



COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Akıllı Şehir Rehberlik Uygulamaları Projesi

ULAŞIMDA SANAL İKİZ VE SİMÜLASYONU UYGULAMASI

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

Tüm hakları saklıdır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın izni olmadan bu belgenin hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla (fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi, vs.) çoğaltılamaz.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

ULAŞIMDA SANAL İKİZ VE SİMÜLASYONU UYGULAMASI

Bu kılavuz, akıllı şehir uygulamalarından olan “Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu Uygulaması” yapmak isteyen kurum ve kuruluşlara, projenin geliştirme ve uygulama aşamalarında destekleyici rehber doküman olması amacıyla hazırlanmıştır.

Kılavuzda uygulamaya yönelik bir vaka üzerinden aşamalı ve detaylı olarak açıklama yapılmıştır.

Rehberlik kılavuzu ile uygulamanın projelendirilmesine ve fizibilite çalışmalarının yapılmasına destek olunması hedeflenmektedir.

1. Uygulamanın Tanımı

Ulaşım sistemlerinin analizi, planlaması ve iyileştirmesi için sanal ikiz ve simülasyon teknolojilerinin kullanıldığı projedir. Bu projede, gerçek dünya bulunan ulaşım sistemlerinin sanal kopyası oluşturularak, farklı senaryoların test edilmesi ve performansın değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Sanal ikiz ve simülasyon teknolojileri, mevcut ve potansiyel ulaşım sorunlarının anlaşılmasına, etkili çözümlerin geliştirilmesine ve karar verme süreçlerinin desteklenmesine yardımcı olur. Proje sürecinde, mevcut verilerin toplanması, analizi ve sanal ikizin oluşturulması, simülasyon modellerinin geliştirilmesi ve test edilmesi gibi adımlar yer alır. Böylece ulaşım sistemlerinin verimliliği, güvenliği, sürdürülebilirliği ve kullanıcı deneyimi gibi faktörlerin iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

1.1. Projenin Adı, Uygulama Yeri ve Süresi

- Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu projesinin hazırlık aşamasında ilk olarak projenin adı belirlenir.
- Proje adı belli olduktan sonra projenin uygulama alanı, büyüklüğü ve yapısı belirlenerek projenin ne kadar sürede biteceği planlanır.
- Proje uygulamaya alınmadan önce projenin tanıtıcı özeti olan Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamındaki Proje Fişi hazırlanır.

Örnek Vaka	
Proje Adı	Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu Uygulaması Projesi
Uygulama Alanı	1000 Ha yerleşim alanı – 200.000 kişi
Proje Süresi	12 ay

Akıllı Şehir Proje Fişi, Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamında hazırlanmış olup doküman www.akillisehirler.gov.tr adresinde yayınlanan Akıllı Şehir Bilgi Paylaşım Portalı'ndan erişilebilmektedir.

1.2. Proje Teknik Bileşenleri

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonuna ait teknik bileşenler şunlardan oluşmaktadır:

- Mevcut durum ve geçmişe dair veri temini ve anlamlandırılması
- Danışmanlık hizmetleri
- Gerçek zamanlı veri temini ve işlenmesi
- Sanal ikiz yazılım platformları

1.3. Proje Girdileri

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonuna ait proje girdileri aşağıda sıralanmıştır:

- Proje uygulama alanının krokisi
- Proje uygulama alanının vaziyet planı
- Proje alanında olması düşünülen trafik üretim merkezleri (Konut alanları vb.)
- Trafik üretim merkezlerinin detaylı bilgileri (Konut sayısı, yaşaması öngörülen hane halkı sayısı, otopark giriş çıkış noktaları vb.)
- Proje alanında yer alan trafik çekim merkezleri (AVM, okul vb.)
- Trafik çekim merkezlerinin detaylı bilgileri (Mağaza sayısı, otopark giriş çıkış noktaları vb.)
- Çeşitli noktalardan sensörler aracılığıyla alınacak yön ve taşıt tipi bazlı trafik sayımları
- Gerekli görülen kavşak noktalarında gerçek zamanlı olarak veri temin edebilecek sensörler ve işlemciler
- Gerekli görülen koridorlar için anlık olarak trafik yoğunluğunu ve hızını hesaplamak için yeterli veri setleri ve işlemciler
- Gerçek zamanlı verinin gerekli görüldüğü perde ve kordon gibi trafik akımı için önemli rol oynayan noktalara gerçek zamanlı veri temin edebilecek sensörler ve bu verileri yine gerçek zamanlı anlamlandırabilecek işlemciler
- Söz konusu uygulama alanının çevresinde yer alan toplu taşıma hatlarına dair bilgiler (Güzergâh, çalışma takvimi vb.)

- Gerekli görülmesi durumunda toplu taşıma doluluk oranlarını gerçek zamanlı olarak algılayabilecek sensörler ve bu sensörler sayesinde elde edilecek verileri gerçek zamanlı olarak işleyebilecek işlemciler
- Gerekli görülmesi durumunda mikro mobilite çözümleri için kullanılacak olan araçların gerçek zamanlı olarak takip edilmesini sağlayacak sensör ve işlemciler
- Toplu taşıma, acil durum araçları gibi araçların anlık olarak takip edilmesini ve çalışma takvimlerine göre durumlarını analiz edebilecek sensörler ve işlemciler

1.4. Beklenen Çıktılar

Sanal ikiz ve Simülasyon için aşağıdaki kriterlere göre mevcut durum, gelecekte simülasyondan çıkan analizler sonucu oluşan sorunların çözülmemesi halinde oluşacak durum, gelecekte proje yapıldığında beklenen durum ve gelecekte yapılması tavsiye edilen iyileştirmeleri içeren durumu oluşturmak için kullanılacaktır:

- Proje alanında dış ve iç etmenlerle oluşması beklenen trafik miktarı ve yoğunluğu
- Üretilen trafik miktarı, çekilen trafik miktarı kriterleri
- Proje alanı dışında kalan alanlara ulaştırma perspektifinden etkisi
- Proje alanının dışında kalan alanların proje alanına ulaştırma perspektifinden etkisi
- Proje alanı içerisindeki zamana bağlı olması beklenen hareketlilik haritası
- Proje alanını ilgilendiren mikro mobilite araçlarının ve toplu taşıma araçlarının doluluk oranlarını gösteren bir ara yüz
- Proje alanı içerisindeki ulaşım modları için başlangıç-varış matrislerinin çıkartılması ve bu sayede bölgedeki hareketliliğin ne şekilde ve nereye yapıldığının yorumlanması
- Proje alanı içerisindeki mikro mobilite araçlarının dinamik ve statik bilgilerine erişim, hat tabanlı yolcu üretiminin analizi
- Proje alanı içerisindeki toplu taşıma hatlarının dinamik ve statik bilgilerine erişim, hat tabanlı yolcu üretiminin analizi
- Proje alanı içerisindeki toplu taşıma durak yoğunluğu, hat benzerliği, hız ve tarife güvenilirliği analizi ile seçilen hatların performans ölçümleri
- Proje alanındaki yol ağı ve kavşaklara ait standartlara uygun geometrik tasarımlar
- Proje alanı içerisindeki kavşaklara ait performans bilgileri (Hizmet seviyesi, talep, toplam gecikme süresi, taşıt başına düşen durma sayısı vb.)
- Entegre ve çok modlu bir ulaşım ağı tavsiyeleri ve tavsiyelerin sağlanması beklenen faydaları

1.5. Projenin performans göstergeleri

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu uygulamasının performans göstergeleri, projenin başarı seviyesini ölçmek için kullanılan ölçülebilir ve belirli hedeflerdir. Bu performans göstergeleri, Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu projesinin amaçlarına ulaşip ulaşmadığını değerlendirmek, etkinliğini ve verimliliğini ölçmek için kullanılır.

Performans göstergeleri arasında:

- Ulaşımdan kaynaklanan zararlı gaz salınımlarının ortalama en az %15 oranında düşürülmesi
- Trafik kazaları kaynaklı ölümlerin azaltılması ve uzun vadede sıfırlanması
- Trafik kaynaklı bekleme sürelerinin ve gecikmelerin ortalama en az %15 oranında azaltılarak minimize edilmesi
- Erişilebilir ulaşım sistemlerinin sıklığının artırılması
- Hareketliliğin müspet yönde etkilenmesi
- Başlangıç varış noktaları arasındaki entegre ulaşım sistemlerinin yeterlilik yüzdelerinin artırılması
- Ulaşımdan kaynaklanan gürültü kirliliğinin minimize edilmesi
- Toplam seyahat sürelerinin azaltılarak minimize edilmesi
- Kooperatif akıllı ulaşım sistemlerinin sıklığının bütün ulaşım modları için artırılması ve bu sayede de ulaşım için veri depolanması ve bu verilerin anlamlandırılması (Toplu taşıma akıllı kart verileri vb.)
- Anlamlandırılan verilerin gelecekteki ulaştırma yatırımları için kullanılması
- Ulaşım modları arası entegrasyonun artırılması ve bir hizmet olarak mobilite yaklaşımının benimsenmesi

2. Proje Kapsamı ve Gerekçe

2.1. Proje Kapsamı

Proje alanında gerçekleştirilecek olan ulaştırma faaliyetlerinin çeşitli modlar arasındaki entegrasyonunun ve bu modların ayrı ayrı kullanılabilirlik ve verimliliklerinin artırılmasını amaçlayan ulaştırma sanal ikizi üzerine odaklanmaktadır. Gerçek hayatta olması beklenen ve mevcut olan durumların sanal ortama aktarılması, ulaştırma yatırımlarının daha doğru bir şekilde yapılmasını

sağlayacaktır. Bu doğru yatırımlar ve sanal ortamdaki veriler, yakın gelecekte hayatımıza girecek olan otonom sistemlerin mevcut sistemlere daha hızlı bir şekilde entegre edilmesine ve halkın otonom sistemlere daha olumlu bakmasına katkıda bulunacaktır. Bu proje, bir anlamda otonom sistemlerin alt yapısının oluşturulmasına başlanması anlamına gelmektedir.

2.2. Proje Gerekçesi

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu projesi, bir dizi temel gerekçe üzerine kurulmuştur. Bu proje, maliyet tasarrufu sağlayarak gerçek dünyada test ve prototip gereksinimlerini azaltabilir. Aynı zamanda, sistem tasarımlarının ve değişikliklerin potansiyel risklerini önceden belirleyerek risk azaltma imkânı sunar. Tasarım ve optimizasyon süreçlerini kolaylaştırarak daha etkili ve sürdürülebilir ulaşım sistemleri oluşturmayı hedefler. Personel eğitimi için kullanılarak operatörlerin, mühendislerin ve diğer personelin pratik yapma yeteneklerini geliştirir ve zaman tasarrufu sağlar. Ayrıca, çevresel etkileri önceden değerlendirme ve kullanıcı deneyimi ile güvenliği artırma konularında önemli bir rol oynar. Bu nedenlerle, Sanal İkiz ve Simülasyonu projesi, ulaşım sektöründe inovasyonu desteklemek ve süreçleri optimize etmek için yaygın olarak benimsenmelidir.

