 16 saat harcadıkları görülmüştür. İlk etapta modelleme sırasında çok fazla hata yapılmış model arazi ile olan ilişkisi kurulamamış ve programlarla ilgili teknik sıkıntılar yaşanmıştır. Ancak 2. Etapta çizim teknikerlerinin artık tecrübe kazanmasıyla birlikte

her panel çizimi yaklaşık olarak 2.5 saat sürmüştür. Bu zamansal kazanım çalışma verimliliğini artıran çok önemli bir olay olmuştur.

Projenin YBM ortamında yapılması proje paydaşları tarafından %600'lük verim artışı yaşanmıştır. Yaşanan bu verim artışı proje paydaşları tarafından beklenmedik bir durum olmuştur. Projenin mimari tasarım ve uygulama kısmını üstlenen firma ilk etapta dil farklılığı ve vasıflı eleman eksikliğinden ötürü YBM konusunda bazı çekinceleri varken bu proje sonrasında YBM sistemlerine olan güvenleri artmıştır. YBM yazılımları CAD yazılımlarına göre çok daha karmaşık gibi görülse de elde edilecek verimlilik kıyaslanamayacak kadar çoktur (Kaner et al., 2008). Projede 2D, 3D, 4D, 5D, 7D gibi boyutlar kullanılarak projenin yapım sonrasında sürdürülebilirliği de sağlanmıştır.

5.SONUÇ

İnsanoğlu yerleşik hayata geçtiğinden beri mimarlık için çok çeşitli metodolojiler uygulamıştır. Yüzyıllar boyunca mimarlar geliştirilen teknolojiler doğrultusunda mimari tasarımlarına cevap verebilecek birer metodoloji uygulamaya çalışmışlardır.

Günümüzün teknolojik imkanları 1900'lu yılların başından beri geliştirilen teknolojilerin ve tekniklerin sonucunda oluşmuştur. Teknolojik imkanlar hala gelişmekte ve gelişmeye açıktır. Ancak bilgisayar bilimi ile gelinen noktaya bakıldığında sadece mimarlık değil birçok alanda ki metodolojilerin değiştiği görülebilmektedir. Bu değişimden kentlerimizde etkilenmekte olup sosyal yaşamlarımızı da değiştirmektedir. Mekan, zaman ve hızda olan bu tepki insan ihtiyaçlarıyla birlikte mimarlığında entegre olması gerekmektedir. Bu ihtiyaçlara YBM metodolojisi ile çözüm üretebileceği görülmektedir. YBM metodolojisi günümüz teknolojisi ile geliştirilmiş ve gelecekte de bu metodolojinin giderek gelişeceği görülmektedir.

YBM metodolojisinde ki programlar, günümüzdeki 2 boyutlu CAD programlarından ve 3 boyutlu programlardan farklı olarak n-boyutlu çalışma prensibine sahiptir. N-boyutlu çalışma prensibi sayesinde YBM metodolojisi kullanılarak projeler için yaşam döngüsü adı verilen süreçler oluşturulmuştur. Oluşan bu yaşam döngüsü süreçlerinde projeler için sadece çizim ve tasarım aşamalarında YBM programları kullanılmaz. YBM metodolojisi ile oluşturulan bu yaşam döngüsü süreçleri ile projenin yapım, maliyet, sürdürülebilirlik kavramları gibi çok yönlü bir şekilde ele alınabilmesi mümkün olmaktadır. Örneğin havalimanları, hastaneler gibi çok fonksiyonlu yapılarda kullanılan bu metodoloji sayesinde yapıların bakım, yapım, sürdürülebilirliği gibi mekanizmalar tamamen bilgisayar ortamına aktarılarak en az hata düzeyinde bu yapıların işlevlerinin ve bina programlarının sürdürülebilirliği mümkün kılınmıştır.

YBM içindeki programlar ile yapılan araştırmalar sayesinde, geliştirilen grafik programlama dilleri, hesaplamalı tasarım ya da parametrik tasarım gibi günümüzün tasarım kavramlarının ortaya çıkışını sağlamıştır. Geliştirilen bu grafiksel programlama dilleri, YBM metodolojisindeki programlar ile de entegre bir şekilde çalışabilmektedir. Grafik programlama dilleri sayesinde yapılan dinamik modeller aynı zamanda YBM

programları ile entegre olarak kullanılmasıyla elde edilecek veriler diğer proje paydaşlarıyla paylaşılabilmesine olanak vermektedir. Grafik programlama dilleri kullanılarak yapılacak çalışmalarda, YBM programlarının ara yüzlerinin kullanılması ve programlamada çalıştırılacak kodların grafiksel olarak gösterimi sayesinde herhangi bir yazılımcı desteği gerektirmeksizin kullanımı kolaylaştırdığı bilinmektedir.

Mimarlık eğitiminin YBM standartlarında yapılması, geleceğin mimarlarını doğrudan bu sisteme entegre edebilecektir. Çünkü YBM metodolojisi gelişerek sürekli yenilenmektedir. Gelecek dönemlerde ki YBM metodolojisindeki programlar ile birlikte geliştirilen yapay zeka yazılımlar ile projelerde karşılaşılan birçok zorlayıcı ve karmaşık durumu basite indirgeyerek çözüme kavuşturabilecektir. Bu durumda mimarlık ortamının da yapay zeka kavramları ile tekrar ele alınmasını gerektirecektir.

Türkiye’de bulunan mimarlık okullarındaki eğitim ve öğretim programları incelendiğinde YBM metodolojisi konusunda yetkin bir şekilde akademik çalışmaların yapılmadığı ve metodoloji konusundaki eğitimlerin yeterli düzeyde olmadıkları görülmüştür. Türkiye’de ki bilinen mimarlık okullarına bakıldığında YBM tabanlı programların (Archicad, Revit, Allplan, Bentley) mimarlık eğitim programlarına girdikleri gözlemlenmektedir. Ancak bu okullarda yapılan eğitim çalışmaları sadece YBM metodolojisindeki programların kullanımı üzerine yapılmaktadır. YBM metodolojisi tabanlı çözümler ve disiplinler arası çalışmalara yönelik eğitimlerin olmadığı gözlemlenmektedir. Bu mimarlık okullarındaki YBM tabanlı eğitimlerin, mevcut öğrenci profilleri ele alınarak daha kapsamlı bir şekilde eğitim programlarına dahil edilmesi gerekmektedir. Günümüzde mimarlık okullarındaki eğitim ile YBM metodolojisinin arasındaki kopukluğun sonucu olarak günümüzdeki ticari faaliyetlerde gözlemlenmektedir. Gelişmiş ülkelerde yapılan inşaat alanındaki ticari faaliyetlerde de görülebileceği gibi YBM tabanlı programların tüm proje paydaşları tarafından en üst seviyede kullanıldığı görülmektedir. YBM tabanlı programlar kullanılarak yapılan bu projelendirme faaliyetler sırasında proje paydaşları hem işgücünden kazanç elde etmektedirler hem de zamandan kazanabilmektedirler. Günümüzde ki birçok gelişmiş ülke, YBM metodolojisi tabanlı programların kullanımını zorunlu kılmışlardır. Örneğin Amerika, İngiltere, Finlandiya, Danimarka gibi birçok ülkede YBM üzerine resmi yönergeler çıkarılmış olup kullanımı zorunlu kılınmıştır. Ancak ülkemizde henüz YBM metodolojisine uygun bir yönerge hazırlanmamıştır. Ülkemizdeki mevcut ticari faaliyetlere bakıldığında proje paydaşlarının çoğunun YBM tabanlı programlar kullanmadığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda proje paydaşları tarafından çizilen projeler halen CAD tabanlı 2 boyutlu çizim programlarında hazırlanmaktadır. Hazırlanan bu projelerin yapım aşamasında ise birçok problem ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde YBM metodolojisi kullanımını yaygınlaştırmak ve bu metodoloji kullanılarak başarılı sonuçlar elde edebilmek için öncelikli olarak proje paydaşlarının akademik eğitimleri süresince bu metodolojiyle birlikte bir eğitim verilmesi gerekmektedir. Ülkemizdeki mimarlık okullarında halen öğrenciler I-tipi profillerine göre eğitim verildiği gözlemlenmektedir. I-tipi profil eğitiminin amacı kişinin tek bir meslek dalında uzmanlaşmasını sağlamaktadır. Ancak YBM metodolojisinin içerdiği

prensiplerden dolayı yapılacak eğitim programlarında I-tipi profil eğitimi uygun olmayacaktır. YBM metodolojisi doğrultusunda oluşturulacak kapsamlı bir eğitim programı için I-tipi profil eğitiminin yerine, T-tipi profilde eğitim daha uygun olacaktır. T-tipi öğrenciler diğer disiplinler ile daha fazla işbirliği yapabilmektedirler (Barile, Saviano, & Simone, 2015) . T-tipi eğitim, kişinin sadece tek bir meslek dalında uzmanlaşmasını değil bu meslek dalıyla ortak bir şekilde çalışan tüm meslek dallarından da temel bilgiler öğrenmesini sağlayarak, kişinin disiplinler arası ortak bir çalışma yapabilmesi sağlanabilecektir. Temelleri disiplinler arası ortak bir çalışma ağına dayanan YBM metodolojisi için T-tipi eğitim profilinin daha uygun bir eğitim modeli olduğu görülmektedir.

Yapılan bu çalışmada anlaşılacağı gibi YBM konusundaki akademik çalışmalarının son yıllarda başladığı görülmüştür. Yapılan çalışmalara bakıldığından yurtdışında ki akademik çalışmalara göre henüz erken bir aşamada olduğu söylenebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Acs, F. (2015). Building Information Modelling Impacts and Opportunities for Land surveying and the Cadastre. *EPrints Utas*, (October). Retrieved from <http://eprints.utas.edu.au/23180/>
- Akkoyunlu, T. (2015), *Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 184.
- Alkawı, G. (2016). *Mimarlık Eğitiminde BIM Tabanlı Disiplinlerarası İşbirliği Önerisi*.
- Aranda-Mena, G. (2017). Bim Integration in Architecture Studios: the G-LAB Milano. *AUBEA 2017: Australasian Universities Building Education Association Conference 2017*, (July 2016), 527–539.
- Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(4), 15–28. <https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032>
- Barile, S., Saviano, M., & Simone, C. (2015). Service economy, knowledge, and the need for T-shaped innovators. *World Wide Web*, 18(4), 1177–1197. <https://doi.org/10.1007/s11280-014-0305-1>
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM — A case study approach. *Automation in Construction*, 24, 149–159. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2012.02.008>
- Bergin, M. . (2012). *A Brief History of BIM*. Retrieved from <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>

Inceoğlu, M. & İnan, B. (2020). Bilgisayar Destekli Tasarımın Gelişimi: Yeni Bir Mimari Metodoloji Olarak YBM. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST)*, 3 (1): 47-65.