Proje Amaçları

- Oluşması muhtemel ulaştırma sorunlarının henüz oluşmadan saptanması
- Ulaşım sistemlerinin verimliliğinin artması
- Ulaşımındaki bütün modların trafik güvenliği açısından müspet yönde etkilenmesi
- Ulaşım sistemlerinin entegre bir şekilde kullanılması
- Ulaşımında çevreci bir yaklaşım sergilenmesi
- Taşıt hareketliliği odaklı değil insan hareketliliği odaklı bir ulaşım ağı tasarımı
- Herkes tarafından erişilebilir ulaşım sistemleri
- Ulaşım ağının gerekli teknolojiler ile donatılması (Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) & Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri K-AUS uygulamaları)
- Başlangıç ve varış noktaları arasındaki ulaşım modlarının optimize edilmesi

2.3. Mevcut Durum

Proje konusu ile ilgili dünyada mevcut durumun tespiti

- Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonuna yönelik dünyadaki güncel trendler incelenir.
- Bu trenlere bağlı güncel teknoloji, yazılım, otomasyon, ekipman, yapı, ürün vs. incelenir.

Proje konusu ile ilgili Türkiye’de mevcut durumun tespiti

- Türkiye'deki mevcut Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonuna yönelik alt ve üst yapı uygulamaları incelenir.
- Proje için gerek duyulan alanlarda hizmet alınabilecek firmalar belirlenir.

Daha önce yapılan çalışmaların başarı-başarısızlık durumlarının tespiti

- Bu uygulamaları gerçekleştiren kurum ve firmalarla bilgi-tecrübe-fikir alış verişi yapılır.
- Başarılı süreçler arasında kıyaslama yapılarak bölge için en uygun teknoloji, yapı, ekipman, otomasyon, yöntem ve ürün belirlenir.
- Süreç içerisindeki karşılaşılan olumlu ve olumsuz durumlara dair bilgi notları hazırlanır ve bilgi havuzuna eklenir.

Önceden gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarının bazıları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

- Malatya ili Beydağı Kavşağı için, mevcut durum analizi, geometrik düzenleme önerisi ve sinyal planı önerisi simülasyon yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve idare tarafından elde edilen olumlu sonuçlar doğrultusunda sahada uygulanmıştır.
- Mersin Marina için yapılan trafik etki analizi çalışmalarında simülasyon yazılımlarına sık sık başvurulmuş ve çalışmaların sonuçları ve önerileri, Mersin Marina işletmecilerinin kararlarını şekillendirmelerine yardımcı olmuştur.
- Bir demir çelik fabrikasına yönelik yatırımların trafik etkisi ve sonuçlarının anlaşılması için gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları, fabrika yönetiminin yatırım kararlarını düzenlemelerine ve tekrar planlayarak hayata geçirmelerine katkı sağlamıştır.
- Urfa ili için, idarenin talep ettiği kavşaklarda yapılan taşıt sayımlarıyla birlikte simülasyonlar gerçekleştirilerek mevcut durum analiz edilmiş ve ardından CAD yazılımları kullanılarak geometrik düzenleme önerilerine göre şimdiki ve gelecek yıllar için gerekli analizler yapılmıştır.
- Amerika'nın Kaliforniya eyaletinde bir işletme, otel ve eğlence merkezi kompleksinin genişletilmesi için istenen trafik etki analizi, simülasyon ortamının da desteğiyle gerçekleştirilmiş ve işletmenin kararların sonuçlarını daha hızlı bir şekilde sanal ortamda görmesi sağlanmıştır.

Yukarıda özetlenen çalışmalar, mevcut ulaşım ağının mikro ve mezo ölçekte sanal ikizinin çıkarılması konusunda önemli bir deneyim kazanılmasını sağlamıştır. Bu deneyimler, gerçek bir alanın tam olarak simülasyon ortamına aktarılması ve ulaşım dair karakteristik özelliklerin (sürücü davranışları, şerit değiştirme, parklanma vb.) aktarılması gibi konularda bilgi birikimini içermektedir. Ayrıca, farklı türde verilerin bu çalışmalara entegre edilmesi de deneyimlenmiştir. Örneğin, bazı çalışmalarda trafik sayımları kullanılmışken, diğerlerinde gelecek senaryoların projeksiyonları ve tahminleri yapılmıştır. Tüm projeler başarıyla tamamlanmış ve teslim edilmiştir. Her projenin ardından, yaşanan zorluklar ve

risk faktörleri değerlendirilmiş ve gelecekteki çalışmalara ışık tutmak amacıyla önlemler belirlenmiştir. Aşağıda bazı risk faktörleri listelenmiştir ve bu faktörlerin göz önünde bulundurulması bir sonraki projelerde önem taşımaktadır.

- **Standart Dışı Uygulamalar:** Sistemde geometrik düzen gibi standart dışı uygulamalar varsa ve bunların sayısı fazlaysa, sistem kalibrasyonu zorlaşmakta ve hata payları artmaktadır. Bu artan hata payları nedeniyle sanal ikizin tam olarak işlevini yerine getirememesi riski bulunmaktadır. Bu durum, yanlış kararlar alınmasına yol açabilir. Bu sorunu önlemek için, sanal ikiz oluşturan ekip ulaştırma mühendisliği konularında uzman olmalıdır.
- **İnsan Faktörü:** Simülasyon programlarında sürücü davranışları modellenilebilir olsa da, insan faktörü zaman zaman ve konuma bağlı olarak değişebilir. Ulaştırmanın temelinde insan olduğu göz önüne alındığında, sanal ikizlerin işlevlerini tam olarak yerine getirebilmeleri için ulaştırma mühendislerinin uygun sürücü davranış profillerini oluşturması gerekmektedir. Aksi takdirde yanlış yönlendirilmiş kararlar alınabilir.

Literatür Araştırması

Literatür araştırması kısmı, bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında bilgi vermek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarını sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Proje konusunun tarihsel süreci

Sanal ikiz teknolojisi, 1960'lı yıllara kadar uzanan bir geçmişe sahip olmasına rağmen, önceden çok fazla bahsedilmemiştir. İlk olarak NASA tarafından 1960'lı yıllarda uzay roketleri için kullanılmıştır. NASA, uzay programlarında sistemleri eşleştirmek için temel eşleştirme fikirlerine ihtiyaç duymuştur ve bunu, yer seviyesinde fiziksel olarak kopyalanmış sistemler oluşturarak gerçekleştirmiştir [7] [8]. NASA, Apollo 13'teki koşulları değerlendirmek ve simüle etmek için geliştirdiği sistemler sayesinde sanal ikiz teknolojisinin temellerini atmıştır ve ayrıca bir uzay görevini test etmek ve maliyet hesaplaması yapmak için ilk kez sanal ikiz teknolojisini kullanmıştır. Bu terim, 2002 yılında NASA danışmanı Dr. Michael Grieves tarafından Michigan Üniversitesi'nde yapılan bir sunumla genel olarak duyulmuştur [9].

Berlin şehri için yapılan sanal ikiz çalışmasında şehrin topoğrafik yapısı ve ulaşım ağı entegre edilmiştir. Sanal ikiz uygulamasına Berlin'de yaşayanların çalışma, sosyal ve konut alanları, yoğun parklanma alanları, elektrikli scooter park alanları, kentsel mobilite yoğunluğunun güzergâhları gibi birçok farklı veri eklenmiştir. Bu verilerle sanal ikizde kent makroformu oluşturulmuş ve çeşitli senaryolar üretilmiştir. Bu senaryolar doğrultusunda bireylerin farklı ulaşım modları kullanarak en hızlı şekilde istedikleri noktaya nasıl gidebilecekleri modellenmiştir. Bu sayede çok modlu ulaşımın toplumla buluşturulması ve yüksek verimlilik sağlanması amaçlanmıştır.

Bu rehberlik kılavuzuna konu olan projenin temelini oluşturacak olan sanal ikiz uygulaması ise ulaşım alanı temellidir.

Proje konusu ile ilgili dünyada mevcut durum

Geçmiş yıllarda, ülkeler genellikle ekonomik açıdan kalkınmayı ön planda tutarak, çevresel ve sosyal sorunları göz ardı etmişlerdir. Ancak son zamanlarda, bu sorunların insanlık için ne kadar tehlikeli olabileceği anlaşılmış ve çözüm arayışları başlamıştır. Bu çözüm arayışları sırasında, ekonomik, çevresel ve sosyal alanlarda sürdürülebilir kalkınma kavramı önem kazanmış ve sürdürülebilir kalkınmanın bütünsel bir yaklaşım gerektirdiği fark edilmiştir. Sürdürülebilir kalkınma, günümüzde kalkınmanın sağlanmasıyla birlikte gelecek nesillerin kendi kalkınma ihtiyaçlarını da tehlikeye atmadan gerçekleştirilmesini ifade etmektedir.

Ulaştırma sektörü, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal alanlarına doğrudan etki eden önemli bir unsurdur. Bu gerçeğin farkında olan ülkeler, sürdürülebilir ulaşım için hızla yatırımlar yapmaya başlamış ve diğer ülkelere öncülük etmişlerdir. Bu bağlamda, kentsel alanlarda, hareketlilik ve erişim ihtiyaçlarının en ekonomik ve çevreye duyarlı şekilde karşılanması amacını taşıyan sürdürülebilir kent içi ulaşım kavramı gündeme gelmiştir.

Nüfusun hızla artması ve buna bağlı olarak taşıt sayısının artması, dünya genelinde ulaşımı kolaylaştırırken birçok soruna da yol açmaktadır. Trafik kazaları, çevreye zararlı emisyonlar, trafik tıkanıklığı, gürültü kirliliği gibi sorunlar, bu duruma bağlı olarak ortaya çıkan problemlerden sadece birkaçıdır. Bu sorunların çözümü için sürdürülebilir ulaşım kavramı önemlidir ve uygulanacak değişikliklerin veya önlemlerin sonuçlarını önceden tahmin etmek büyük önem taşır. Bu nedenle, bu hedefe yönelik çaba sarf eden ülkeler, değişikliklerin ve ortamın etkilerinin sanal ortamda belirlenerek öngörülmesine önem vermektedirler. Bu şekilde, uygulamalar veya değişiklikler hayata geçmeden önce, geri dönüşü zor olan yollara girilmeden karar değişiklikleri ve revizyonlar yapılabilir.

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, ulaşımadaki sorunların çözüm yöntemleri teknoloji odaklı hale gelmeye başlamıştır. Bu duruma örnek olarak, dünyaca ünlü bir tarayıcı platformunun yeni bir özellikle toplu taşıma araçlarının doluluk oranını gösterme yeteneğine sahip hale gelmesi verilebilir. Daha önce benzer bir hizmet sunan platform, güncellemesiyle bu özelliği gerçek zamanlı olarak sunabilmektedir. Platform bu durumu gerçek zamanlı hale getirme kararı alarak mevcut toplu taşıma hatlarının ve bu hatlarda hizmet veren taşıtların sanal ikizlerini çeşitli algoritmalarla oluşturmakta ve gerçek zamanlı verilerle sanal ikizlerdeki yoğunluk oranlarını güncellemekte ve kullanıcılara sunmaktadır. Bu sayede, hem kullanıcılar hem de işletmeciler doluluk oranlarına göre gereken önlemleri alabileceklerdir. Bu örnek, daha küçük ölçekte uygulamaları bulunan sanal ikiz kavramının ulaşım alanında ne kadar geliştirilebileceğini gösteren bir örnek olarak ele alınabilir [6].

Bu kapsamda şehir bazlı bir örnek olarak Çin'de bulunan Yingtan şehri verilebilir. Bu şehir, kent sanal ikizi oluşturma konusunda öncü bir rol oynamakta ve çalışmalarını hızla sürdürmektedir. Şehir yönetimi, "IoT (Nesnelerin İnterneti) tabanlı Akıllı Yingtan" vizyonunun bir parçası olarak, "Tek Merkez, Dört Platform" modeline dayalı entegre hizmetler sağlayan bir sistem oluşturmuştur. Bu çerçevede, ulaşım, aydınlatma, park alanları, atık su yönetimi gibi 43 farklı hizmet kategorisinde IoT uygulamalarına başvurulmuştur. Bu sayede, vatandaşların yaşam kalitesini iyileştiren sanal ikiz platformları oluşturulmaktadır [4].

Singapur, teknolojik alanlardaki ilerlemesiyle bilinen bir ülke olarak örnek olarak verilebilir. Devlet kurumları tarafından ortaklaşa gerçekleştirilen Sanal Singapur projesi, sanal ikiz çalışmalarına güzel bir örnektir. Bu projede, dinamik üç boyutlu bir şehir modeli ve teknolojik iş birliğine dayalı bir veri platformu geliştirilmiştir. Bu sayede bitki örtüsü, mevcut inşaat işleri, sulama işleri, ulaşım altyapısı gibi birçok hizmet alanı en ince detaylarıyla sanal ikizlerde görüntülenebilmektedir. Bu veriler, stadyumdaki bir etkinliği simüle etmek için tahliye planı oluşturmak gibi çeşitli devlet kurumları tarafından farklı amaçlarla kullanılmaktadır [4].

Bir başka örnek olarak Almanya'nın Hessen eyaletine bağlı Darmstadt şehri verilebilir. Şehirde 182 kavşak noktasında, görüntü tabanlı analiz kabiliyetine sahip kameralar ve termal teknoloji ile donatılmış kameralardan oluşan bir izleme sistemi bulunmaktadır. Bu sistem, kavşak bölgesinde ve yaklaşım kollarında bulunan araçlar, yayalar ve bisikletlilerin tespiti, sayımı ve yoğunluğu bilgisini gerçek zamanlı olarak üretir ve bunları görselleştirir. Bu veriler, bir trafik yönetim yazılımı aracılığıyla Trafik Kontrol Merkezi'ne iletilir ve operatörlere geçmiş verilerle karşılaştırma yaparak gerekli optimizasyon işlemleri için bilgi sağlar. Ayrıca, kavşakta meydana gelebilecek ani yaya veya araç yoğunluğuna uzaktan müdahale imkânı da bulunmaktadır. 2015 yılında kullanıma sunulan trafik lambası asistanı uygulaması ise Trafik Kontrol Merkezi'nden alınan dedektör bilgilerini kullanarak gerçek zamanlı trafik koşulları hakkında bilgi sağlar. Bu uygulama, her kavşağa ait geçmiş süre verilerini, Trafik Kontrol Merkezinden gelen hareketli taşıt verisi (floating car data, FCD) ve akıllı şehir ışıklarından gelen bilgilerle birleştiren bir öngörü algoritmasıyla sürücülere, hareket halindeyken karşılaştıkları trafik ışığı durumlarını önceden aktarır ve kavşaklardaki dur-kalk hareketlerini azaltmaya yönelik bir güncellemeyle pekiştirilmiştir (Şekil 1) [5].



Şekil 1. TKM yazılımı ara yüzü [5]

Proje konusu ile ilgili Türkiye’de mevcut durum

Türkiye’de ulaştırma sektöründe, simülasyon teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak tam anlamıyla bir sanal ikiz projesine rastlanmamıştır. Genellikle klasik simülasyonlar yapılırken yol ağları çizilir, taşıt hacimleri ve sürücü özellikleri gibi bilgiler girilir. Bununla birlikte, CAD çizimleri ve sensörlerden gelen anlık veriler (taşıt hacmi, bileşimi vb.) kullanılırsa, simülasyonların hata payı önemli ölçüde azaltılabilir ve sistemin sanal ikizleri oluşturulabilir. Ulaştırma sektörünün istatistiksel olarak hayatımızdaki önemi göz ardı edilemez. Artan nüfus ve taşıt sayısından kaynaklanan trafik problemlerini en aza indirmek için çeşitli sanal ikiz uygulamalarının hayata geçirilmesi son derece önemlidir.

Ülkemizde ulaştırma sektöründe, tam anlamıyla sanal ikiz projeleri olmasa da, simülasyon çalışmaları yazılım araçlarıyla sık sık gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde yaklaşık 150 kurumda 400 simülasyon yazılımı bulunmakta ve aktif olarak kullanılmaktadır. Bu simülasyon araçları, toplu taşıma sistemlerinin analizi, akıllı ulaşım sistemlerinin analizi, trafik etki analizleri, kavşak analizleri, yaya modunun analizi gibi birçok alanda kurumlar ve bireyler tarafından kullanılmaktadır. Simülasyon çalışmalarının yapıldığı bazı projeler aşağıda listelenmiştir:

- Türkiye Ulaştırma Ana Planı
- TCDD’nin çeşitli analizleri
- Yerel yönetimler tarafından yapılan kavşak analizleri

- Çeşitli sektörler için yapılan trafik etki analizleri

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının akıllı ulaşım alanında yürütmekte olduğu çeşitli projeler bulunmaktadır. Bu projelerden ilki “Kent İçi Hareketlilik Analizleri Yazılımı”dır. Ülkemizde Belediyelerce gerçekleştirilecek akıllı ulaşım projelerinin etkin bir şekilde uygulanması için gerçekçi analiz yöntemleri geliştirilmesi, modellemeler doğrultusunda uygulamaların sürekli olarak iyileştirilmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda, sadece araçların değil, yayaların, toplu taşıma güzergâhlarının, bisiklet yollarının analizinde kent içi hareketlilik analizlerinin yapılmasına yönelik yazılım geliştirilmesi tamamlanmış olup bu yönde belediyelerde kapasite geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda ülkemizin ihtiyaçları gözetilerek açık kaynak kodlu yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın ara yüzleri kullanıcı dostu bir şekilde tasarlanmıştır. Belediyelere yazılım üzerinden ulaşım analizi eğitimleri verilecektir. Böylelikle ülke ölçeğinde hayata geçirilecek ulaşım projelerine yönelik analizlerin gerçekleştirilebileceği bir platform tüm ülkenin hizmetine ücretsiz olarak sunulacak, ülkemizde veriye dayalı karar destek sistemlerinin yaygınlaştırılmasına ve yatırımların etkin bir şekilde projelendirilmesine katkı sağlanacak, kaynak israfının ise önüne geçilecektir.



Şekil 2. Kent İçi Hareketlilik Analizleri Yazılımı

Bir diğer proje “Trafik Güvenliği Analiz Platformu”dur. Akıllı ulaşım unsurları kullanılarak seyahat sürelerinin kısaltılması ve ulaşımın daha konforlu hale getirilmesi kadar trafikteki mal ve can güvenliğinin azami ölçüde korunması da hayati önem arz etmektedir. Bu doğrultuda ulaşımın güvenliğini artırılması için trafik verilerinin etkin bir şekilde kullanılması ve trafik güvenliğine yönelik veriye dayalı bir karar destek mekanizmasının oluşturulması vizyonu ile “Trafik Güvenliği Analiz Platformu” projesi hayata geçirilmiştir. Proje ile yol altyapısı, trafik bilgileri, iklimsel koşullar ve kaza verileri gibi yol güvenliğine dair farklı kurumlar ve paydaşlarca derlenen verilerin tek bir merkezde toplanması sağlanmaktadır. Geçmiş kaza verileri, yol altyapısı, yol durumları, mevsimsel koşullar gibi

trafik güvenliği kapsamında değerlendirilebilecek büyük veri analiz edilmekte, kaza unsurlarının ilişkileri irdelenmekte ve kazaya sebebiyet veren en temel bileşenler yapay zekâ teknolojileri kullanılarak ele alınmaktadır.



Şekil 3. Trafik Güvenliği Analiz Platformu

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliğinin hayata geçirdiği bir akıllı ulaşım projesi ise “Gerçek Zamanlı Araç ve İnsan Sayımı Uygulaması”dır. Bilindiği üzere ülkemizde yerel yönetimler tarafından çeşitli yazılımlar aracılığı ile düzenli aralıklarla veya ihtiyaç doğrultusunda şehirlerin arterlerinde ulaşım simülasyonları ve modellemelerini içeren kapsamlı kent içi hareketlilik analizleri yapılmaktadır. Kent içi hareketlilik analizi için gerekli olan temel bileşen ulaşım verileridir. Ülkemizde yerel yönetimlerin söz konusu ulaşım verilerini elde etmek için maliyeti yüksek, bakım gerektiren ve çoğunluğu ithal olan çeşitli sensörler kullandığı görülmektedir. Kent içi ulaşımı daha verimli aşamaya getirmek için, bahsedilen sensörlere alternatif olarak şehirlerdeki mevcut kameralar üzerinden yapay zekâ desteğiyle gerçek zamanlı araç ve insan sayma uygulaması planlanmıştır. Bu uygulama aracılığıyla yerel yönetimler tarafında sensör, iletişim altyapısı vb. gibi herhangi bir donanım gerektirmeden mevcut kamera altyapısı kullanarak görüntüler üzerinden gerçek zamanlı sayım yapılması amaçlanmıştır. Araba, kamyonet, bisiklet, yaya, motosiklet vb. gibi trafik aktörlerini ayrı ayrı sayma yetkisine sahip yapay zekâ modeli kullanılarak ulaşım planlamasının gözleme değil veriye dayalı olarak gerçekleştirilmesi ile yatırımların daha doğru ve etkin bir şekilde hayata geçirilmesine, kaynak israfının önlenmesine ve yaşam kalitesinin artırılmasına önemli katkılar sağlanacaktır.

Projenin bağlantılı olduğu alanlar

Ulaştırma alanının ilişkide olduğu bütün alanlar proje ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilişkilidir. Hareketliliği gerektiren bütün alanların ulaştırma alanına ihtiyacı olduğu düşünülürse, projenin bağlantılı olduğu alanlar oldukça geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu projesinin bağlantılı olduğu alanlar listelenmiştir:

- Sağlık

Sanal ikiz uygulaması, maliyeti yüksek olan AUS ve K-AUS uygulamalarının sahada test edilmeden önce sistemde test edilmesini ve performans kriterlerine göre sahada uygulanmasını mümkün kılar. Örneğin, öncelikli araç (ambulans) geçişi gibi uygulamaların etkin kullanımı sağlık sistemine olumlu yönde etki edecektir. Ayrıca, servis yollarının konumlandırılması da sanal ikizler aracılığıyla optimize edilebilir.