- Bredella, N. (2019). Simulation and Architecture: Mapping Building Information Modeling. *NTM International Journal of History and Ethics of Natural Sciences, Technology and Medicine*, 27(4), 419–441. <https://doi.org/10.1007/s00048-019-00224-9>
- Hammad, A. W. A., Sutrisna, M., Do, K., & Jonescu, E. E. (2018). *Design Economics Through Use of BIM as a Decision Support System*. (October).
- I. Kıvırcık. (2016). AN INVESTIGATION INTO THE BUILDING INFORMATION MODELING APPLICATIONS IN THE CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT (Vol. 21). <https://doi.org/10.1044/leader.ppl.21052016.20>
- Ilhan, B. (2015). BIM and Sustainable Construction Integration: An IFC-Based Model. *MEGARON / Yıldız Technical University, Faculty of Architecture E-Journal*, (March). <https://doi.org/10.5505/megaron.2015.09719>
- Kaçmaz, Ş. (2019). Parametrik Tasarım ve BIM. *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(1), 3–9. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ybm/issue/44342/477698>
- Kaner, I., Sacks, R., Kassian, W., & Quitt, T. (2008). Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 13(June), 303–323.
- Karagöz, M. E. (2019). BIM ile Yapı Yaklaşık Maliyeti Hesaplama Önerisi. *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(1), 39–45. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ybm/issue/44342/516259>
- Martens, B., Peter, H., & Peter, H. (2007). *ArchiCAD: best practice : the Virtual Building revealed*. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=4oUeAQAAIAAJ>
- Mathews, M. (2013). BIM collaboration in student architectural technologist learning. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 11(2), 190–206. <https://doi.org/10.1108/JEDT-10-2011-0067>
- Ofluoğlu, S. (2009). *Yeni Nesil Mimari Yazılımlar*.
- Öktem, S., & Ertuğral, O. (2017). *Örneklerle Bim Ve Kullanımı*.
- Reinhardt, J., & Mathews, M. (2017). The Automation of BIM for Compliance Checking: a Visual Programming Approach. *CITA BIM Gathering 2017*. <https://doi.org/10.21427/D7KJ68>
- Tsai, M. H., Mom, M., & Hsieh, S. H. (2014). Developing critical success factors for the assessment of BIM technology adoption: Part I. Methodology and survey. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A/Chung-Kuo Kung Ch'eng Hsueh K'an*, 37(7), 845–858. <https://doi.org/10.1080/02533839.2014.888811>

İnceoğlu, M. & İnan, B. (2020). Bilgisayar Destekli Tasarımın Gelişimi: Yeni Bir Mimari Metodoloji Olarak YBM. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST)*, 3 (1): 47-65.

Yang, T., & Liao, L. (2016). Research on Building Information Model (BIM) Technology. *World Construction*, 5, 1. <https://doi.org/10.18686/wcj.v5i1.1>

Zhao, L., & Yang, W. (2012). BIM technology of computer aided architectural design and green architecture design. *Proceedings - 2012 IEEE Symposium on Robotics and Applications, ISRA 2012*, 797–800. <https://doi.org/10.1109/ISRA.2012.6219311>

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 3, Issue: 1, p. 66-91, 2020

BİNA TASARIMINDA KARAR DESTEĞİ OLARAK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK DEĞERLENDİRME ARAÇLARI

SUSTAINABILITY ASSESSMENT TOOLS AS DECISION SUPPORT IN BUILDING
DESIGN

Gülşah DOĞAN

(Received 24.01.2020 Accepted 15.02.2020) - Review Article

Özet

Günümüzde yapıların olumsuz çevresel etkilerinin kabul edilmesiyle birlikte bina tasarımında çevresel performans önemli bir kriter haline gelmiştir. Bir yapının çevresel performansından beklenen, toplam yapı kalitesi ve yaşam kalitesi maksimize edilirken, yapı yapma süreçleri ile ilişkili kaynak tüketiminin ve bu tüketimin insan ve çevre üzerinde yaratacağı etkilerin minimize edilmesidir. Bugün gelinen noktada bir binanın çevresel performansının sürdürülebilir olabilmesi için, tasarım sürecinde çevre ve insan açısından en doğru tasarım kararlarının en uygun aşamada verilmesi ve bu kararların ilgili sürdürülebilirlik hedefleri temelinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, Bina Sürdürülebilirlik Değerlendirme Araçları (Building Sustainability Assessment Tools-BSAT) yapının çevresel performansının nitel ve/veya nicel olarak belirlenmesinde ve ne kadar sürdürülebilir olduğunun ortaya konulmasında kullanılan araçlar olarak önem kazanmıştır. Söz konusu araçlar ayrıca, sürdürülebilir tasarım sürecinde, tasarım kararlarının oluşturulmasında ve bu kararların sonuçlarının değerlendirilmesinde, böylelikle sürdürülebilir tasarım alternatifleri arasında optimum olanın seçilmesi yönünde ciddi katkılar sağlayabilmektedir. Bu araştırma, bina sürdürülebilirlik değerlendirmesi için kullanılan araçların bina tasarımında karar desteği olarak kullanılabilmesi potansiyelini tartışmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla güncel araştırma çalışmaları yapılarak karar desteği sağlayabilecek araçların kapsamı ve özellikleri temelinde sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının bina tasarım sürecindeki rolleri değerlendirilmiştir. Sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının kullanımlarına ilişkin potansiyel faydalarının ortaya konulması ve

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü Misafir
Öğretim Elemanı, gulsahdogan@eskisehir.edu.tr

sürdürülebilir mimari tasarım sürecindeki rollerinin açık bir şekilde tanımlanması, sürdürülebilirlik amacına ulaşmak konusunda tasarımcıları desteklemesi ve sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının karar desteği oluşturacak şekilde mimari tasarım sürecine entegre edilmesi yönüyle önemlidir. Daha yaşanabilir bir yapılı çevre oluşturmak üzere mimari tasarım sürecine veri desteği sağlayan sürdürülebilirlik değerlendirmeleri bu şekilde sürdürülebilir mimari tasarım düşüncesini destekleyen önemli araçlar haline gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Tasarım, Çevresel Performans, Karar Desteği, Sürdürülebilirlik Değerlendirme Araçları

Abstract

Nowadays environmental performance has become an important criterion in building design with the acknowledgement of negative environmental impacts of buildings. What is expected from the environmental performance of a building is that the resource consumption associated with building processes and the effects of this consumption on people and the environment are minimized, while the total building quality and life quality are maximized. At the point reached today, in order for the environmental performance of a building to be sustainable, it is necessary to make the most appropriate design decisions in the design process in terms of environment and human and to evaluate these decisions on the basis of relevant sustainability targets. In this context, Building Sustainability Assessment Tools (BSAT) have gained importance as the tools have been used in determining the environmental performance of the building qualitatively and/or quantitatively and in establishing how sustainable they are. These tools can also make serious contributions to the sustainable design process in making design decisions and in evaluating the results of these decisions, thereby in selecting the optimum choice among the sustainable design alternatives. This research aims to discuss the potential of using the tools used for building sustainability assessment as decision support in building design. Motivated by this purpose, the roles of sustainability assessment tools in the building design process were evaluated based on the scope and features of those tools that can provide decision support, by making up-to-date research studies. Revealing the promised benefits of the use of sustainability assessment tools and to clearly defining their roles in the sustainable architectural design process is important from the perspectives of supporting the designers in achieving the goal of sustainability and integrating the sustainability assessment tools into the architectural design process for providing decision support. In order to create a more livable built environment, sustainability assessments, which provide data base to the architectural design process have become important tools that support sustainable architectural design thinking.

Keywords: Sustainable Design, Environmental Performance, Decision Support, Sustainability Assessment Tools

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış, teknolojik gelişmeler ve kentleşme gibi faktörlere paralel olarak her geçen gün artan insan ihtiyaçlarının karşılanması sürecinde, yine insan tarafından belirlenmiş olan üretim ve tüketim biçimlerinin çevre üzerindeki olası etkiler konusunda dünyayı sadece bir kaynak olarak görmesi sebebiyle bugün artık çok ciddi çevresel sorunlarla yüz yüze bulunmaktayız. Dünyanın sahip olduğu doğal kaynakların büyük bir kısmının yapı ile ilişkili faaliyetler tarafından tüketildiğinin ve zararlı emisyonların yine büyük oranda yapılar tarafından üretildiğinin belirlenmesi ise yapı sektörünü çevresel sorunların merkezine yerleştirmektedir. Yapılan çalışmalar, insanın doğadan temin ettiği kaynakların neredeyse yarısını yapı yapma faaliyeti kapsamında tükettiğini ve yapı çevrenin de dünya sera gazı salınımının % 40'ını oluşturduğunu göstermektedir (Assefaa vd., 2007). Yapıların çevre ve insan üzerindeki olası etkilerini üç grupta ele almak mümkündür:

- Dünyanın sınırlı doğal kaynaklarının yapı üretimi ile ilişkili süreçlerde tüketilmesi nedeniyle ekosistem üzerinde oluşan etkiler
- Yeryüzünden elde edilen kaynakların yapı sektöründe kullanılmasının ardından ortaya çıkan atıkların ve emisyonların yeryüzünde yarattığı etkiler
- Yapı üretim süreçlerinin insan sağlığı, refahı ve yaşam kalitesi üzerinde yarattığı etkiler

Yapıların çevresel etkilerinin bütünüyle belirlenebilmesi için bu üç alanda oluşacak etkilerin birlikte ele alınması ve değerlendirilmesi önemlidir. Böyle bir değerlendirme yaklaşımı tüm bina için çevresel performansı ortaya koymak açısından oldukça kapsamlı bir bakış açısı sağlamaktadır. Bu değerlendirme yaklaşımına göre bir yapının çevresel performansından beklenen, toplam yapı kalitesi ve insan yaşam kalitesi maksimize edilirken, yapı yapma süreçleri ile ilişkili kaynak tüketiminin ve bu tüketimin insan ve çevre üzerinde yaratacağı etkilerin minimize edilmesidir. Ancak toplam bina kalitesi maksimize edilirken, yapıya dair tüketimin ve bu tüketimin yaratacağı etkilerin nasıl minimize edileceği sorusu, karmaşık ve kavranması kolay olmayan çok yönlü bir problem ortaya koymaktadır. Söz konusu problem mimari tasarım sürecinde oluşturulan tasarım kararlarının bina çevresel performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini gündeme getirmiş ve bu etkilerin değerlendirilmesine yönelik çeşitli araçlar geliştirilmiştir. Bina sürdürülebilirlik değerlendirme araçları yapının çevreye olan etkisinin nitel ve/veya nicel olarak belirlenmesinde ve ne kadar sürdürülebilir olduğunun ortaya konulmasında kullanılan araçlar olarak önem kazanmıştır. Bununla birlikte bina sürdürülebilirlik değerlendirme araçları tasarım sürecinde ele alınan sürdürülebilirlik kriterleri üzerinde karar desteği sağlaması yönüyle de önemli roller üstlenmektedir. Bu yönüyle bina sürdürülebilirlik değerlendirme araçları, daha yaşanabilir bir yapı çevre oluşturmak üzere mimari tasarım sürecine veri desteği sağlayan ve sürdürülebilir mimari tasarım düşüncesini destekleyen önemli araçlar haline gelmektedir.

2. BİNA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

Günümüzde binaların olumsuz çevresel etkilerinin kabul edilmesiyle birlikte bina tasarımında çevresel performans önemli bir kriter haline gelmiştir. “Sürdürülebilir yapı çevre” ve “sürdürülebilir yaşam” kavramlarından söz edilebilmesi için öncelikli olarak tasarım sürecinde binaların çevresel performanslarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Çünkü sürdürülebilir binaların tasarlanması ve inşa edilmesi, sürdürülebilir ve yönetilebilir bir kalkınma için çok önemlidir. Sürdürülebilir bina Magent vd., (2011) tarafından yaşam kalitesini yükselten, kullanıcı memnuniyetini sağlayan, esnek kullanım ve gelecekteki kullanıcı değişikliklerine uyum sağlayabilme potansiyeline sahip, arzulanan doğal ve sosyal çevreyi sağlayan/destekleyen ve kaynakların verimli kullanımını maksimize eden bir yapı çevreyi gerçekleştirmeyi amaçlayan sürdürülebilir kalkınmanın bir parçası olarak açıklanmıştır. Yani, sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir binalar olmaksızın elde edilemeyecek bir durumdur. Bu nedenle tasarım sürecinde binaların çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla yapılan sürdürülebilirlik değerlendirme çalışmaları gün geçtikçe daha fazla önem kazanmış ve bina yapımı ile ilişki süreçlerin çevresel etkileri, bina çevresel performansının kullanıcılar ve yapı sektöründeki diğer paydaşlar için temel bir konu haline gelmesine neden olmuştur (Crawley ve Aho, 1999; Kohler, 1999; Ding, 2008). 1990'lı yıllarda inşaat sektörü de dahil olmak üzere sanayi sektörleri, faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisini fark etmeye başlamış ve kamusal politikalar ile çevreye duyarlı ürün ve hizmetler konusunda artan pazar talebi yapı sektörünü binaların çevresel performansına odaklanmaya zorlamıştır (Haapio, 2008). Yapıların çevresel etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir bir yapı çevre oluşturmak amacıyla çevresel performans ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Kohler, 1999; Crawley ve Aho 1999; Cole, 2005; Ding, 2008; Haapio, 2008; Haapio ve Viitaniemi, 2008; Lee, 2013; Stender ve Walter, 2018). Bina çevresel değerlendirme yöntemleri (Building Environmental Assessment Methods) olarak isimlendirilen bu yöntemler yapı ve çevre arasındaki ilişkinin anlaşılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmakla birlikte (Cole, 1999), zaman içinde yapıların çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliklerini değerlendirmek ve sürdürülebilir kalkınmayı yapı/yapılı çevre üretim süreçlerine entegre etmek konusunda etkili bir çerçeve sağlayan araçlar haline gelmiştir. Bu nedenle bina çevresel performansını belirlemek için geliştirilen çevresel değerlendirme yöntemleri günümüzde daha fazla bina sürdürülebilirlik değerlendirme yöntemleri (Building Sustainability Assessment Methods) olarak tanımlanmaya başlamıştır.

Cole (2005), değerlendirme sistemlerinin bir binanın çeşitli kriterlerde beklenen performans seviyesini karşılama konusunda başarılı olduğunu göstermenin bir yolu olduğunu belirtmektedir. Sürdürülebilirlik değerlendirmesi çerçevesinde, somut hedefleri ve kılavuz göstergeleri olan araçlar talep edildiğini belirten Ebert, Ebig ve Hauser (2011)'e göre, bu araçlar tasarım ekibinin önemli ekolojik, ekonomik ve sosyal faktörlerin etkilerini ve etkileşimlerini fark ederek bunları tasarım veya inşaat aşamasında dikkate almasını sağlamalıdır.

Mateus ve Bragança (2011), sürdürülebilirlik değerlendirmesinin amacının binanın yapımının, tasarımının ve kullanımının farklı aşamalarındaki kararlar için bilgi toplamak ve bu bilgileri rapor etmek olduğunu belirtmektedir. Göstergelere dayanan sürdürülebilirlik puanları veya profilleri, ilgili konunun tanımlandığı, analiz edildiği ve değer atandığı bir süreçle sonuçlanmaktadır. Günümüzde, bu süreçte iki zıt eğilim söz konusudur. Bu kapsamda, bir yanda farklı uygulayıcılar tarafından yaygın olarak kullanılan göstergeler karmaşıklıkları ve çeşitlilikleri ile karakterize edilirken, diğer yanda ortak kavrayış ve basitlik yoluyla daha iyi kullanılabilirliğe doğru büyüyen bir hareket yer almaktadır (Mateus ve Bragança, 2011).

Ding (2008), çevresel değerlendirme yöntemlerinin, bina uygulamalarındaki çevre bilincini arttırdığını ve yapı endüstrisinin çevrenin korunması doğrultusunda ilerlemesi ve sürdürülebilirlik hedefine ulaşması için temel bir yön sağladığını ifade etmektedir. Çevresel değerlendirme yöntemleri, temelde bir yapının ne kadar çevre dostu ve sürdürülebilir olduğunu değerlendirmektedir. Bu yönüyle çevresel değerlendirme, yapı endüstrisinde yer alan tüm paydaşlar için önem taşımaktadır. Çünkü çevresel değerlendirme yöntemleri, mimarlar, tasarımcılar, geliştiriciler, yapının sahibi/kiracısı, yatırımcılar, müteahhitler, tedarikçiler, tesis yöneticileri, finansörler, sigorta şirketleri ve emlakçılar gibi paydaşlar arasında ortak bir dil ve ölçüt oluşmasını sağlamaktadır. Ding (2008), çevresel değerlendirme yöntemlerinin birincil rolünün, bina sahiplerinin ve tasarımcıların daha yüksek çevre standartlarına ulaşması için ortak ve doğrulanabilir bir dizi kriter ve hedef kullanarak, bir binanın çevresel özelliklerinin kapsamlı bir değerlendirmesini sağlamak olduğunu ifade etmektedir.

Uluslararası Standardizasyon Örgütü (The International Organization for Standardization-ISO) tarafından, ISO-15392:2008 referans numarası ile bina yapımında sürdürülebilirlik ilkelerinin yayımlandığı uluslararası dokümanda, sürdürülebilir kalkınmanın küresel bir yaklaşım olduğu ancak bina sektöründe sürdürülebilirlik yaklaşımının uygulanabilmesi için stratejilerin yerele özgü olması gerektiği vurgulanmaktadır. Benzer şekilde Berardi (2013), yapı çevrede sürdürülebilirliği ele alan stratejilerin ve hedeflerin yerel olarak düşünülmesi gerektiğini ifade etmektedir. Yani söz konusu stratejiler ve hedefler bağlama göre, bölgeye göre farklılaşmalı ve hem yapı çevredeki hem de sosyal çevredeki bağlamı, ön koşulları, öncelikleri ve ihtiyaçları yansıtmalıdır. Bu temel yaklaşım değerlendirme araçlarının farklı koşullara uyarlanabilirliğinin sağlanması açısından önemlidir. Sürdürülebilirlik değerlendirmelerinin genellikle göstergelere dayandığını belirten Mateus ve Bragança (2011), bu göstergelerin endüstrinin bir bütün olarak ana etkileri hakkında ve binaların diğer inşa edilmiş varlıkların yapımının ve işletilmesinin etkileri hakkında bilgi sağladığını belirtmektedir. Mateus ve Bragança (2011), genel kabul görmüş göstergelerin bir listesi oluşturulmaya çalışıldığında, kalkınmanın farklı ülkelerde farklı parametrelere ve ağırlıklandırma faktörlerine yol açtığının görüldüğünü belirtmektedir. Bu bulgu, karar verme konusunda gerçek ihtiyaçlar için gerçek bir yanıt olarak görülebilir. Çünkü hem temel göstergeler hem de bu göstergelerin ağırlıklandırılmaları çevresel, sosyal ve ekonomik bağlamlara büyük ölçüde bağlıdır.

3. BİNA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK DEĞERLENDİRME ARAÇLARI

Günümüzde dünya genelinde yapıların sürdürülebilirliklerinin değerlendirilmesine yönelik çok sayıda araç geliştirilmiştir (Haapio ve Viitaniemi, 2008). Bu araçlar, tek malzeme ölçeğinden tüm bina ölçeğine kadar farklı ölçeklerde değerlendirme yapmasına, yaşam döngüsünün farklı aşamalarına odaklanmasına, farklı değerlendirme kriterlerine sahip olmasına, farklı amaçlar için farklı ihtiyaçlara cevap vermek üzere tasarlanmış olmalarına ve farklı veri tabanlarını kullanmasına göre çeşitlilik göstererek farklı kategoriler altında çoğalmıştır. Bu kapsamda her araç kategorisi araçları etkili kılan temel özellikleri tanımlamaktadır (http-1).

Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü tarafından yapılan grupta çevresel değerlendirme yöntemleri “Değerlendirme Aracı Topolojisi/Assesment Tool Topology” adı altında üç seviyede değerlendirilmektedir (Trusty, 2000):

- **Seviye-1 araçlar:** BEES 4.0 (Building for Environmental and Economic Sustainability-Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik İçin Bina) ve TEAM gibi araçlar malzemeleri tek tek değerlendirerek, karşılaştırmalar ve seçimler yapılması konusunda yararlı araçlardır. Ancak, tüm bina için tasarım kararlarını oluşturmada kullanılamazlar.
- **Seviye-2 araçlar:** Athena, BEAT 2002 (Building Environmental Assessment Tool-Yapı Çevresel Değerlendirme Aracı), BeCost, Eco-Quantum, EQUER ve LEGEP Lebenszyklus-Gebäude-Planung-Bina Yaşam Döngüsü Planlaması), gibi araçlar tüm bina karar destek araçları olarak yaşam döngüsü maliyetleri, yaşam döngüsü çevresel etkileri, aydınlatma veya işletme enerjisi gibi belirli alanlardaki konular üzerinde odaklanmıştır. Bu araçlar ISO, ASTM (American Society for Testing and Materials-Amerikan Test ve Malzemeler Derneği), ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers-Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Derneği) veya ulusal standartlarla uyumlu veri tabanlarını kullanmaktadır. Seviye-2 araçlar tasarım ekibinin üyeleri tarafından tasarım süreci sırasında mümkün olan en erken aşamada kullanılmaları için tasarlanmış olup Seviye-3 araçlar için önemli veriler sağlayabilmektedir.
- **Seviye-3 araçlar:** LEED, BREAM, DGNB, EcoEffect, EcoProfile ve ESCALE, gibi araçlar sürdürülebilirlik ile ilgili çevresel, ekonomik, sosyal ve diğer konuları çok geniş bir biçimde kapsamaktadır. Bu araçların her birisi tüm bina değerlendirme sistemi olarak kullanılabilir. Seviye-3 araçlar nesnel ve öznel veriler kullanmakta olup, nesnel veriler için Seviye-2 araçlar kullanılmaktadır.

Binaların enerjiyle ilişkili çevresel etkilerinin nasıl iyileştirilebileceği üzerine çalışmalar yapan IEA Annex 31 Çalışma Grubu, sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarını interaktif (etkileşimli) yazılımlar ve pasif araçlar olarak iki kategoride tanımlamaktadır (http-1). IEA Annex 31 Çalışma Grubunun ve Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsünün yapmış olduğu gruplamalar birlikte değerlendirildiğinde ise çevresel değerlendirme araçları, özelliklerine göre aşağıda belirtildiği gibi gruplanabilmektedir:

1. İnteraktif (etkileşimli) yazılımlar
 - Enerji ve havalandırma modelleme yazılımları
 - Yapılar ve yapı stoğu için yaşam döngüsü değerlendirme araçları
Seviye 1/Seviye 2/Seviye 3
2. Pasif araçlar
 - Çevresel değerlendirme ve derecelendirme sistemleri
Seviye 3 (LEED, BREEAM, DGNB, vb.)
 - Binaların tasarımı ve yönetimi için çevresel kılavuzlar veya kontrol listeleri
 - Çevresel ürünler beyanları, kataloglar, referans bilgileri, sertifikalar ve etiketler

İnteraktif (etkileşimli) yazılımlar kullanıcının veya karar veren kişinin bir dizi seçeneği etkileşimli bir şekilde araştırması için, proaktif bir yaklaşım benimsemesini sağlayan hesaplama ve değerlendirme yöntemleri sağlamaktadır (Haapio ve Viitaniemi, 2008). Bu gruptaki araçlar performans temelli sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarıdır.

Pasif araçlar, kullanıcıyla çok fazla etkileşime girmeden karar desteği sağlamaktadır. Bu araçlar genellikle LCA araçları ve simülasyon modelleri tarafından sağlanan kişiselleştirme ve bilgisayar desteği derecesinden yoksundur. Bu yönüyle pasif araçlar, hesaplamalar yapmak yerine, sürece statik bilgi katma eğilimindedir. Daha önceki değerlendirme sonuçlarına sahip olan bu araçlar, tasarım hedeflerinin formülasyonuna ve planlama-karar verme süreçlerinin yönetilmesine yardım etmektedir. Türlerine ve amaçlarına bağlı olarak pasif araçların özellikleri aşağıda belirtilmiştir (http-1):

- Tasarım hedeflerinin oluşturulmasına yardımcı olmak,
- Referanslara dayalı olarak önceden yapılmış değerlendirme sonuçlarını iletmek,
- Planlama ve karar verme süreçlerinin yönlendirilmesine yardımcı olmak,
- Üçüncü taraflarca tamamlanan değerlendirme sonuçlarının çıktılarını sağlamak,

Sürdürülebilir tasarım sürecinde, sürdürülebilirlik değerlendirme araçları olarak tanımlanan çeşitli araçlar, tasarım kararlarının oluşturulmasında ve kararların sonuçlarının değerlendirilmesinde, böylelikle sürdürülebilir tasarım alternatifleri arasında optimum olanın seçilmesi yönünde ciddi katkılar sağlayabilmektedir. Bu bağlamda sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının özelliklerini kavramak ve sürdürülebilir mimari tasarım sürecindeki rollerini açık bir şekilde tanımlamak sürdürülebilirlik amacına ulaşmak konusunda tasarımcıları desteklemesi yönüyle önemlidir.