- Eğitim

Sanal ikizler aracılığıyla, okul çevrelerinde kullanılacak AUS ve K-AUS uygulamalarının fizibilitesi yapılabilir, bu sayede okul servislerinin kavşaklardaki öncelikleri, doluluk oranlarına göre arttırılabilir. Ayrıca, öğrencilerin servis bekleme alanlarının konumu optimize edilerek servis hizmeti olumlu yönde etkilenmesi sağlanabilir. Trafik güvenliği açısından kritik olan okul çevresindeki ulaşım ağı sanal ikizlerle değerlendirilerek güvenlik parametreleri artırılabilir.

- Ekonomi

Sanal ikizlerin önerdiği uygulamalarla bekleme sürelerinin azalması ve ulaşım sistemlerinin iyileştirilmesi sayesinde fosil yakıt kullanımında ekonomik yükü azaltan olumlu etkiler beklenmektedir.

- Çevre

Sanal ikizler tarafından önerilecek kararlarla bekleme sürelerinin azaltılması ve taşıt kullanım oranının düşürülmesi sayesinde ulaşım sistemleri entegre hale gelecek ve çevre için zararlı gaz emisyonları azaltılacaktır.

- Sosyal

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu projesi aracılığıyla yeni yerleşim alanlarında karşılaşılabilecek muhtemel ulaşım problemleri (dolaşım, park alanı, uzun bekleme süreleri, otopark giriş-çıkışları, ulaşım altyapısı vb.) önceden tespit edilebilir. Ayrıca planlanan ulaşım altyapısının sorunlarının önceden belirlenmesi ve iyileştirme önerilerinin sanal ortamda farklı senaryolar üzerinde değerlendirilmesi, yerleşim alanındaki vatandaşların sorunsuz bir şekilde ulaşım altyapısından faydalanmalarını sağlayacaktır.

2.4. İhtiyaç Analizi

Projeye duyulan ihtiyacı ortaya koyan verilerin incelenmesi

Ulaşımın giderek artan önemiyle birlikte, ulaşımı etkileyen faktörlerin kontrol edilmesi de önem kazanmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir ulaşımın istatistiksel olarak ne kadar önemli olduğunu

göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun bir çalışmasına göre, 2023 Ocak-Nisan dönemi itibarıyla Türkiye'de trafiğe kayıtlı araç sayısının 27 milyonu geçtiği [1] ve bu sayının neredeyse her 3 kişiye bir araç düşmesine denk geldiği görülmektedir [2]. Ayrıca, TÜİK'in paylaştığı verilere göre, sera gazı envanteri sonuçları değerlendirildiğinde, 2021 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %7,7 artarak 564,4 milyon ton (Mt) CO2 eşdeğeri (eşd.) olarak hesaplanmıştır [3].

Proje ile ilgili beklentiler ve paydaşlara sağlanan faydalar ile çözüm getirilen problem ve sıkıntıların tespiti

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu projesinde bazı temel beklenti ve faydalar şunlar olabilir:

- Olası hata ve risklerin önceden tespit edilmesiyle birlikte maliyetli revizyonlardan kaçınılması
- Fiziksel prototiplerin oluşturulmasına gerek kalmadan tasarım ve mühendislik süreçlerini gerçekleştirme imkânı sunması
- Daha verimli ve iyileştirilmiş tasarımların belirlenmesine yardımcı olması
- Prototip aşamasında hızlı iterasyonlar yaparak, daha hızlı ve yenilikçi çözümler elde edilmesini sağlaması
- Sürüş güvenliğinin artırılması ve yeni sürücü destek teknolojileri geliştirilirken insan güvenliğinin ön planda tutulması
- Sürücü eğitimi ve operatör becerilerinin geliştirilmesi için etkili bir platform ve güvenli bir alan sağlaması
- Trafik yoğunluğunu azaltma, toplu taşıma verimliliğini artırma ve çevre dostu ulaşım çözümleri geliştirme konularında fayda sağlayarak trafik akışını ve ulaşım altyapısını optimize etmesi
- Ulaşım sistemlerinin verimliliğini ve performansını anlamak için kullanılan veri analizi ve görselleştirmeleri sağlaması
- Karar verme süreçlerini daha bilgi odaklı hale getirmesi ve daha sağlam stratejiler oluşturmayı desteklemesi

Yukarıda özetlenen beklentiler göz önünde bulundurulduğunda Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu projesi için hedefler tespit edilmiştir:

- a) Projenin temeline yerleştirilen yeni yerleşim alanının etkin bir ulaşım modelinin sanal ortamda yaratılması
- b) Ulaşım modelinin oluşturulmasının ardından yapılacak parametrik testler ile ulaşım sisteminin verimliliğinin ölçülmesi ve iyileştirme senaryolarının belirlenmesi
- c) Ulaşım altyapısının verimli kullanımının garanti altına alınması ile yakıt tüketimi ve emisyon kaynaklı olumsuz çevresel etkilerin minimize edilmesi

- d) Çok modlu bir yaklaşımın sanal ikiz ortamında yaratılması aracılığıyla insan odaklı bir ulaşım anlayışının hayata geçirilmesinin sağlanması
- e) Yeni yapılacak yerleşim alanındaki ulaşım altyapısının erişilebilirliğinin tespit edilmesi
- f) Bu alandaki ulaşım ağında AUS ve K-AUS uygulamalarının hayata geçirilmesi ile sistem verimliliğinin artırılması, ulaşım modlarının etkinliğinin desteklenmesi ve birbirleriyle etkin ilişkisinin kurulması

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu projesinin paydaşlara sağladığı faydaların yanı sıra, projenin çözüm getirdiği problem ve sıkıntılar da bulunmaktadır.

Proje paydaşları, ulaşım sistemlerinden doğrudan etkilenecek olan sistem kullanıcıları, sistem operatörleri ve idareler olarak düşünülebilir. Ulaşım sistemleriyle ilgili kararlar alınırken ve yatırımlar yapılırken sanal ikizlerin kullanımı, risk faktörünü en aza indirgeyecek ve aşağıda belirtilen kriterleri olumlu yönde geliştirecektir. Proje sonucunda, projenin etki alanında yaşayan vatandaşların ulaşım ihtiyaçlarının karşılanması sırasında ulaşım sistemlerinin doğrudan etkilediği aşağıdaki kriterler de iyileştirilecektir:

- Verimlilik
- Maliyet
- Ulaşımında konfor
- Erişilebilirlik
- Sürdürülebilirlik
- Gürültü kirliliği
- Çevreye verilen zarar

Projenin etki alanı dışındaki bölgelerin, analizler sonucunda ulaşım açısından olumlu etkileneceği öngörülmektedir. Bu durumda, proje alanıyla dışarıdaki alanlar ulaşım anlamında birbirlerini olumlu yönde etkileyeceklerdir. Bu durumun temel nedeni, projenin sadece proje alanı içindeki ulaşım faktörlerini değil, aynı zamanda dışarıdaki ulaşım unsurlarını da göz önünde bulundurarak hayata geçirilecek olmasıdır.

Projenin başarılı olmasını sağlayacak güçlü yönlerin ve başarısızlığa neden olabilecek zayıf yönlerin tespiti

- Güçlü Yönler
 - Gerçek dünya prototiplerinin oluşturulmasını gerektirmeden tasarım ve mühendislik süreçlerini simüle etme imkânı sağlar. Bu, potansiyel hataların ve risklerin önceden tespit edilmesine ve maliyetli revizyonlardan kaçınılmasına olanak tanır.

- Sanal ikizler sayesinde, farklı senaryolar ve değişkenler altında çok sayıda testin hızlı bir şekilde yapılması mümkündür. Bu, daha verimli ve optimize edilmiş çözümlerin daha kısa sürede keşfedilmesini sağlar.
- Fiziksel prototiplerin üretimi ve testi oldukça maliyetli olabilir. Sanal İkiz ve Simülasyonlar, bu maliyetlerin azaltılmasına ve daha ekonomik çözümlerin belirlenmesine yardımcı olur.
- Sanal ikizler, gerçek dünya koşullarını ve kullanım senaryolarını simüle etme yeteneği sayesinde, ürün ve sistemlerin gerçek performansını daha iyi anlamamıza yardımcı olur.
- Sanal İkiz ve Simülasyonlar, sürücü eğitimi ve operatör becerilerinin geliştirilmesi için güvenli bir ortam sunar. Tehlikeli veya karmaşık koşullar simüle edilerek, çalışanların becerileri ve tepkileri geliştirilebilir.
- Zayıf Yönler
 - Bazı karmaşık ve gerçek zamanlı uygulamalarda yetersiz kalabilir. Özellikle büyük ölçekli ve yüksek hızlı sistemlerde, tam verimlilik sağlamak zor olabilir.
 - Sanal ikiz ve Simülasyon sonuçlarının fiziksel prototiplerle doğrulanması ve onaylanması gerekebilir. Bu nedenle tamamen fiziksel prototiplere olan bağımlılığı ortadan kaldırmak mümkün olmayabilir.
 - Sanal ikiz ve Simülasyon projeleri için başlangıç maliyeti yüksek olabilir. Kaliteli yazılımların geliştirilmesi, uzman personelin eğitilmesi ve veri altyapısının kurulması gerekebilir.
 - Bazı durumlarda, tamamen doğru bir Sanal İkiz ve Simülasyon modeli oluşturmak zor olabilir. Modelleme sürecinde yapılan hatalar veya eksik veriler, sonuçların gerçek dünyadan farklı olmasına neden olabilir.

2.5. Talep Analizi

Proje ile üretilecek ürünlere ve/veya sunulacak hizmetlere yönelik mevcut talebin tespiti

- Nüfus, tüketim alışkanlıkları, dikkate alınarak talep miktarları belirlenir.

İnsanlar, sistem veya ürünlerin işleyişini hayal edebilmek için animasyonlardan faydalanmışlardır. Bu şekilde, sistem veya ürünün işleyiş şekilleri daha kolay görselleştirilebilir. Ancak verimlilik, çıktılar, doğrudan ve dolaylı etkiler gibi sayısal kriterleri test etmek mümkün değildir. Teknolojinin ilerlemesiyle, söz konusu kriterlerin test edilebildiği ve sonuçlarının kabul edilebilir bir doğruluk payına sahip olduğu simülasyon teknikleri ortaya çıkmıştır. Bu sayede yetkililer, sistem veya ürünleri

simülasyon ortamına aktararak ve gerekli ayarlamaları yaparak gerçek hayattaki etkileri hakkında fikir sahibi olmaya başlamışlardır. Zamanla, ürün ve sistemlerin karmaşıklığı arttıkça ve insan faktörü devreye girdikçe, simülasyonlardaki girdilerin sürekli olarak güncellenmesi ve ayrıntılı ayarlamalar yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç, anlık verinin kullanılabilmesi ve CAD yazılımlarıyla desteklenerek sanal ortama aktarılabilmesi sayesinde sanal ikizler tarafından karşılanmaktadır. Bu sayede mevcut ve gelecekteki olası koşulların sanal ortamda gerçek dünya ile tamamen aynı sonuçları vermesi mümkün olmaktadır.