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ TASARIMDA KARAR DESTEĞİ

Çevre ve insan arasında gerçekleşen etkileşimin merkezinde yer alan mimari tasarım eylemi, yapılı çevrelerin karakterini ve kalitesini belirleyecek kriterlerin oluşturulma-geliştirilme sürecidir. Bu süreç problemin tanımlanması, verilerin toplanması, çözüme dair ilk düşüncelerin ortaya çıkarılması, alternatif tasarımların

oluşturulması, en optimum modelin/tasarımın seçilmesi ve son modelin baştaki verilerle yeniden karşılaştırılarak sonucun değerlendirilmesi olarak aşamalandırılmaktadır.

Tasarım süreci temelde üç önemli evreyi kapsamaktadır. Bu evreler analiz evresi, yaratıcı evre/sentez ve değerlendirme evresidir. İlk evre, mimari tasarım probleminin analizidir. Mimarlık, bu evrede problemi ihtiyaçlar ve istekler temelinde ele alır, mevcut verilerin belirlenmesi ile birlikte ana tasarım kararları oluşmaya başlar. Sentez aşamasında, mimari tasarım problemine yönelik alternatif çözüm önerilerinin oluşturularak söz konusu önerilerin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi gibi eylemlerle mimari çözüme ulaşılmaya çalışılır. Farklı ölçeklerde fikirler denenir ve çözüme en yatkın olan tasarım seçeneği belirlenerek proje geliştirilir. Değerlendirme aşaması ise, analiz aşamasında tanımlanan verilere ve hedeflere göre, önerilen çözümlerin eleştirel bir değerlendirmesini içermektedir.

Bir yapının/yapılı çevrenin sürdürülebilirliği, mimari tasarım sürecindeki tasarım kararları ile doğrudan ilişkilidir. Sassi, (2006) sürdürülebilirlik gündemine olumlu katkıda bulunmak, ekonomik olarak güçlü ve sosyal olarak kapsayıcı ve istikrarlı topluluklar elde etmek ve çevre üzerindeki etkiyi en aza indirmek için binaların nasıl tasarlanması ve inşa edilmesi gerektiği konusunun önem kazandığına dikkat çekmektedir. Magent vd., (2011) ise sürdürülebilir binalar için tasarım sürecinin büyük ölçüde belirsiz olduğunu ve söz konusu sürecin her yeni projede yeniden keşfedildiğini ifade etmektedir. Çünkü belirli bir proje için son derece uzmanlaşmış ve bölümlere ayrılmış çok sayıda disiplin içinden ekiplerin bir araya gelmesi yeni bir tasarım sürecinin gelişmesine neden olmaktadır. Bu durum bina tasarım ekipleri için büyük ölçüde ardışık, uzmanlaşmış çalışma alanlarının gelişmesine neden olmuştur. Magent vd., (2011)'e göre, tasarım ekipleri için böyle bir çalışma süreci, işbirliği ve entegrasyonu oldukça zorlayıcı bir mücadeledir. Buna karşılık projenin başarısının tasarım süreci boyunca takım içindeki etkileşimler tarafından büyük ölçüde etkilendiğini belirten Magent vd., (2011) sürdürülebilir bina tasarımı için erken paydaş katılımının, işbirliğinin ve entegrasyonun kilit rollerinin önemine dikkat çekmektedir.

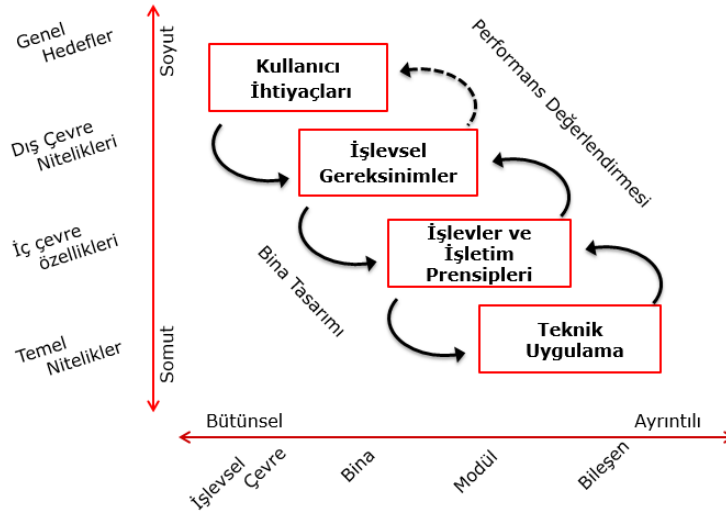
Sürdürülebilir binalar için tasarım sürecinin büyük ölçüde belirsiz olduğu ifade edilse de (Magent vd., 2011), sürdürülebilir bina tasarımı ve yapımı sürdürülebilir ve yönetilebilir bir kalkınma için büyük bir öneme sahiptir (Ding, 2008). Bu önemden hareketle günümüz dünyasında sürdürülebilirlik düşüncesi mimari tasarım olgusunun yeni bir bakış açısı ile tanımlanmasına neden olmuştur. Bunun sonucunda ise sürdürülebilir mimari tasarım yaşamın sürdürülebilirliği için önemli bir paradigma haline gelmiştir. Sürdürülebilir tasarım Ding (2008) tarafından, projelendirme aşamasından itibaren yapım aşaması, işletim aşaması ve geri dönüşüm aşamasını içeren süreçler bütününe sürdürülebilirlik ilkelerinin dahil edilmek zorunda olduğu bir tasarım anlayışı olarak tanımlanmıştır. McLennan (2004), sürdürülebilir tasarımın “doğal çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirirken ya da ortadan kaldırırken yapılı çevrenin kalitesini en üst düzeye çıkarmaya çalışan bir tasarım felsefesi” olduğunu belirtmiştir. Iwaro ve Mwashu (2013)'a göre ise sürdürülebilir tasarım, çevresel kaliteyi

ve kaynakların verimli kullanımını sağlamayı amaçlayan bir sürdürülebilir kalkınma yaklaşımıdır.

Sürdürülebilir mimari tasarım sürecinde karar verme eylemi, karar veren tasarımcının sürdürülebilirlik hedefleri ve bu hedeflerle ilişkili sürdürülebilirlik kriterleri temelinde, alternatif tasarım çözümlerinin tanımlanmasına ve uygun olan tasarım çözümünün seçilmesine yönelik yapılan bir çalışmadır. Karar verme süreci sıklıkla, birden fazla kritere ve birden çok amaca dayalı olarak alternatiflerin tanımlanmasını, karşılaştırılmasını ve sıralanmasını içermektedir (Ding, 2008). Bu kapsamda karar verme eylemi, sürdürülebilir alternatif tasarım seçeneklerinin düşünüldüğünü ima etmektedir. Ancak buradaki çalışma sadece mümkün olduğu kadar çok sayıda alternatifin tanımlanmasını değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik amaçlarına ve hedeflerine, en iyi şekilde uyan bir tanesinin seçilmesini gerektirmektedir. Sürdürülebilir mimari tasarım sürecinde alternatif tasarım seçeneklerinin sürdürülebilir özellikleri üzerine karar vermek en önemli konulardan birisidir. Bu noktada Ding (2008), çevre üzerindeki olumsuz etkilerin minimize edilebileceği tasarım alternatiflerini belirlemenin sürdürülebilirlik amacına ulaşmada önemli bir rol oynadığını, bu nedenle tasarım sürecinin ilk aşamalarından (program aşaması, tasarım aşaması) itibaren çevresel konuların tasarım sürecine dahil edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Sürdürülebilir mimari tasarım sürecinde alınacak kararlar ile çevresel zararları minimize etmek, doğal kaynakları ve insan sağlığını-refahını korumak mümkün olabilmektedir. Ancak burada üzerinde önemle durulması gereken durum sürdürülebilirlik konularının tasarım sürecine olabildiğince erken evrelerde dahil edilmesi ve tasarım kararlarının olası çevresel etkilerinin tasarım sürecinde değerlendirilebilmesidir. Sürdürülebilir tasarım süreci ve tasarım sürecinin sürdürülebilirlik bağlamında değerlendirilmesi birbirinden bağımsız düşünülemeyecek süreçlerdir. Bugün gelinen noktada bir mimari tasarımın çevresel performansının sürdürülebilir olarak değerlendirilebilmesinde çevre ve insan için en doğru tasarım kararının en uygun aşamada verilmesi yanı sıra tasarım kararların sonuçlarının yani binanın performansının da değerlendirilmesi gereklidir. Bu bağlamda bina tasarımı ve bina performans değerlendirmesi arasındaki ilişkiyi açıklayan Crawley ve Aho (1999) bina tasarımı, tasarım konseptinin detaylı gerçeklemeye doğru aşama aşama çalışıldığı yukarıdan aşağıya doğru ilerleyen bir süreç olarak tanımlarken, performans değerlendirmesini sistemin teknik detayları hakkındaki bilgiden ve karakteristiklerinden başlayarak söz konusu tasarımın çevresel performansını sentezleyecek şekilde aşağıdan yukarıya doğru gerçekleşen bir süreç olarak ifade etmiştir. Bina tasarımı ve bina performans değerlendirmesi süreçleri Crawley ve Aho (1999) tarafından, Şekil 4.1'deki gibi gösterilmiştir. Crawley ve Aho (1999), tasarım kriterlerinin amacının teknik gerçekleştirme ve performans arasındaki karşılıklı ilişki üzerine (teknik) rehberlik yapmak olduğunu belirtmektedir. Örneğin, teknik bir çözümün bir performans göstergesi üzerindeki etkileri nelerdir? Verilen bir performans seviyesine ulaşmak için bir sistem nasıl tasarlanmalı ve boyutlandırılmalıdır? Dolayısıyla, tasarım kriterlerinin ve performans değerlendirme sistemlerinin ortak

paydası performans göstergeleri/kriterlerinde somutlaştırılmıştır. Bu performans göstergeleri/kriterleri yapı tasarımı için, hedefleri, amaçları ve/veya gereksinimleri gösterirken, performans değerlendirmesi için analizin temel sonuçlarını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.1. Bina tasarımı ve performans değerlendirmesi arasındaki ilişki ve kavramsal farklılıklar (Crawley ve Aho, 1999)

Bina tasarımı ve bina performans değerlendirmesi ile ilişkili önemli bir başka konu her iki süreçte ihtiyaç duyulan bilginin niteliğidir. Cole (1997), aralarında açıkça potansiyel bağlantılar olmasına rağmen, bir binayı tasarlamak için gereken bilgi türü ile o binayı çevresel performans açısından değerlendirmek için gereken bilgi türü arasında farklılıklar olduğunu belirtmektedir. Bu farklılığı Cole (1997), tasarım kriterleri ile tasarımın çevre üzerindeki etkisini değerlendiren kriterlerin türleri ve sayıları arasındaki ilişkiyle açıklar. Buna göre, tasarım kriterlerinin türü ve sayısı, yönetmelikler tarafından zorunlu bırakılmadıkça, değerlendirmede kullanılan kriterlerin türünden ve sayısından tipik olarak daha kapsamlıdır. Tasarımcının belirli bir tasarımda bir strateji formüle etmek üzere, değerlendirme kriterlerini temel alabileceğini belirten ve değerlendirme kriterlerinin tasarım kriterleri gibi kullanılabilmesi potansiyeli üzerinde duran Cole (1997), bu bağlamda mevcut değerlendirme yöntemlerinin, tasarım araçları olarak da kullanıldığını belirtmektedir.

Çevresel değerlendirme araçları temelde tasarım kılavuzları olarak hizmet etmeleri amacıyla tasarlanmamış olmalarına rağmen, daha iyi alternatiflerin yokluğunda, söz konusu araçların daha fazla bu yönde kullanıldığı görülmektedir (Cole, 1999; Crawley and Aho, 1999). Crawley and Aho (1999), çevresel değerlendirme metodlarının, tasarım sürecine performans hedeflerinin ve kriterlerinin dahil edilmesinin yapısal bir yöntemini sağlayabildiklerini bu şekilde tasarım sürecini destekleyebildiklerini belirtmektedir. Bu bağlamda bina sürdürülebilirlik

değerlendirme araçlarının (Building Sustainability Assessment Tools-BSAT) mimari tasarım sürecinde önemli tasarım konuları üzerinde karar verme sürecinin bir parçası olarak rol oynayabilmesi mümkündür. Değerlendirme araçları, çevresel değerlendirme ile karar verme çerçevesi arasındaki arayüzdür ve tasarımcıların farklı seçimlerinin sonuçlarını anlamalarına yardımcı olarak karar verme sürecine bilgi sağlamaktadır. Değerlendirme araçları bu şekilde çevresel performansın iyileştirilmesine hizmet etmektedir (http-1).