Bu projede, yapılaşma ve nüfus artışı gibi faktörlerle birlikte, ulaştırma sistemlerinde yaşanan sorunların daha hızlı ve etkili bir şekilde çözülmesi için sanal ikizlere başvurulacaktır. Bu şekilde, hem anlık hem de uzun vadeli yatırımların ulaştırma sistemlerine olan etkisi öngörülebilir hale gelecektir.

Bu proje yapılar, yollar, kavşaklar, toplu taşıma hatları gibi faktörlerin şekilleneceği ve ulaşım sistemine doğrudan veya dolaylı etkisi olan bir proje olduğundan, herkesi etkileyen bir proje olarak kabul edilmektedir. Bu durumda örnek vaka kapsamında proje alanında yaşaması varsayılan 200.000 kişi projeden doğrudan faydalanacaktır. Buna ek olarak uygulama alanı dışından gelecek olan mecburi ulaşım talebi de projeden dolaylı olarak etkileneceğinden tüm bu faktörler düşünülerek hesaplamalar yapılmalıdır. Bu projenin kullanıcıları ve doğrudan veya dolaylı olarak ulaşım ile ilgilenen kurumlar (belediye, emniyet vb.) aynı zamanda projeden kaynaklı olumsuz durumların risklerini azaltmada doğrudan etkileneceklerdir.

Talebi belirleyen etkenler ve göstergeler

Büyük çaplı uygulamalardaki sorunlar, talebi belirleyen önemli etkenler arasındadır. Özellikle büyük yerleşim alanları planlanırken yeterli değerlendirmeler yapılmadığında, ulaşım sektörü ciddi şekilde etkilenmektedir. Örneğin, şehirlerarası yolların yakınında yapılan yerleşim alanlarının diğer bölgelere bağlanması için açılan ek yollar genellikle doğrudan şehirlerarası yollara bağlanmaktadır. Bu durum, iki yol arasındaki talep ve geometrik farklılıklar nedeniyle farklı seviyelerde yollar oluşturulmasını gerektirir. Ancak bu durum, ana yoldan tali yola bağlanan araçların yavaşlamasına veya tali yoldan çıkan araçların hızlanmasına ve potansiyel trafik kazalarının artmasına yol açmaktadır. Ayrıca, AVM veya hastane gibi yapılardan kaynaklanacak yoğun taşıt talepleri, sanal ikiz uygulaması olmadan inşa edildiğinde ciddi trafik sıkışıklığı ve bekleme sürelerine neden olabilir. Bunun yanı sıra, modlu ulaşım çözümlerinin önemi vurgulanmalıdır. Bu şekilde, yeni yerleşim alanlarında yaşayan insanların rahat ulaşımı sağlanabilir ve toplu taşıma hatlarının makro ölçekte düzenlenme ihtiyaçları önceden belirlenebilir. Bu tür sorunların çözümünde, sanal ikiz uygulamalarının önemli faydaları olmasına rağmen, ülkemizde henüz ulaşım alanında yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu tür uygulamalar, ekonomik ve sosyal risk faktörlerini ortadan kaldırmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, sanal

ikiz uygulamalarının pilot bir bölgede başlatılması ve ülke genelinde yaygınlaştırılması büyük faydalar sağlayacaktır. Bu tür bir uygulama, ülkemizde yeni teknolojilerin yaygınlaşmasına katkıda bulunacaktır.

Talebi belirleyen bir diğer faktör, çalışmanın gerçekleştirileceği alanın büyük olduğu durumlarda, bu büyüklükteki bir çalışma alanında önceden gerekli değerlendirmelerin yapılmasını sağlamaktır. Büyük ölçekli uygulamaların sonuçlarının önceden test edilmesi ve gerektiğinde gerekli önlemlerin alınması, ekonomik açıdan yapılan yatırımların kontrol altına alınmasını sağlayacak ve olumsuz sonuçların ortaya çıkmasını önleyecek koşulların oluşturulmasını mümkün kılacaktır.

Son olarak, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)'nin birlikte çalışabilirliğinin üzerine odaklanan Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin (K-AUS) Avrupa'da üzerinde pek çok çalışma yapılan ve uygulama aşamasına geçilmekte olan bir konu olduğu ve ülkemizde de gelişeceği öngörülmektedir. Ulaştırma Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü bu konu üzerinde çalışmalar yürütmektedir. Yüksek teknoloji gerektiren AUS ve K-AUS uygulamalarının verilerle desteklenmesi ve sanal ortamda test edilmesi, bu sistemlerin sahada daha hızlı ve sorunsuz bir şekilde uygulanmasına katkı sağlayacaktır. Özellikle otonom taşıtlarla ilişkili olarak çalışacak olan bu sistemler, otonom taşıtlar için sanal bir temel oluşturma potansiyeline sahiptir.

Talebin gelecekteki gelişim potansiyeli ve talep için gelecek öngörülerin tespiti

- Geleceğe yönelik nüfus, ekonomi ve teknoloji öngörülerini dikkate alınarak hesaplamalar yapılır.

Sanal ikiz uygulamaları, arazideki mevcut durumun, veri toplama yoluyla sanal ikizinin oluşturulmasına dayanmaktadır. Bu uygulamaların etkinliğini artırmada, kullanılan yazılım platformları kadar veri girdileri de büyük öneme sahiptir. Büyük veri, veri analizi ve makine öğrenmesi gibi alanlardaki ilerlemeler, sanal ikiz uygulamalarında kullanılan verilerin etkinliğini artıracaktır. Ayrıca, veri toplama yöntemleri de hızla değişmektedir. Örneğin, Ulaşım Ana Planları için önemli olan perde ve kordon trafik sayımları, geleneksel olarak insanların taşıtları saymak için beklediği ve manuel olarak belgelere işlediği bir yöntemle yapılmaktaydı. Ancak ilerleyen teknoloji sayesinde, bu tür sayımlar kameralar aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede hata oranları azalmakta ve sayımlar farklı noktalarda eş zamanlı olarak alınabilmektedir.

Bu teknolojilerin yaygınlaşması ve ilerlemesi, maliyetlerin düşmesini de beraberinde getirecektir. Bu nedenle, sanal ikiz uygulamaları ve benzer çalışmalar daha geniş kitlelere ulaşılabilir hale gelecektir.

Sanal ikiz uygulaması, ulaşım sektöründeki her türlü projede kolaylıkla kullanılacak bir uygulamadır. Özellikle büyük inşaat projelerinde, bu uygulamanın yaygınlaşması beklenmektedir. Ayrıca, mevcut trafik etki analizi uygulamalarında sanal ikizlerin kullanılması, analiz süreçlerinin hızlanmasına ve etkinliğinin artmasına katkı sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, sanal ikiz uygulamaları, ülkemizde sanal gerçeklik uygulamalarının çekimlerinin artırılması açısından önemli bir ilk adım olacaktır.

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyon projesi, belirli bir alandaki mevcut durumun ulaşım açısından analiz edilmesini ve gelecekteki en iyi ulaşım çözümlerini bulmayı amaçlamaktadır. Bu hedefe ulaşmak için, alternatif çözüm seçeneklerinin tek tek veya entegre bir şekilde denenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tip denemelerin direkt gerçek dünyada uygulanarak sonuçlarının gözlemlenmesi hem ekonomik hem de uygulanabilirlik açısından imkânsızdır. Bu projenin sağladığı olanaklar sayesinde, gerçek dünyanın sanal bir kopyası oluşturulabilir ve çözüm önerilerinin sonuçları çok daha kolay ve hızlı bir şekilde görülebilir.

Projenin gerçekleştiği ve gerçekleşmediği durumlar için, mevcut ulaşım analizleri ile uygun öneriler doğrultusunda oluşacak durumların ulaşım analizleri ve her iki duruma göre yapılacak gelecek durum analizleri yapılmalıdır. Bu amaçla çeşitli senaryolar oluşturulacak ve sanal ikizler, karar vericiler için değerli bir araç haline gelecektir. Bu senaryolar, gelecekte karşılaşılması muhtemel durumları temsil edecek ve sonuçları tek tek veya kombinasyonlar şeklinde görülebilecektir. Bu şekilde karar vericilerin risk alma durumları önemli ölçüde azalacaktır. Riskler azaltılırken, taşıt odaklı değil insan odaklı ulaşım sloganıyla aşağıdaki 3 hususa da özel önem verilmelidir:

- Yerleşime açılacak yeni bölgenin mevcut raylı sistemlere entegrasyonu sağlanmalıdır.
- Toplu taşımanın yanı sıra bisiklet ve mikromobilité çözümlerinden de faydalanılmalıdır.
- Trafik güvenliği üst düzeyde tutulmalıdır.

3. Teknik Analiz ve Alternatif Teknolojilerin Değerlendirilmesi

Fiziki/Mekânsal Büyüklük

- Fiziki/mekânsal büyüklük projenin gerçekleşeceği şehir, mahalle, bölge, yaşam alanına bağlıdır.

Kapasitenin Belirlenmesi

Proje başlangıç aşaması veri toplama, verilerin uyumlu bir formata dönüştürülmesi, sanal ikiz uygulamasında canlandırılacak yeni yerleşim alanlarının simülasyon ortamına aktarılması, vaziyet planına göre yaklaşık trafik üretiminin belirlenmesi, çevre yerleşim alanlarının ve trafik çekim merkezlerinin alan üzerindeki etkisinin belirlenmesi gibi birçok adımdan oluşmaktadır. Bu adımların uygulanması, projeye ayrılan işgücünün kapasitesi oranında gerçekleştirilecektir ve bir proje yöneticisi tarafından denetlenecektir. Bu yönetici aynı zamanda iş adımlarının takibini, veri toplama ve derleme gibi adımların koordinasyonunu da yönetecektir. Proje kapsamında örnek vaka 1000 hektarlık bir alanda 200.000 kişiyi kapsadığı için ulaşım alanında sanal ikiz bu şekilde oluşturulacaktır.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların gerçekleştirilmesiyle, ulaşım ağının sanal ikizi oluşturma projesi kapsamında, ulaşım talebinde farklı ulaşım modları da dikkate alınacaktır. Özellikle büyük ölçekli

projelerde, ulaşım ağının çoklu modlarla ele alınması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, bireysel taşıtların hareketliliğinin yanı sıra yaya hareketliliği, toplu taşıma güzergâhlarının değerlendirilmesi gibi çalışmalara da sanal ikiz projesinde yer verilecektir. Bu şekilde, proje alanında sürdürülebilir ulaşım modlarının etkin bir şekilde kullanılması hedeflenmektedir.