Ding (2008), çevresel değerlendirme yöntemlerinin bir tasarım aracı olarak yararlı olabilmesi için, tasarım ve değerlendirme takımları arasında erken işbirliğine izin vermesi açısından söz konusu yöntemlerin sürece mümkün olduğunca erken dahil edilmesi üzerinde durmaktadır. Ding'e (2008) göre, çevresel değerlendirme yöntemlerinin tasarım aşamasında en fazla fayda sağladığı zaman, ön tasarım sürecinde ele alınan kriterlerde herhangi bir eksikliğin değerlendirildiği ve bunların tasarım geliştirme sürecine dahil edilebildiği zamandır.

Ali ve Nsairat (2009)'a göre, değerlendirme yöntemleri sürdürülebilir tasarım önceliklerini ve hedeflerini belirleyerek, uygun sürdürülebilir tasarım stratejileri geliştirerek ve sürdürülebilir tasarım ve karar alma süreçlerine rehberlik etmesi için performans ölçütlerini belirleyerek bir tasarım aracı olarak kullanılabilirdiğinden, bina çevresel performansını değerlendirmek ve sürdürülebilir kalkınmayı bina yapım süreçlerine entegre etmek için etkili bir çerçeve sağlamaktadır. Buna karşılık Loots ve Irurah (2005) değerlendirme araçlarının karar vermeyi kolaylaştırabildiğini ancak tasarım aracı olarak da kullanılabilmesi yönündeki beklentileri karşılamadığını ifade ederek tasarım aracı ile değerlendirme aracı arasındaki temel farklılığa vurgu yapmaktadır. Buna göre, son yıllarda ortaya çıkan ve tasarım araçları olarak adlandırılan araçlar, değerlendirme metodlarının geliştirilmesinin bir parçası olarak uyarlanmaktadır ve bu süreç yapı sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının tasarım araçları olarak da uygulanabilir olduğu beklentisi yaratmaktadır. Değerlendirme araçları gerçek bina değerlendirmeleri ve tahmini hedef belirleme yoluyla karar vermeyi kolaylaştırmalarına rağmen, bu araçlar kullanıldıklarında hiçbir tasarım çözümü üretmedikleri için 'tasarım' araçları olarak tanımlanamazlar. Değerlendirmeler önerilen çözümlerin sonuçlarını/etkilerini sadece rapor etmekte ve/veya hedef düzenleme için sürdürülebilirlik kriterlerini listelemektedir. Bu bağlamda değerlendirme araçları belirli bir sürdürülebilirlik derecesini elde etmek için "ne yapmalı" sorusuna cevap verirken, bir tasarım aracı "nasıl yapılmalı" sorusuna çözüm getirmelidir (Loots ve Irurah, 2005).

Çevresel değerlendirme araçlarının kullanıcıları bir çalışma yürütmek için öncelikle hedefleri tanımlamaktadır. Bu hedefler, aslında karar verme sürecinde gerekli olacak bilgilere işaret etmektedir. Söz konusu hedefler kullanıcıya göre büyük ölçüde çeşitlilik gösterdiği için araçlardan elde edilen çıktılar kullanıcının teknik tanımlamalarını yansıtmalıdır. Yöntemler ve araçlar hedeflenenden başka amaçlar için kullanılırsa, çıktılar geçersiz olabilmektedir. Bir değerlendirmenin hedefini ve kapsamını tanımlamak kullanılacak yöntemin belirlenmesi üzerinde oldukça etkilidir. Aslında, hedefler ve kapsam tarafından belirlenen ayrıntı düzeyi, çevresel

değerlendirme araçlarını kategorilere ayırmak ve bu araçların seçimini kolaylaştırmak açısından oldukça önemlidir. Bu şekilde hedefler, çevresel değerlendirme araçlarının tipolojisini oluşturmak için bir temel haline gelmektedir (http-1). Bu çalışma kapsamında incelenecek olan sürdürülebilirlik değerlendirme araçları, Braganca, Mateus, and Koukari (2010) tarafından ele alındığı şekliyle, bina performansını yöneten sistemler (performansa dayalı tasarım), yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) sistemleri ve sürdürülebilir bina derecelendirme ve sertifikasyon sistemleri olarak üç grupta değerlendirilmiştir.

4.1. Bina Performansını Yöneten Sistemler

Wilde ve Voorden (2003), bina performans bilgilerini bina simülasyon araçları kullanılarak oluşturulan veri türü olarak tanımlanmıştır. Hopfe'ye (2009) göre, bina performans simülasyonları (BPS) iklim koşullarına, kullanıcılara, iklimlendirme sistemlerine ve gürültü kaynaklarına maruz kalması nedeniyle binanın enerji ve çevresel performansını tahmin etmek üzere bina içindeki ısı, ışık, hava, nem ve sesin dinamik etkileşimini taklit eden önemli araçlardır. Morbitzer (2003) daha genel bir tanım yaparak, bina performans simülasyonları ile bina performansını etkileyecek tüm detaylı parametrelerin tasarımcı tarafından tanımlandığını ve gerçeğe mümkün olduğunca yakın performans tahminlerinin elde edildiği sanal bir bina yaratıldığını belirtmektedir. Bu bağlamda, bina performans simülasyonlarının aşağıda belirtilen durumlarda kullanılabilirliğini söylemek mümkündür (Wilde, 2004):

- Sayılarla ve grafiklerle tasarım çözümlerini gösterme,
- Rehberlik için belirsizlik ve hassasiyet analizlerini yapma,
- Tasarım alternatiflerinin oluşturulmasını destekleme,
- Farklı tasarım seçenekleri arasında seçimler yaparak bilgiye dayalı karar verme,
- Yapı ve veya sistem optimizasyonu yapma,

Mevcut projelerde hesaplama araçlarının tercihleri desteklemek yerine optimizasyon ve doğrulama gibi farklı amaçlar için kullanıldıklarını ifade eden Wilde ve Voorden (2003), tasarım bağlamında kullanılması halinde simülasyon araçlarının aşağıdaki gereksinimleri karşılamaları gerektiğini belirtmiştir:

- Araçlar, belirli, tasarım odaklı seçenek alanlarını barındırmalıdır.
- Araçlar, söz konusu tasarım kararıyla ilgili olan belirli sanal deneyleri gerçekleştirebilmelidir.
- Araçlar, bina tasarım sürecini durdurmadan ilgili performans bilgilerini sağlamalıdır.
- Enerji tasarruflu bina bileşenlerinin seçimini desteklemek için kullanılacak araçlar erken tasarım aşamalarında (fizibilite çalışması, kavramsal tasarım aşaması) uygulanmalıdır.

Ardışık, uzmanlaşmış çalışma alanlarının gelişmesiyle karmaşık süreçlerin ve işlemlerin gerçekleştiği sürdürülebilir bina tasarımında, bina performans simülasyonları bir rehber niteliği taşıması ve optimum olan tasarım seçeneğinin belirlenmesi

konusunda tasarımcılara karar desteği sağlaması mümkündür. Loots ve Irurah (2005) sürdürülebilirlik konusunda çalışan çoğu tasarımcının karar verme sürecine rehberlik etmesi ve sürdürülebilirliğe geçişi kolaylaştırması için disiplinler arası takım çalışmasına ve bilgisayar temelli modellemelere-simülasyonlara güvendiğini belirtmektedir. Günümüzde, bina simülasyon programları alternatif bina cepheleri oluşturulması, iklimlendirme-HVAC sistemleri tasarımı, cam, pencere ve gölgeleme tasarımı, binanın pasif olarak ısıtılıp soğutulması için seçeneklerin analiz edilmesi, enerji analizleri gibi konularda ve bir yapının tüm yaşam döngüsü aşamalarındaki kararlar için kullanılmaktadır. Bu kapsamda tasarım sürecini desteklemek için kullanılan mevcut araçlar ve bu araçların işlevleri tarafından Tablo 4.1’de açıklanmıştır. Loh vd., (2010) simülasyon araçlarını tasarım sürecini destekleyen araçlar olarak yazılım kategorisi genel başlığı altında konumlandırmıştır.

Tablo 4.1. Tasarım sürecini destekleyecek mevcut araçlara genel bakış (Loh, vd., 2010)

Yazılım kategorisi	İşlev	Örnekler
Bina Bilgi Modellemesi Yazılımı (BIM)	Modelleme ve görselleştirme	Autodesk Revit, ArchiCAD, Microstation
Enerji Simülasyon Araçları	Enerji performansının değerlendirilmesi ve karar vermeyi desteklemesi için sonuçların görselleştirilmesi	IES, Ecotect, Design Builder, Esp-r, Energy Plus
Bina Çevresel Değerlendirme Araçları (BEA)	Binaların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve karar vermeyi desteklemesi için sonuçların görselleştirilmesi	Envest II
Yaşam Döngüsü Değerlendirme Araçları (LCA)	Malzemelerin yaşam döngüsü performansının değerlendirilmesi ve karar vermeyi desteklemesi için sonuçların görselleştirilmesi	SimaPro, BEES, ATHENA Environmental Impact Estimator
Yaşam Döngüsü Maliyet Değerlendirme Araçları (LCCA)	Bina yaşam döngüsü maliyet performansının değerlendirilmesi ve karar vermeyi desteklemesi için sonuçların görselleştirilmesi	IES, Envest II, Building Life Cycle Cost (BLCC)

Hopfe (2009), tasarım sürecinde oluşturulan pek çok kararın tasarım araştırmalarının ve beyin fırtınalarının sonuçları olması nedeniyle söz konusu tasarım kararlarının belirli kurallarla tanımlanmasının da değerlendirme araçları yoluyla desteklenmesinin de zor olduğunu belirtmektedir. Ancak bazı kararlar tipik olarak iyi tanımlanmış bir dizi rakip seçeneğin karşılaştırılmasını ve verilen sınırlamalar dizisi altında en iyi seçeneğin elde edilmesini gerektirmektedir. Bir tasarım alternatifinin uygunluğu da genellikle farklı performans kategorilerindeki ölçümler yoluyla ifade

edilmektedir. Hopfe (2009), bu nedenle performans ölçümlerinin kuralcı özelliklerden ziyade sonuçlarla ilgili olduğunu belirtmektedir. Performans kavramı, tasarımın objektif olarak tanımlanmış performans kriterlerine ve amaçlarına göre tasarım değerlendirmesini geliştirmektedir. Farklı performans değerlendirmeleri, farklı performans göstergeleri ile ilişkilidir. Bu bağlamda performans göstergeleri, tasarım programı ve tasarım konsepti arasındaki ilişkidir ve performans göstergeleri, net bir tasarım hedefi oluşturmaya ve performans düşüncesini bu amaç etrafında düzenlemeye yardımcı olmaktadır. Böylece tasarımcı, tasarım kararını etkileyen unsurları sınırlandırarak rasyonel olarak verimli proje hedefleri belirleyebilmektedir (Hopfe, 2009). Tasarım sürecinin farklı aşamalarında dikkate alınan tasarım konuları ve model oluşturma konusundaki zorluklar Morbitzer (2003) tarafından özetlenmiş ve Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Tasarım aşamaları, tasarım konuları ve performans tahminlerine genel bakış (Morbitzer, 2003)

Tasarım aşamaları	Tasarım konuları	Model oluşturma	Performans tahmin analizi
Konsept Tasarım Aşaması	Yönelim, ağır/hafif binalar, mekan kullanımı, ısı geri kazanım sistemleri	Tanımlanan tipik kullanıcılar (mimarlar) gelişmiş bina simülasyonu kullanmakta zorlanmaktadır.	Performans tahmini mimarlar için zordur.
Tasarım Geliştirme Aşaması	Cam alanlar/cam türleri, hava değişim oranı, aydınlatma stratejileri	Simülasyon uzmanı için büyük zorluklar yaratmaz ancak zaman alıcıdır.	Bina performansının ardındaki nedenleri derinlemesine anlamak önemlidir.
Detaylı Tasarım Aşaması	Farklı ısıtma / soğutma sistemleri, Farklı ısıtma /soğutma kontrolü stratejileri, Farklı havalandırma stratejileri	Şematik tasarımından daha zordur, ancak simülasyon uzmanı için mümkündür.	Simülasyon çalışmasına bağlı olarak kolay analizlerden, karmaşık, yorucu ve zaman alıcı analizlere kadar değişiklik göstermektedir.