Yapısal Proje Gereksinimleri

Ulaşımında Sanal İkiz ve Simülasyonu uygulaması için yapısal proje gereksinimleri aşağıda verilmiştir:

- Mevcut duruma ait verilerin toplanması
- Mevcut durum verilerinin anlamlandırılması
- Mevcut durumun alt coğrafi verilerinin CAD ve simülasyon yazılımları ile sanal ortama aktarılması
- Proje bölgesinin üreteceği ve çekeceği trafik yükünün hesaplanması
- Proje bölgesinin üreteceği ve çekeceği trafik yükünün mevcut trafik yüküne sanal ortamda eklenmesi
- Proje bölgesinin üreteceği ve çekeceği trafik yükünün proje alanında ve mevcut ulaşımında meydana getireceği darboğazların iyileştirilmesine yönelik senaryoların sanal ortamda belirlenmesi
- Proje bölgesinin üreteceği ve çekeceği trafik yükünün meydana getirdiği darboğazların iyileştirilmesine yönelik senaryoların sanal ortamda oluşturulması
- İyileştirme senaryolarının kıyaslanması ve uygulanabilir olanların CAD ortamında uygulama projelerine dönüştürülmesi

Yazılım ve Donanım Gereksinimleri

Tablo 1. Kullanılacak Teknoloji ve Yazılımlar

Kullanılacak Teknolojiler ve Yazılımlar	
Teknoloji/Yazılım	Kullanım Amacı
Bluetooth Sensör	Trafik akımının anlamlandırılması ve yorumlanması
Hareketli Taşıtların Verisi (FCD)	Trafik akımının anlamlandırılması ve yorumlanması
Kamera	Taşıtların sayımları ve toplu taşıma doluluk oranı

	hesaplaması
CAD Yazılımı	Proje alanının fiziki parametrelerinin sayısal ortama geçirilmesi
Mikro Ölçekli Trafik Simülasyon Yazılımı, Ulaşım Stratejisi ve Modelleme Yazılımı ve Trafik Etki Analizi ve Sinyal Süre Optimizasyonu Yazılımı	Mikro, mezo veya makro ölçekte trafik simülasyonu (Yazılımı yapacağınız alanın büyüklüğüne veya veri yoğunluğuna göre seçebilirsiniz.)

Seçilen teknolojilerdeki temel kriter, maliyet ve fayda ilişkisidir. Seçilen teknolojinin maliyet açısından uygun olması ve projenin gereksinimlerini kolaylıkla karşılayabilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle daha önce kullanılmış ve test edilmiş ürünlerin araştırılarak tercih edilmesi önemlidir. Ayrıca, seçilen ürünlerin ülkemizde teknik destek sağlayabilecek personeli veya temsilcileri olması, olası herhangi bir sorunun hızlı çözümü ve sistemin gerekli bakımlarının kolayca yapılabilmesi açısından önemlidir. Bu koşullar aynı zamanda sistemin sürdürülebilirliğini de sağlayacaktır. Personele bu alanda eğitimler verilmesi firma bağımsız çalışmalar için önemlidir. Geliştirilen projenin örnek teşkil edecek nitelikte olması, projenin tekrarlanmasını kolaylaştıracak ve bu tür çalışmaların sürekliliği için ilk adım olacaktır.

Kullanılan teknolojilerin korunması amacıyla donanım ürünlerinde en az 5 yıl garanti süresi şartı aranmalı ve yazılımlar için en az 5 yıl ücretsiz servis ve destek sağlanması koşulu getirilmelidir.

Alternatif teknolojiler nelerdir? Karşılaştırma yapınız.

Hareketli Taşıtlar Verisi (Floating Car Data - FCD), güvenilirlik sorunlarına rağmen daha düşük maliyeti ve daha yüksek kapsama alanı nedeniyle önemli bir trafik veri kaynağı haline gelmiştir ve kullanımı giderek artmaktadır. Trafikte hareket eden GPS donanımlı araçlardan elde edilen FCD, gerçek zamanlı olarak 1 dakikalık aralıklarla bile birçok segment için hız veya seyahat hızı verisi sağlayabilmektedir [10]. Kullanılacak teknolojiler ve alternatif teknolojilere bakıldığında Bluetooth ve Hareketli Taşıtlar Verisi (Floating Car Data - FCD) teknolojilerinin günümüzdeki alternatifleri arasında çağrı detay kaydı (Call Detail Record - CDR) ve veri detay kaydı (Data Detail Record - DDR) veri setleri bulunmaktadır. CDR ve DDR veri setleri, kullanıcıların telefonları üzerinden izlenerek günlük hareketlerinin ve seyahatlerinin analiz edilmesinde kullanılmaktadır. CDR verileri genellikle kullanıcıların telefonlarına gelen çağrı veya mesajlar sayesinde, en yakın baz istasyonu konumuna göre kullanıcının konum bilgisini elde etmek için kullanılır. DDR verileri ise kullanıcıların telefon hatları üzerinden internet kullanım verilerine dayanarak, yine baz istasyonlarına göre kullanıcının konum bilgisini sağlamak için kullanılır. CDR ve DDR veri setlerinin bazı kullanım özellikleri aşağıda listelenmiştir:

- CDR ve DDR verilerinin elde edilmesi ve kullanılması, kişisel gizlilik haklarının korunması gerekliliği nedeniyle büyük zorluklar içermektedir. Bu nedenle, CDR ve DDR kullanımı her zaman tek bir tarafı ilgilendirmemektedir. Şebeke operatörleri, veri toplama ve saklama tesisleri gibi taraflar, CDR ve DDR kullanımı konusunda sorumluluk altındadır. Ayrıca CDR ve DDR verilerinin sahibinin kullanıcılar mı yoksa operatörler mi olduğu da önemli bir hukuki sorundur. Bu sebeplerle birçok bilgi kullanılamamakta ve bu durum, varsayımlara yol açmaktadır.
- CDR ve DDR verisiyle yapılan araştırmalarda, yalnızca telefona gelen veya giden aramalar, kısa mesajlar veya mobil internetin kullanılmasını tetikleyen durumlar kaydedildiği için birçok varsayıma ihtiyaç duyulmaktadır.
- Mevcut araştırmaların çeşitli sınırlamaları bulunmaktadır. Öncelikle, kullanıcının fiziksel hareketini gösteren alternatif baz istasyonları arasında dengeli bir yük dağılımı sağlamak için hareketsiz olsalar bile mobil cihazların neden olduğu salınımın dikkate alınması gerekmektedir. Bu durum yanlış hareket kayıtlarına yol açabilir. Ayrıca, vardiyalarda çalışan kullanıcılar yanlış sınıflandırılabilir. Daha büyük CDR ve DDR örneklem boyutları kullanarak daha fazla analiz yapılması, seyahat davranışının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

Hareketli taşıt verisi (FCD), bir milyona yakın taşıtta bulunan taşıt takip sistemlerinin GPS verilerinin işlenmesiyle elde edilen bir veri örneğidir. Bu örnekteki taşıtların anlık konumları alınarak taşıt hareketleri ve bu hareketlerin süresi belirlenebilmektedir. Türkiye'de, en fazla 50 metre uzunluğundaki yol kesimlerinden her dakika bir yolculuk süresi elde edilmektedir. Bir günlük Türkiye verisi yaklaşık 900 milyon satırdan oluşmaktadır, bu nedenle büyük veri (Big Data) çalışmaları kapsamında değerlendirilmektedir.

Bluetooth teknolojisi, trafik çalışmalarında kullanılan uygun maliyetli ve kolay bir veri toplama yöntemidir. Bu teknoloji, her Bluetooth cihazına özgü olan kodlanmış MAC adreslerinin yakalanmasıyla, kişisel bilgi gerektirmeksizin bu cihazların hareketlerinin takip edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu takip sayesinde başlangıç-variş matrisleri ve seyahat süreleri elde edilebilmektedir.

Yapılan incelemeler ve proje gereklilikleri dikkate alındığında, hem seçilen yazılımların hem de alternatiflerin istenen çıktıları sağlayabileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte, tercih edilen yazılımlar, kullanıcı desteği, anlık veri işleme kapasitesi, kullanım kolaylığı, maliyet ve kullanım fonksiyonlarının çeşitliliği gibi kriterlerde öne çıktığı için seçilmiştir.

Tablo 2. Alternatif Teknoloji ve Yazılımlar

Alternatif Teknoloji ve Yazılımlar

Teknoloji/Yazılım	Kullanım Amacı
Loop, manyetometre vb.	Taşıt Sayımları
CDR ve DDR Veri Setleri	Trafik akımının anlamlandırılması ve yorumlanması
CAD Yazılımları	Proje alanının fiziki parametrelerinin sayısal ortama geçirilmesi
Ulaşım Planlama Yazılımı (Corsim, Aimsun, Inro, SUMO, Cube TransCAD, InterSCSimulator, Solvoyo vb.)	Mikro, mezo ve makro ölçekte trafik simülasyonu

Teknoloji seçiminin dayandığı kriterler nelerdir? Açıklayınız.

Proje kapsamında, yazılım ve donanım açısından belirli teknolojiler seçilmiştir. Yazılım platformlarının ülkemizde temsil edilmesi, teknik destek hizmetine kolay erişim, belirli bir bilgi birikimi ve deneyime sahip olma gibi önemli kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Özellikle projenin dijitalleştirilmesi gerekliliği nedeniyle, yazılım kullanımında bilgiye erişilebilirlik büyük önem taşımaktadır. Yazılımlar aracılığıyla elde edilen sayısal veriler, doğrudan sanal ikiz uygulamasının etkinliğini etkileyecektir.

Donanım seçiminde, üretici firmaların tanınmış ve güvenilir olması önemli bir faktördür. Donanımsal sorunların hızlı bir şekilde çözülebilmesi için üreticilerin teknik destek hizmetleri değerlendirilmelidir. Ayrıca, donanımın uzun ömürlü olması, ilk yatırımın daha hızlı bir şekilde geri kazanılmasına yardımcı olacaktır. Son olarak, donanım unsurlarından elde edilen verilerin temsil edilebilmesi için üretici firmalardan bir örnek alınmalı ve veri işleme sürecinin zaman ve işgücü maliyeti belirlenmelidir. En uygun koşulları sağlayan ürünler tercih edilmelidir.

Bu proje için, taşıt talebi önemli bir ölçüt olup, bu talebin anlaşılması ulaşım modellemesini etkileyecektir. Taşıt talebinin ölçülmesinde kamera sistemlerinin kullanılması önerilmektedir. Kamera sistemleri, loop teknolojisine kıyasla daha ekonomik olup, taşınabilir sistemlerdir. Bu nedenle, ilgili ölçümler farklı zamanlarda ve farklı noktalarda ek maliyet olmadan tekrarlanabilir. Ayrıca, kamera görüntülerinin deşifre edilmesiyle farklı taşıt türleri tespit edilebilir ve ulaşım ağıyla ilgili incelemeler kamera görüntüleri üzerinden yapılabilir.

Yukarıda bahsedilen teknolojiler, özellikle donanım alanında yatırım gerektiren teknolojilerdir. Bu teknolojilerin yaygınlaşması, maliyetlerin düşürülmesi açısından büyük öneme sahiptir. Yeni teknolojiler dünya genelinde hızla yaygınlaşmakta ve birçok ülkede geleneksel yöntemlerle ekonomik olarak rekabet edebilir hale gelmektedir. Bu potansiyel ülkemizde bilgi birikimi ve üretim kapasitesi açısından mevcuttur, ancak sınırlı yatırımlar nedeniyle potansiyelin yaygınlaşması zor olmaktadır.

Özellikle ulaşım alanında, klasik anketler, sayımlar ve benzeri veri toplama yöntemlerinin yerine yenilikçi veri toplama yöntemleri ve büyük verinin çeşitli algoritmalarla işlenmesi, sanal ikiz çalışmalarına büyük katkı sağlayabilir.

Seçilmesi planlanan teknolojiler, aynı zamanda çok modlu ulaşım modellemesini de mümkün kılmayı hedeflemektedir. Tercih edilecek yazılımlar, toplu taşıma, yaya ve taşıt hareketliliğini modelleme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca bu yazılımlar aracılığıyla farklı ulaşım modlarıyla ilgili değerlendirmeler yapılabilmektedir. Örneğin, taşıtların ve toplu taşıma araçlarının trafikteki gecikme süreleri, bekleme süreleri gibi veriler elde edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, yayaların toplanma alanlarının belirlenmesi, yaya güzergâhlarının ulaşım ağıyla ilişkilendirilmesi, yayaların toplu taşıma duraklarına erişimi gibi faktörler de projenin kapsamında modellenecek ve değerlendirilecektir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, çalışma alanına önerilen ulaşım planlama kararları için girdi sağlanabilecek ve gerektiğinde değişiklikler yapılabilmesi için veriler sunulabilecektir. Bu tür çalışmaların ülkemizde yaygınlaşması, özellikle ulaşım ana planlarının modellerle test edilmesi ve derin verilerle beslenmesi, önerilen senaryoların başarı kriterlerinin belirlenmesi ve etkinliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, mikro ölçekte yapılan ulaşım yatırımları veya makro ölçekte tüm kenti ilgilendiren ve tüm ulaşım modlarını kapsayan ulaşım ana planlarında önemli gelişmelere öncülük edecektir.

Teknik tasarım süreçlerini (süreç tasarımı, makine-donanım, inşaat işleri, arazi düzenleme, yerleşim düzeni vb.) açıklayınız.

Toplanacak Veriler

1. Genel İncelemeler
 - a. Bölgedeki devlet yollarının analizi (KGM sayımları ile birlikte)
 - b. Bölgedeki ana arterler
 - c. Bölgedeki trafik çekim alanlarının çıkartılması
 - d. Bölgedeki toplu taşıma değerlendirmesi
 - i. Rotaların incelenmesi
 - ii. Yolcu miktarlarının değerlendirilmesi
 - iii. Sezonluk yolcu hareketlerinin belirlenmesi
 - e. İstatistiksel Veriler
 - i. TÜİK verileri
 - ii. EGM kaza verileri (kaza alanları ve kaza noktaları)
 - iii. Google trafik verileri
 - iv. Hareketli taşıt verisi (FCD) analizi

- f. Sayımlar
 - i. Perde sayımları
 - ii. Kordon sayımları
 - iii. Kavşak sayımları
 - iv. Giriş / Çıkış sayımları
- g. Diğer Veriler
 - i. Sinyalize kavşakların varsa sinyal programları
 - ii. Kavşakların CAD formatında hâlihazır çizimleri
 - iii. Kavşaklara ait drone görüntüleri
- h. Saha Gözlemleri
 - i. Kavşak incelemesi
 - ii. Trafik sorunlarının tespiti
 - iii. Kritik kaza noktalarının kurum ile birlikte belirlenmesi
 - iv. Parklanma sorunları tespiti
 - v. Otoparklarla alakalı sorunların tespiti
 - vi. Ana akımların tespiti

Çalışma Kapsamı

Temel İncelemeler

1. Ulaşım analiz çalışmaları, genel incelemelerle başlayarak bölge genelinde bir değerlendirme yapmayı gerektirir. Bu değerlendirme, devlet yolları ve ana arterlerin harita üzerinde görselleştirilmesini içerir. Ayrıca, kent içi arterlerin yoğunluklarına göre sınıflandırılmış haritalarla gösterimi yapılır.

Hacimsel görselin kullanımıyla, bölgedeki kavşaklar yol ağının üzerine işlenir ve otopark alanları da ayrı bir görsel olarak hazırlanır. Ayrıca, AUS (Aktarma Üsleri) ve K-AUS (Kavşaklı Aktarma Üsleri) gibi potansiyel ulaşım sistemleri uygulamalarının ve yerlerinin belirlenmesi de gerçekleştirilir.

2. Bölgedeki hareketlilik üzerinde etkisi olan çekim alanları, örneğin stadyumlar, alışveriş merkezleri (AVM'ler) ve üniversiteler gibi yapılar işaretlenir. Bu işaretlemelerde, nokta şeklinde öğeler veya numaralandırma sistemi kullanılır. Nokta şeklindeki öğelerin yanında, çekim alanının adı belirtilir. Numaralandırmada ise, her alanın adı lejant ile tanımlanır.
3. Bölgedeki arterlerdeki trafik hızının düşük olduğu noktalar, FCD (Floating Car Data) verileri kullanılarak belirlenir.

- a. Bu veriler üzerinde, trafik akışında şişe boyun (bottleneck) olarak adlandırılan noktalar görselleştirilir.
 - b. Bu ekran görüntüleri, ilk adımda gösterilen arterlerle birleştirilerek, trafik gecikmelerinin yaşandığı kavşakların belirlenmesi kolaylaştırılır. Bu sayede trafik akışının en yoğun olduğu bölgeler ve olası sıkışıklık noktaları daha net bir şekilde ortaya çıkar.
4. Bölgedeki imar planı detaylı bir şekilde incelenerek ana konut alanları, kamusal alanlar, Merkezi İş Alanları (MİA), yeşil alanlar ve sanayi alanları belirlenir. Bu farklı kullanım alanları, harita üzerinde konsept plan şeklinde görselleştirilir ve böylece bölgedeki farklı alanların konumları net bir şekilde ortaya konulur. Bu görsel planlama sayesinde, bölgedeki yapılaşma yoğunluğu ve kullanım dağılımı hakkında genel bir bakış sağlanır. Bu veriler, planlama süreçlerinde karar alıcılar ve ilgili taraflar için önemli bir rehber oluşturur ve bölgenin gelecekteki gelişimine yönelik stratejilerin belirlenmesinde yardımcı olur.
5. İmar planı ve diğer veriler kullanılarak yaya hareketliliğinin yoğun olacağı alanlar tespit edilir ve harita üzerinde görselleştirilir.
 - a. Ana konut alanları ve Merkezi İş Alanları'nda, önemli noktalarda yürüme mesafesi ve yürünebilirlik bariyerleri analizi yapılır. Bu analizler sayesinde, yaya erişimini kolaylaştıracak yolların belirlenmesi ve engellerin giderilmesi hedeflenir.
 - b. Yayalaştırma yapılmış noktalar harita üzerinde belirlenir. Bu noktalar, yayaların öncelikli olduğu ve araç trafiğinin sınırlandırıldığı alanları gösterir.
 - c. Mikromobilité çözümleri olan alanlar tespit edilir ve harita üzerinde görselleştirilir. Bisiklet paylaşım istasyonları, elektrikli scooter durakları gibi mikromobilité hizmetleri gösterilir.
6. Bölgedeki toplu taşıma verileri (varsa) kullanılarak binişlerin sezonluk analizi yapılır (haftanın günleri, ayları gibi). Bu analizler grafiksel olarak sunulur.
 - a. Binişlerin yoğun olduğu noktalar tespit edilir ve harita üzerinde noktasal derecelendirme ile görselleştirilir.
 - b. Eğer toplu taşıma güzergâhlarının görselleştirilmesi mümkünse, hatların kesişme noktaları belirlenir. Ana konut alanlarına ve Merkezi İş Alanları'na gelen hatların sayısı tespit edilir.
 - c. Rotaların üzerinde bulunan ana durakların hizmet alanları değerlendirilir. Bu sayede, her durağın hangi bölgelerdeki yolculara hizmet verdiği anlaşılır.
 - d. Ulaşım ana planı kapsamında zonlama yapılmışsa, zonlardan ana konut alanlarına ve Merkezi İş Alanları'na gelen yolcu sayıları değerlendirilir.

7. Ana konut alanları ve Merkezi İş Alanları (MİA) özelinde, daha alt ölçekte detaylı incelemeler yapılır.
 - a. Ana konut alanları ve MİA'nın çeperleri temel alınarak yürüme mesafeleri ölçülür. Bu incelemeler saha gözlemleriyle desteklenir, yayalaştırma ve mikromobilité mevcut çözümleri değerlendirilir. Bu sayede, ana konut alanları ve MİA'nın yaya dostu çevrelerini anlamak ve ulaşım altyapısını geliştirmek için önemli bilgiler elde edilir.
 - b. Ana konut alanları ve MİA çevresindeki park alanları (varsa) belirlenir ve harita üzerinde işaretlenir. Saha gözlemi yapılarak, parklanmanın yoğun olduğu ve yol hacmine etki eden noktalar da görselleştirilir. Bu analizler, parklanma ihtiyacının belirlenmesine ve trafiğin yönetilmesine katkı sağlar.
 - c. Belirlenen alanın içinde yer alan çekim alanlarına ana konut alanlarından ve MİA'dan ulaşım sağlanırken kullanılan ana rotalar görselleştirilir. Bu rotalar, çekim alanlarına ulaşımın ana yollarını ve yoğun güzergâhları gösterir.
8. Yapılan yukarıdaki analizler sayesinde, mevcut durum sanal ikizlerinden yararlanılarak alan ölçeğinde dolaşım ve ulaştırma sistemleri performans çalışması gerçekleştirilir. Bu çalışma, bölgedeki ulaşım sisteminin performansını değerlendirmeyi amaçlar. Analizler sayesinde, olası problemler tespit edilir ve ulaşım altyapısında iyileştirmeler yapılması gereken noktalar belirlenir. Bu veriler, ulaşım planlaması ve yönetimi açısından önemli bir rol oynar ve daha etkin, verimli ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin geliştirilmesine katkı sağlar.
9. Mevcut durumun ulaştırma perspektifinden gelecek projeksiyonu çıkarılır ve sanal ikizi oluşturulur
 - a. Oluşturulan sanal ikiz sayesinde mevcut durum korunursa gelecekte ulaştırma sistemlerinin performanslarının nasıl olacağı mevcut durumda bakılan kriterlere bakılarak değerlendirilir.
10. Mevcut duruma ek olarak yapılacak kentleşme projesinin ulaştırma perspektifinden (trafik üretim, çekim değerleri vb. dikkate alınarak) gelecek projeksiyonu çıkarılır ve sanal ikizi oluşturulur
 - a. Oluşturulan sanal ikiz sayesinde mevcut durum korunursa gelecekte ulaştırma sistemlerinin performanslarının nasıl olacağı mevcut durumda bakılan kriterlere bakılarak değerlendirilir.
11. Gelecek adına yapılmasının ulaştırma sistemlerini müspet yönde etkilemesi beklenen öneriler aşağıdaki alt başlıklar kapsamında göze alınarak getirilir ve bu önerilerin teker teker veya kombinasyonlar halinde sanal ikizleri oluşturulur.
 - a. Çalışmada eldeki verilere başvurularak tek yön – çift yön kararları alınır.
 - b. Parklanmanın yasaklanacağı noktalar belirlenir.