Bir yapının ilk tasarım ve yapım öncesi aşamaları tasarımın sürdürülebilir özellikleri üzerine karar vermek için en kritik zamanlardır ve bu evrelerde çevreleri planlayan geleneksel bilgisayar destekli tasarım, tasarım geliştirme ilk aşamalarında sürdürülebilirlik analizleri yapma kabiliyetinden genellikle yoksundur. Bina performans analizleri tipik olarak mimari tasarım ve inşaat belgeleri ortaya koyulduktan sonra yapılmaktadır. Tasarım süreci sırasında sürekli olarak sürdürülebilirliğin analiz edilmemesi, bir dizi performans kriterlerini başarmak için tasarımda verimsiz bir geriye dönük değişiklik sürecine neden olmaktadır. Bina performansını ilk tasarım ve yapım

öncesi evrelerde hassas bir şekilde değerlendirmek binanın formu, malzemeleri, bağlamı ve mekanik-elektrik-su tesisatı ile ilgili kapsamlı bir dizi veriye erişim gerektirir. Bina Bilgi Modellemesi (BIM), çok disiplinli bilgilerin tek bir modelde üst üste eklenmesine izin vermektedir ve sürdürülebilirlik ölçütlerinin tasarım sürecine dahil edilmesi için bir fırsat yaratmaktadır (Azhar vd., 2011).

4.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) Sistemleri

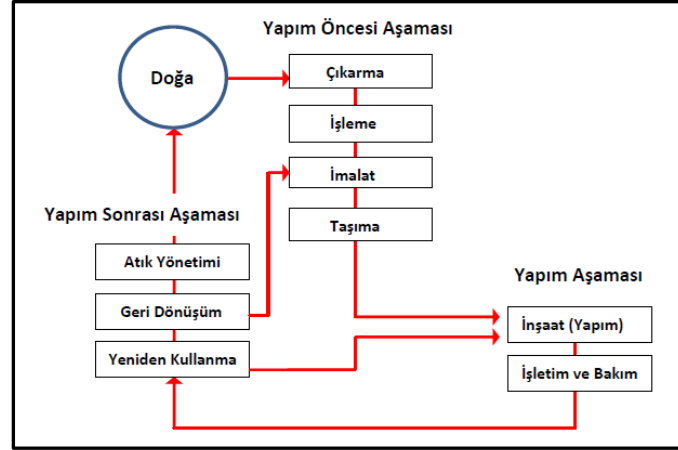
Sürdürülebilir mimari tasarım, çevresel kaliteyi, fonksiyonel kaliteyi ve gelecekteki değerleri dikkate alarak, binaların tüm yaşamını göz önünde bulundurmaya gerektirmektedir (John, Croome ve Jeronimidis, 2005). Bu kapsamda yaşam döngüsü yaklaşımı, sürdürülebilirlik temelinde ele alınan tasarım konularını binanın tüm yaşamını için değerlendirmesi nedeniyle sürdürülebilir bina tasarımında çözüm arayışları için ideal bir yaklaşım olmaktadır. Çünkü yapıyı oluşturan tüm malzeme ve sistemler için, hammadde ediniminden, üretim, nakliye, montaj ve geri dönüşüm aşamalarına kadar yaşam döngüsü olarak tanımlanan sürecin her aşamasında, kaynak tüketimi ve atık salınımının anlaşılması ve alternatif sonuçların değerlendirilmesi sürdürülebilir tasarım için önemli bir çerçeve oluşturmaktadır. Bu bağlamda yaşam döngüsü değerlendirmeleri, alternatif tasarım önerilerinin değerlendirilerek sürdürülebilir olan en uygun çözümün seçilmesinde tasarımcılara önemli bir karar desteği sağlayabilmektedir.

Malmqvist vd., (2010) yaşam döngüsü değerlendirme araçlarının, binanın ömrü boyunca neden olduğu etkileri göz önünde bulundurarak çevresel olarak uygun tasarım çözümlerini optimize ederken geliştirilmiş bir karar desteği sağladığını ifade etmektedir. Buna karşılık, hesaplamalar için çok fazla veriye ihtiyaç duyulması, veri toplama işleminin maliyeti ve veri toplama işleminin çok yönlü boyutlarından kaynaklanan zorluklar gibi nedenler yaşam döngüsü değerlendirmelerinde çeşitli kabullenmelerin oluşmasına yol açmakta ve bu durum değerlendirmelerin doğruluğunu azaltmaktadır.

Geleneksel yaklaşımla, tasarım, yapım, işletim/bakım ve yıkım süreçleri olarak ifade edilen yaşam döngüsü kavramı, yapı malzemelerinin üretimi ve tedarik edilmesi ile ilişkili çevresel konuları ya da kaynakların geri dönüşümü/yeniden kullanımı gibi atık yönetimi konularını ele almaması nedeniyle kısıtlı bir bakış açısı sağlamaktadır. Sürdürülebilir mimari tasarım temelinde ele alınan yaşam döngüsü ise malzemenin, faydalı bir yaşam formundan bir başka faydalı forma dönüşümünü temel almaktadır. Bu bakış açısına göre malzemenin yararlılığı son bulmamaktadır (Kim ve Rigdon, 1998). Şekil 4.2. sürdürülebilir bir binanın malzeme ile ilişkili olarak yaşam döngüsü aşamalarını yapım öncesi süreç, yapım süreci ve yapım sonrası süreç olarak detaylandırmaktadır.

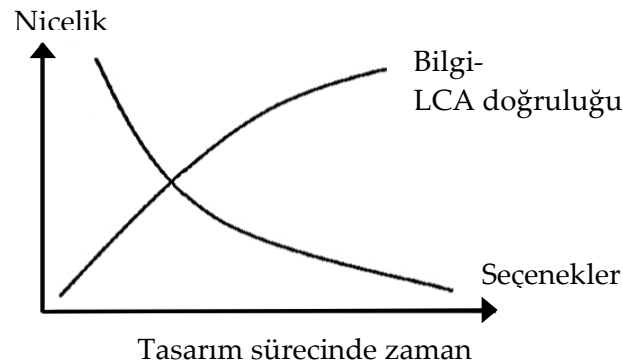
Sürdürülebilirlik hedeflerini sağlayabilmek için binayı yaşam döngüsü aşamaları ile ele almak konuya sistematik bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu nedenle tasarım kararları ve tasarım değerlendirmeleri yapım öncesi (program aşaması, tasarım aşaması), yapım süreci (yapım aşaması) ve yapım sonrası (işletim aşaması ve geri dönüşüm aşaması)

süreçler bağlamında bütüncül olarak ele alınmalı ve değerlendirilmelidir. Geleneksel mimari tasarımın temel çalışma alanı yapım süreci ile ilişkili olmasına karşılık, sürdürülebilir mimari tasarım yaşam döngüsünün üç aşaması için de çevresel etkileri minimize edecek kararlar verilmesini gerektirmektedir (Kim ve Rigdon, 1998).



Şekil 4.2. Sürdürülebilir bir binanın yaşam döngüsü (Kim ve Rigdon, 1998)

Malmqvist, vd., (2010) yapı sektöründe yaşam döngüsü değerlendirmelerinin (LCA) çeşitli nedenlerle çok sınırlı kullanıldığını belirtmektedir. Bir tasarım sürecinde yaşam döngüsü değerlendirmesi uygulanırken karşılaşılan genel bir sorun, erken tasarım aşamalarında farklı çözümler arasında karar vermek için seçeneklerinin çok olması ve LCA hesaplamaları için gerekli olan, ürünler hakkındaki verilerin az olmasıdır. Sürecin ilerleyen aşamalarında daha fazla karar alınırken, daha iyi yaşam döngüsü değerlendirmeleri yapabilmek mümkündür, ancak alternatif tasarımlar için elde edilen sonuçlardan faydalanma olanakları Şekil 4.3'te belirtildiği gibi kısıtlıdır (Malmqvist, vd., 2010).



Şekil 4.3. Bir tasarım sürecinde seçeneklere karar verme ve ürün verilerinin kullanılabilirliği arasındaki ilişkilerin genel bir gösterimi (Malmqvist vd., 2010)

Yaşam döngüsü değerlendirme araçlarının tasarım sürecinde tasarımcılara karar desteği sağlaması için, erken proje aşamalarında çok miktarda veri gerekmektedir. Ancak, bu aşamalarda daha az proje verisi bulunmaktadır. Belirli bir tasarım seçeneği için elde edilen LCA sonuçlarının diğer alternatif tasarım seçenekleri için kullanılabilmesi olasılığının düşük olduğunu belirten Malmqvist vd., (2010) bu sorunun üstesinden gelmek için, tasarım sürecinin erken aşamalarında alternatif seçenekler hakkında daha iyi bilgi edinmenin ve yaklaşık sonuçların hesaplanmasını hızlandırmanın çözüm olabileceğini ifade etmektedir.

4.3. Sürdürülebilir Bina Derecelendirme ve Sertifikasyon Sistemleri

Pasif araçlar grubunda yer alan çevresel değerlendirme ve derecelendirme sistemleri (yeşil sertifika sistemleri) önerilen ya da var olan bir binanın çevresel etkilerini değerlendirme amacını taşımakta ve bir tasarım kararının çevre üzerindeki etkisinin ne olacağını anlaşılması konusunda tasarımcılara destek sağlamaktadır. Bu araçlar Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü tarafından yapılan gruplamada seviye 3 araçlar kategorisinde yer almakta, hem nesnel hem de öznel veriler içermekte ve nesnel veriler için Seviye-2 araçlar kullanılmasını gerektirmektedir.

Binaların sürdürülebilirlik performansını ölçmek için çeşitli bina çevresel değerlendirme araçları geliştirilmiştir (Papamichael, 2000). Amerika Birleşik Devletleri'nde Amerikan Yeşil Bina Konseyi tarafından geliştirilen LEED, İngiltere'de Bina Araştırma Kurumu tarafından geliştirilen BREEAM, Almanya'da Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi ve Ulaştırma, İnşaat ve Kentsel Gelişim Federal Bakanlığı'nun desteği ile geliştirilen DGNB, Kanada'da IISBEE tarafından geliştirilen GBTOOL, Japonya'da JaGBC tarafından geliştirilen CASBEE bu grupta yer alan derecelendirme sistemlerindedir. Bu araçlar genellikle arazi yönetimi, enerji verimliliği, hava ve atmosfer, malzemeler, su verimliliği, iç ortam kalitesi, ulaşım, küresel ısınma, atık ve kirlilik ve ekoloji gibi çeşitli çevresel performans kriterlerini değerlendirmektedir. Her bir kritere atanan puan değerleri sürdürülebilirlik konuları üzerindeki farklı önem ve etkileri hesaba katmak için etkili bir şekilde ağırlıklandırılmakta (Papamichael, 2000) ve sonucunda elde edeceği toplam skora göre binanın çevresel etkisi yani sürdürülebilirlik seviyesi belirlenmiş olmaktadır.

Çevresel değerlendirme ve derecelendirme sistemlerinin (yeşil sertifika sistemleri) çoğunun, binanın enerji tüketimini, su verimliliğini, malzeme kullanımını ve iç çevre kalitesini değerlendiren temel kriterleri birbirleri ile benzerlik göstermektedir (Azhar vd., 2011). Ancak dünya genelindeki yeşil sertifika sistemleri incelendiğinde değerlendirme sonuçlarının farklılaştığı görülmektedir. Bu sistemler, Cole (1999,2005); Crawley ve Aho (1999); Ding (2008); Lee(2013); Berardi (2012); Kajikawa vd., (2011); Chandratilake ve Dias (2013); Haapio (2008) ve Fowler ve Rauch (2006) tarafından yapılan çalışmalarda kapsamlı olarak incelenmiş ve sertifika sistemlerinin birbirleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Lee (2013) tarafından yapılan çalışmada, değerlendirme sonuçları üzerinde sertifika sistemlerinin önemli etkilerinin olmasına dikkat çekilmektedir. Buna gerekçe olarak sertifika sistemlerinde, değerlendirilen konular için

kredi atanmasına yönelik olarak kullanılan stratejiler gösterilmektedir. Sertifika sistemlerinde değerlendirilen çeşitli alanlara veya konulara ağırlıkların atanması, farklı alanlardaki uzmanlardan görüş isteme yoluyla çalışılmaktadır. Söz konusu görüşlerde ağırlıklandırmanın çevresel önemi yansıtması gerektiği ifade edilmiş olmasına rağmen bu konuda henüz fikir birliği oluşmamıştır. Bu nedenle farklı sertifika sistemleri arasında, öngörülen kriterler ve performans seviyelerinde büyük farklılıklar bulunmaktadır (Lee, 2013). Lee (2013) bu konuda, sürdürülebilirlik değerlendirmesinin yapıldığı bağlamların farklılıklarına vurgu yapmaktadır ve bir değerlendirmenin:

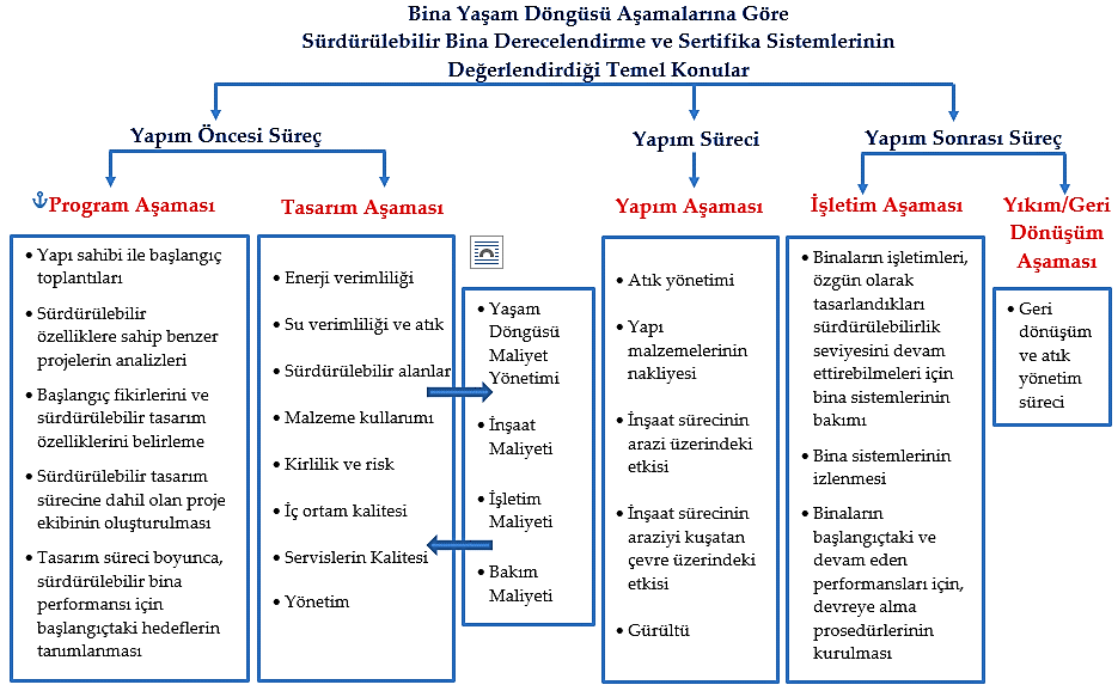
- Tasarım (design) performansı ya da inşa edilmiş (as built) performans temelinde mi olacağı,
- Tahmin edilen (predicted) ya da gerçekleşen (realized) çıktılar temelinde mi olacağı,
- Çevresel (environmental) ya da mali (financial) etkiler temelinde mi olacağı

gibi konuların tartışmalı kalan konular olduğunu belirtmektedir. Cole (1999), bir binanın kullanımındaki performansının, tasarım sırasında tahmin edilen veya beklenen performanstan belirgin şekilde farklı olduğunu altını çizmektedir. Potansiyel performans daha az “gerçek” olmasına rağmen, yine de geliştiricilerin, bina sahiplerinin, tasarımcıların ve binaların üretimiyle ilgilenen diğer herkesin gelecekteki eylemlerine rehberlik etmek için yararlı bilgiler üretebilmektedir. Bununla birlikte stratejik tasarım ile bir binanın yönetilme ve işletilme kolaylığı arasındaki ilişkiyi, yani bina yönetim ve işletim sistemlerinin tasarımını, bina tasarımı ve satın alma sürecinin bir parçası haline getirmeye ihtiyaç duyulmaktadır Bu bağlamda, değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesinde önemli olan “potansiyel” veya “gerçek” bina performansını değerlendirilmesindeki seçimde yatmaktadır (Cole, 1999).

Sertifika sistemlerinin değerlendirme sonuçlarının farklılaşmasında bir diğer önemli faktör Haapio (2008) tarafından, her sertifika sisteminin bina yaşam döngüsünün farklı aşamalarına odaklanarak değerlendirme yapması olarak açıklanmıştır. Buna göre, bazı araçlar tüm yaşam döngüsünü kapsamakta iken, bazıları binanın bakım ve kullanımına daha fazla odaklanmaktadır. Bu araçlar yaşam döngüsünün aynı aşamasını kapsamaktayken bile o aşamayı farklı şekilde ele alabilmektedir. Bir araç bir yaşam döngüsü aşaması için pek çok kriter kullanırken diğer bir araç söz konusu aynı aşama için sadece birkaç kriter kullanıyor olabilmektedir. Dahası, araçlar aynı kriterleri fakat bu kriterlere karşılık gelecek farklı göstergeleri kullanabilmektedirler (Haapio, 2008). Şekil 4.4’te bina derecelendirme ve sertifika sistemlerinin sürdürülebilirlik değerlendirme yaklaşımı bina yaşam döngüsü aşamaları ile ele alınarak her bir aşama için temel değerlendirme konuları belirtilmiştir. Bu yönüyle yaşam döngüsü yaklaşımı sertifika sistemleri için sistematik bir yaklaşım sağlamaktadır.

Lamborn vd., (2006) bütünsel bir yaklaşıma odaklanan bu araçların, amaç ve gereksinimleri özetleyen etkin kontrol listeleri olduklarını ve istenen sonuçlara ulaşmak için önerilen yöntemleri listeleterek olası tasarım çözümlerine dahil etme potansiyeline de sahip olduklarını belirtmektedir. Bu durum çevresel değerlendirme ve

derecelendirme sistemlerinin tasarım sürecini destekleyen araçlar olarak değerlendirilmesini gündeme getirmiştir.



Şekil 4.4. Sürdürülebilir bina derecelendirme ve sertifikasyon sistemlerinin yapı yaşam döngüsü aşamalarına göre değerlendirdiği temel konular (Kaynak: Yazar)

Cole vd., (2005) yeşil sertifika sistemlerinin yaygın kullanımının bina tasarımını nasıl etkilediğini şöyle ifade edilmektedir:

- Yeşil sertifika sistemleri bina ve çevre ile ilgili konularının odak noktası olmasında önemli bir etkiye sahiptir. Söz konusu sistemler tasarım ekibinin üyeleri ve çeşitli sektörler ile yapı endüstrisi arasında çok fazla iletişim ve etkileşim gerektirmesi gibi bir dizi dolaylı fayda sunmaktadır. Yani sertifika sistemleri daha fazla diyalogu ve takım çalışmasını teşvik etmektedir.
- Yeşil sertifika sistemleri maliyet ve uygulama konularının önemini farkında olarak, bina performansını geliştirme isteğini dikkate alan bir yeşil binayı neyin oluşturduğuna dair bir endüstriyel standart sunmaktadır.
- Yeşil sertifika sistemleri bir dizi çevresel konuyu beyan etmekte ve o konulara önem atfetmektedir. Söz konusu sistemler açık bir şekilde bilgiyi organize etmektedirler. Çevresel konuların sınıflandırılmasında artı ve eksiler nispeten keşfedilmemiş bir konu olmaya devam etmektedir. Yeşil sertifika sistemleri içinde çevresel konuların organize edilmesi netlik ve bir yapısalılık sağlamaktadır.
- Yeşil sertifika sistemleri yapı sektöründeki paydaşlarla iletişimde kullanılacak bina performansının özetini sağlamaktadır. Burada sonuçların gösterildiği

yöntem, çeşitli performans göstergelerinin nasıl ve kimler tarafından kullanıldığı ve anlaşıldığı konusunda doğrudan bir etkiye sahiptir.

- Yeşil sertifika sistemleri yeniliği motive etmektedir. Bu sistemler ekonomik üretim ölçeklerine ulaşmak için, malzeme ve ürün tedarikçilerini çevresel olarak yararlı yeni ürünler, hizmetler ve uygulama geliştirmeleri ve bu yeni teknolojilerin maliyetlerini azaltmaları için teşvik etmektedir.
- Yeşil sertifika sistemleri hem kamusal hem de kurumsal bir politika oluşturmak için bir araç sağlamaktadır.

Soebarto ve Williamson (2001), derecelendirme sistemleri olarak bilinen performans değerlendirme araçlarının, tasarım sürecinde tasarımcıya yardımcı olmak yerine tamamlanmış bir tasarıma onay vermek için oluşturulduklarını belirtmektedir. Soebarto ve Williamson (2001)'a göre, bu araçlar tasarım geliştirme konusunda rehberlik etmekte ve tasarım çözümlerinin karşılaştırılabilirliği konusunda bir fikir vermektedir, ancak genel olarak tasarım sürecinde kullanılacak araçlar olarak yetersiz kalmaktadır. Değerlendirme araçlarında tasarımla ilgili önemli zayıflıklar ise Loots ve Irurah (2005) tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- değerlendirmeler kendine ait özelleşmiş bilgi kapsamına sahip ayrı/yeni bir alan gibi uygulanmaktadır.
- değerlendirmeler tamamlanmış projelerin denetlenmesi üzerine kurulmuştur ve böylece raporlanan sonuçlar tümüyle tasarım karar verme sürecinden ayrıdır.
- tasarım özeti oluşturma aşamalarında, tasarımda sürdürülebilirlik hedeflerinin belirlenmesini kolaylaştırmak için değerlendirmelerin kullanıldığı durumlarda, bu değerlendirmeler tasarım alternatifleri oluşturmak için bir yöntem ya da önerilen alternatifleri değerlendirme fırsatı sunmaz.
- tasarım kararları ve bunlarla ilgili değerlendirme sonuçları arasında (tanımlayıcı veya görsel) bağlantıların yokluğu değerlendirme ve tasarım süreçlerinin kenetlenmesini önemli ölçüde zayıflatmaktadır.
- değerlendirmeler, belirli karar sonuçları için teknik kanıt sağlayacak olan detaylı denetim kayıtlarını gizleyen basit bir özet formatında (temelde raporlama araçları olarak hizmet etmektedirler) iletilmektedir.

5. SONUÇ

Sürdürülebilir mimari tasarım, projelendirme aşamasından itibaren yapım aşaması, işletim aşaması ve geri dönüşüm aşamasını içeren süreçler bütününe sürdürülebilirlik ilkelerinin dahil edilmek zorunda olduğu bir tasarım anlayışıdır. Uzmanlık gerektiren ve karşılıklı yoğun etkileşim içinde olan çok sayıda çalışma alanının yer aldığı sürdürülebilir tasarım sürecinde pek çok konuda karmaşık hesaplamalar, analizler ve değerlendirmeler yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada "Bina Performansını Yöneten Sistemler", "Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) Sistemleri" ve "Sürdürülebilir Bina Derecelendirme ve Sertifikasyon Sistemleri" olarak üç grupta ele alınan sürdürülebilirlik değerlendirme araçları, ihtiyaç duyulan karmaşık hesaplamaların, analizlerin ve değerlendirmelerin yapılabilmesinde farklı ihtiyaçlara

cevap veren araçlar olarak sürdürülebilir tasarım sürecindeki rolleri temelinde değerlendirilmiştir.

Yazılım kategorisi genel başlığı altında konumlandırılan bina performansını değerlendiren simülasyon programları, çeşitli konularda belirlenmiş olan performans göstergelerinin farklı değerler ile değerler analiz edilmesi ve elde edilen performansların karşılaştırılarak en iyi sonucu ortaya koyan tasarım seçeneğine karar verilmesi noktasında, tasarım sürecinde karar desteği sağlayan önemli araçlardır. Sürdürülebilir tasarım sürecinde hedeflenen performans seviyesine ulaşmak konusunda “nasıl yapılmalı?” sorusunun değil, “ne yapılmalı?” sorusunun cevabını aramak için kullanılan bu araçlar, sürdürülebilirlik amaçlarını veya hedeflerini sağlayacak alternatif tasarım seçeneklerinin üretilmesi problemine çözüm olamamakla birlikte, mevcut çözüm önerilerinin sonuçlarının karşılaştırılmasında ve değerlendirilmesinde tasarımcılara önemli bir analiz yöntemi sağlamaktadır. Tasarım sürecinin ilgili aşamalarında belirlenen sürdürülebilirlik gereksinimleri bağlamında bina performans simülasyonları yoluyla analizler yapmak ve bu analizler temelinde kararlar vermek sürdürülebilir yaşam çevrelerinin oluşturulmasında tasarımcılara önemli bir karar desteği sağlamaktadır.

Yaşam döngüsü değerlendirme araçları da yazılım kategorisi genel başlığı altında konumlandırılmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir yapının/sistemin/yapı malzemesinin tüm yaşamı boyunca neden olduğu çevresel etkilerin rakamlarla ifade edilmesine ve değerlendirilmesine aracılık eden bir süreçtir. Bu nedenle sürdürülebilir bina tasarımında çözüm arayışları için ideal bir yaklaşım olmakta ve alternatif tasarım önerilerinin değerlendirilerek sürdürülebilir olan en uygun çözümün seçilmesinde tasarımcılara önemli bir karar desteği sağlayabilmektedir. Burada en önemli konu henüz planlama evresinde bir yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin tasarım sürecine entegre edilmiş olması ve hesaplamaların doğruluğu için yeterli verinin sağlanmış olmasıdır.

Sürdürülebilir bina derecelendirme ve sertifikasyon sistemleri pasif sistemlerdir ve hesaplamalar yapmak yerine, daha önceki değerlendirme sonuçları yardımıyla sürdürülebilir tasarım hedeflerinin formülasyonuna ve planlama-karar verme süreçlerinin yönetilmesine yardım etmektedir. Bu bağlamda söz konusu araçlar tasarım geliştirme konusunda tasarımcılara rehberlik etmekte ve tasarım çözümlerini karşılaştırılabilirliği konusunda bir fikir vermektedir, ancak genel olarak tasarım sürecinde kullanılacak araçlar olarak yetersiz kalmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan sürdürülebilirlik değerlendirme araçları, bina tasarımı için hedefleri, amaçları ve/veya gereksinimleri, performans değerlendirmesi için ise analiz ve değerlendirmelerin temel sonuçlarını ortaya koyan performans göstergelerinin sürdürülebilir tasarım sürecine dahil edilmesine yönelik yapısal bir yöntem sağlamakta ve bu şekilde tasarım sürecinde tasarımcılara karar desteği oluşturabilmektedir. Bu bağlamda bina sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının mimari tasarım sürecinde önemli sürdürülebilirlik konuları üzerinde karar verme sürecinin bir parçası olarak rol

oynayabilmesi mümkündür. Bu araçlar, sürdürülebilirlik değerlendirmesi ile karar verme çerçevesi arasındaki arayüz olarak tasarımcıların, farklı seçimlerinin sonuçlarını anlamalarına yardımcı olmakta, karar verme sürecine bilgi sağlamakta ve bu şekilde bina sürdürülebilirlik performansının iyileştirilmesine hizmet etmektedir. Tasarım çözümleri üretmedikleri için sürdürülebilir tasarım sürecinde kullanılacak tasarım araçları olarak yetersiz kalmalarına rağmen, tasarım kararlarının oluşturulmasında, bu kararların değerlendirilmesinde, tasarım alternatiflerinin oluşturulmasında ve tasarım alternatifleri arasından optimum olanın seçilmesinde, bu araçların tasarımcılara karar desteği oluşturma potansiyelleri oldukça önemlidir. Bu bağlamda, bu araçların sürdürülebilir tasarım sürecindeki karmaşık hesaplamaların, değerlendirmelerin ve süreçlerin yapılandırılmasında ve yönetilmesinde çok önemli bir rol oynayacağı göz önünde bulundurularak sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının tasarım sürecinde kullanılma potansiyelleri geliştirilmeli ve en erken aşamalarında itibaren sürdürülebilir tasarım sürecine entegre edilmeleri sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ali, H. H. ve Nsairat, S.F. (2009). Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan. *Building and Environment*, 44, 1053– 1064.
- Assefaa, G. Glaumannb, M. Malmqvistc, T. Kindembed, B. Hulte, M. Myhre, U. ve Eriksson, O. (2007). Environmental Assessment of Building Properties-Where Natural and Social Sciences Meet: The Case of EcoEffect. *Building and Environment*, 42, 1458–1464.
- Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D. ve Ahmad, I. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis. *Automation in Construction*, 20, 217–224.
- Berardi, U. (2013). Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building. *Sustainable Cities and Society*, 8, 72–78.
- Braganca, L., Mateus, R. ve Koukkari, H. (2010). Building Sustainability Assessment. *Sustainability*, 2, 2010-2023.
- Chandratilake, S.R. ve Dias, W.P.S. (2013). Sustainability rating systems for buildings: Comparisons and correlations. *Energy*, 59, 22-28.
- Cole, R. J. (1997). Prioritizing Environmental Criteria in Building Design and Assessment. P.S. Brandon, P.L. Lombardi ve V. Bentivegna (Eds.). *Evaluation of the Built Environment for Sustainability* içinde (183-199), London: E & FN Spon.
- Cole, R. J. (1999). Building environmental assessment methods: clarifying intentions. *Building Research & Information*, 27 (4-5), 230-246.
- Cole, R. J. (2005). Building Environmental Assessment Methods: Redefining Intentions and Roles. *Building Research & Information*, 35(5), 455-467.

- Doğan, G. (2020). Bina Tasarımında Karar Desteği Olarak Sürdürülebilirlik Değerlendirme Araçları. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST)*, 3 (1): 66-91.
- Cole, R. J., Ikaga, T., Howard, N. ve Nibel, S. (2005). Building Environmental Assessment Tools: Current and Future Roles. Issue paper, *World Sustainable Building Conference*, Tokyo.
- Crawley, D. ve Aho, I. (1999). Building environmental assessment methods: applications and development trends. *Building Research & Information*, 27(4), 300-308.
- Ding, G. K. C. (2008). Sustainable construction-The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86, 451-464.
- Ebert, T. Ebig, N. ve Hauser, G. (2011). Green Building Certification Systems: Assessing Sustainability-International System Comparison-Economic Impact of Certifications. *Detail Green Books*. Munich: Institute for International Documentation of Architecture.
- Fenner, R. A. ve Ryce, T. (2008). A comparative analysis of two building rating systems Part 1: Evaluation. *Proceedings of the ICE-Engineering Sustainability*, 161(1), 55-63.
- Fowler, K.M. ve Rauch, E.M. (2006). *Sustainable Building Rating Systems Summary*. PNNL 15858. Pacific Northwest National Laboratory.
- Haapio, A. (2008). *Environmental Assessment of Buildings*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Espoo, Finland: Helsinki University of Technology.
- Haapio, A. ve Viitaniemi, P. (2008). A Critical Review of Building Environmental Assessment Tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 28, 469-482.
- Hopfe, C. J. (2009). *Uncertainty and sensitivity analysis in building performance simulation for decision support and design optimization*. Doktora tezi. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Kajikawa, Y., Inoue, T. ve Goh, T. N. (2011). Analysis of building environment assessment frameworks and their implications for sustainability indicators. *Sustain Sci*, 6:233-246.
- Kim, J. J. ve Rigdon, B. (1998). Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design. *National Pollution Prevention Center for Higher Education*. The University of Michigan, Michigan, 8-15.
- Kohler, N. (1999). The Relevance of the Green Building Challenge: an Observer's Perspective. *Building Research & Information*, 27, 309-320.
- Lamborn, C., Altomonte, S., Luther, M. B. ve Fuller, R. (2006). Ecologically Sustainable Development and Architecture: the impact of rating tools. *The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture-PLEA2006*. 6-8 September 2006. Geneva, Switzerland.
- Lee, W. L. (2013). A comprehensive review of metrics of building environmental assessment schemes. *Energy and Buildings*, 62, 403-413. Lefebvre, H. (1991). *The Social Production of Space*. Oxford: Blackwell.

- Loh E., Crosbie T., Dawood N. ve Dean, J. (2010). A framework and decision support system to increase building life cycle energy performance, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 15, 337-353.
- Loots, M. J. ve Irurah, D. K. (2005). Towards Integration of Sustainability Performance Assessment Outcomes Into Design Decision-Making Processes for Buildings in Southern Africa. *World Sustainable Building Conference*, September 27-29, Tokyo.
- Malmqvist, T., Glaumann, M., Scarpellini, S., Zabalza, I., Aranda, A., Llera, E. ve Díaz, S. (2010). Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Energy*, 1-8.
- Mclennan, J. F. (2004). *The Philosophy Of Sustainable Design*, Ecotone.
- Magent, C. S., Korkmaz, S., Klotz, L. E., ve Riley, D. R. (2011). A Design Process Evaluation Method for Sustainable Buildings. *Architectural Engineering and Design Management*, 5:1-2, 62-74.
- Mateus, R. ve Bragança, L. (2011). Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTool. *Building and Environment*, 46, 1962-1971.
- Morbitzer, C. A., Srtachan, P., Webster, J., Spires, B. ve Cafferty, D. (2001). Integration of Building Simulation into the Design Process of an Architecture Practice. *Seventh International IBPSA Conference*. Rio de Janeiro, Brazil. 13-15 August.
- Morbitzer, C. A. (2003). *Towards the Integration of Simulation into the Building Design Process*. Doktora Tezi. Energy System Research Unit Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde.
- Papamichael, K. (2000). Green building performance prediction/assessment. *Building Research & Information*, 28(5-6), 394-402.
- Sassi, P. (2006). *Strategies for Sustainable Architecture*. Taylor & Francis.
- Soebarto, V. I. ve Williamson T. J. (2001). Multi-criteria assessment of building performance: theory and implementation. *Building and Environment*, 36, 681-690.
- Stender M. ve Walter, A. (2018). The role of social sustainability in building assessment. *Building Research & Information*, 47 (1), 1-13.
- Trusty, W. B. (2000). Introducing assessment tool classification system. *Advanced Building Newsletter*, 25(7), Athena Classification, Athena Institute, Canada.
- Wang, W., Zmeureanua, R. ve Rivard, H. (2005). Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. *Building and Environment*, 40, 1512-1525.
- Wilde, P. 2004. *Computational Support for the Selection of Energy Saving Building Components*. Doktora Tezi. TU Delft.

Doğan, G. (2020). Bina Tasarımında Karar Desteği Olarak Sürdürülebilirlik Değerlendirme Araçları. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST), 3 (1): 66-91.

Wilde, P. ve Voorden, M. (2003). Computational Support for the Selection of Energy Saving Building Components. *Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven, Netherlands. August, 11-14.

http-1: IEA Annex 31, (2004). Energy related environmental impact of buildings. http://www.iisbe.org/annex31/pdf/D_types_tools.pdf (Erişim Tarihi: 19.01.2020).