- c. Dolaşım çalışmasında mikromobilitte unsurları ve yayalaştırma kararları belirlenir.
- d. Saha gözlemleriyle ve kaza noktaları analiziyle belirlenen kavşaklar için geometrik düzenleme nerileri hazırlanır. Bu düzenlemeler, kurumdan alınan CAD formatındaki hâlihazır kavşak çizimleri kullanılarak yapılır.
- e. Kavşaklardan eş zamanlı olarak alınan sayımlar ve kavşak programları kullanarak sinyal süre optimizasyonu ve faz düzeni belirleme çalışmaları yapılır.
- f. Kavşaklardaki geometrik düzenleme ve sinyal süre optimizasyonları göz önüne alınarak yeni programlar hazırlanır.
- g. Yatay ve düşey trafik işaretleri eksiklikleri giderilir.
- h. Dolaşım nerileri ve toplu taşıma verileri kullanılarak gerekli görülen hatlar için yeni rotalandırma nerileri hazırlanır.
- i. Mikromobilitte nerileri doğrultusunda varsa mikromobilitte şeritlerinin rotalandırılması hazırlanır ve görselleştirilir.

4. Finansal Analiz

Ulaşım sistemleri, hayatımızın merkezinde yer almaktadır. Ulaşım amacıyla geçirilen zamanın nakit değeri, kullanıcılar açısından önem taşımaktadır. Bu nakit değer, satın alınamayan bir zaman olduğundan dolayı tam olarak lulemez, ancak bireyin birim zamandaki üretkenliği ile ilişkilendirilebilir. Bu nedenle, projenin sağlayacağı zaman tasarruflarının önemi büyük olacaktır. Ayrıca, ulaşımda önemli bir maliyet kalemi olan yakıt tüketimi, projenin sağlayacağı kısa bekleme süreleriyle azalacaktır.

Bu projede, ulaşımda sanal ikizlerin oluşturulabilmesi için aşağıdaki kaynaklar gerekmektedir:

- Sanal ikiz yazılım platformları
- Teknik zım yazılım platformları
- Veri toplamak amacıyla kullanılacak teknolojik ekipman
- Söz konusu sanal ikizlerin doğru bir şekilde oluşturulabilmesi için trafik etki analizi, teknik zimler, teknik modellemeler yapmaları açısından kritik öneme sahip uzman olan ulaştırma mühendisleri

Örnek Vaka

Finansal analiz kapsamında 1000 hektarlık bir alanda 200.000 kişinin yaşayacağı varsayılan proje için gider kalemleri ve detayları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3. Gider Kalemi ve Finansman İhtiyacı

	Gider Kalemi	Birim Fiyat	Süre	Adet	Finansman İhtiyacı
Lisans	CAD ¹	\$1.800	12 Ay	1	\$1.800
	Mikro Ölçekli Trafik Simülasyon Yazılımı ¹	\$16.000	Süresiz	1	\$16.000
	Ulaşım Stratejisi ve Modelleme Yazılımı ¹	\$11.000	Süresiz	1	\$11.000
	Trafik Etki Analizi ve Sinyal Süre Optimizasyonu Yazılımı ¹	\$6.000	Süresiz	1	\$6.000
	Hareketli Taşıt Verisi (FCD) ^{*2}	\$9.000	12 Ay	1	\$9.000
Ekipman	Bluetooth Sensör ^{*2}	\$400	3 Ay	38	\$15.200
	Kamera ²	\$400	3 Ay	25	\$10.000
Kurulum	Bluetooth Sensör ^{*2}	\$50	-	62	\$3.100
	Kamera ²	\$50	-	25	\$1.250
Danışmanlık	Ulaştırma Uzmanları ³	\$4.000	12 Ay	3	\$144.000
Toplam					\$217.350
<i>Kullanılması zorunlu olmamakla birlikte, çalışmanın kalitesi için önerilen giderler (*) ile belirtilmiştir. Sanal ikiz yazılım platformları (1) ile belirtilmiştir. Seçilen uygulamaya göre değişiklik göstereceği unutulmamalıdır. Veri temini ve anlamlandırılması (2) ile belirtilmiştir. Danışmanlık hizmetleri (3) ile belirtilmiştir.</i>					

5. Ekonomik Analiz

Sanal İkiz ve Simülasyon projesi, fiziksel prototiplerin üretimine ve testine gerek kalmadan tasarım ve mühendislik süreçlerinin gerçekleştirilmesini sağlayarak büyük miktarda tasarruf sağlamaktadır. Maliyetli fiziksel prototiplerin yapımını engelleyerek işletmeler ve şirketler için önemli bir ekonomik avantaj sağlamıştır.

Sanal İkiz ve Simülasyon yazılımları, farklı tasarım senaryolarının hızlı bir şekilde değerlendirilmesine ve test edilmesine imkân tanır. Olası hatalar ve kusurlar erken aşamalarda tespit edilir ve hayata geçirilmeden gerekli düzenlemeler yapılarak tekrar simülasyona dahil edilerek sistem düzenlenir. Böylece gerçek dünyada maliyetli hataların önüne geçilir. Planlama süreçlerinde daha etkin ve verimli kararlar alınmasına yardımcı olur ve yapılan yatırımların geri dönüşünü artırır.

Mevcut sistemlerin ve iş süreçlerinin daha verimli hale getirilmesine yardımcı olabilir. Performans iyileştirmeleri ve süreç optimizasyonlarını sadeleştirdiği ve karmaşık sistemlerin ve süreçlerin anlaşılmasını ve analiz edilmesini kolaylaştırdığı için ekonomik açıdan fayda sağlamış olur. Bu sayede daha doğru kararlar alınarak kaynakların doğru şekilde kullanılması ve tasarruf edilmesi sağlanır.

Bu sistemler eğitim ve beceri geliştirmede etkili bir araçtır. Tehlikeli veya pahalı eğitim ortamlarını simüle ederek, çalışanların yetkinliklerini artırmak için güvenli bir alan sağlar. Bu, iş gücü verimliliğini artırabilir ve işletmelerin dışa bağımlılığını azaltarak danışmanlık maliyetlerini düşürür.

Bu ekonomik etkiler, Sanal İkiz ve Simülasyon projesinin işletmeler, endüstriler ve toplumlar için önemini vurgulayan faktörlerdir. Bu proje, ulaşım sektörü ve diğer alanlarda verimliliği artırırken aynı zamanda maliyetleri düşürmeye ve rekabet avantajı sağlamaya katkıda bulunur.

6. Sosyal Etkinin Analizi

Bu projenin gerçekleştirilmesi, yeni yerleşim alanlarında yaşayacak bireyler ve alana ziyaret gerçekleştirecek olanlar için sosyal faydalar sağlayacaktır. Sanal ikiz uygulamasının temel amacı, yeni yerleşim alanlarının veya mevcutta düzenlenen alanların ulaşım ile ilgili birçok analizinin yapılması, sorunlu alanlarının tespit edilmesi ve uygulama öncesi önlemlerin simülasyon ortamında değerlendirilmesidir. Bu şekilde, bu alanlardaki ulaşım sorunları (trafik akışı, park alanı bulma, uzun bekleme süreleri, otopark giriş-çıkışlarının değerlendirilmesi, ulaşım altyapısının yeterliliği vb.) uygulama gerçekleştirilmeden önce tespit edilecektir. Uygulama hayata geçtikten sonra, ulaşım altyapısında oluşacak herhangi bir sorun nedeniyle yapılan değişiklikler hem başlangıç yatırımının verimliliğini düşürecek hem de bölge sakinleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabilecektir. Ancak, planlanan ulaşım altyapısının problemlerinin önceden tespit edilebilmesi ve yerleşim alanının inşa edilmeden önce belirlenemeyecek problemlerin (örneğin, çevredeki trafik çekim alanlarının etkisi) farklı senaryoların üretilerek sanal ortamda değerlendirilmesi, yerleşim alanındaki vatandaşların ulaşım altyapısından sorunsuz bir şekilde faydalanmasını sağlayacaktır.

Bir başka sosyal fayda ise, sanal ikiz çalışmasından sonra yapılacak iyileştirme çalışmalarısıyla trafikte beklemeleri azaltacak önlemler geliştirilmesidir. Böylelikle, trafikte uzun süreler geçiren sürücülerin ve

toplu taşıma kullanıcılarının zaman tasarrufu sağlanacaktır. Aynı zamanda trafik stresi de azalacaktır. Örneğin, projenin bir parçası olarak otopark alanları da ulaşım ağı içinde değerlendirilebilir. Bu sayede otoparklar, ulaşım taleplerine göre gözden geçirilecek ve sürücülerin park yeri arama süreleri azaltılacaktır. Benzer şekilde, toplu taşıma durakları ve hatları da incelenerek, toplu taşıma kullanıcılarının otobüs bekleme süreleri azaltılabilir.

Bu tür bir projenin başarılı bir şekilde ülkemizde uygulanması, benzer projelerin yaygınlaşmasına yol açacak ve faydaları diğer pek çok farklı kentimizde de tekrarlanabilecektir. Ayrıca, bu tür uygulamalar merkezi bir yapıya sahip olma potansiyeline de sahiptir. Bu modeller tek bir merkezde birleştirilebilir ve böylece kentlerdeki hareketlilik tek bir merkezden izlenebilir. Bu şekilde ülkenin farklı bölgelerinden farklı veriler toplanabilir ve bu verilerin değerlendirilmesi ve farklı kentlerdeki ulaşım dinamiklerinin karşılaştırılmasıyla ulaşım sorunlarına yeni çözümler üretilebilir.

7. Çevresel Etkinin Analizi

Ulaşım sistemleri, çevre kirliliğinin en büyük kaynaklarından biridir. Pandemi döneminde taşıt kullanımının neredeyse sıfıra inmesiyle birlikte ülkemizde birçok şehirde olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Bu durum, ulaşım sektöründe çevreyi koruma misyonu taşıyan yaratıcı ve akılcı çözümlerin önemini vurgulamaktadır.

Sanal ikiz uygulaması, proje alanında inşaat başlamadan önce hazırlanan vaziyet planları üzerinden trafik ve ulaşım sorunlarının değerlendirilmesini sağlayacaktır. Bu sayede, projeden sonra ortaya çıkacak trafik yoğunluğu ve emisyon değerlerinin ölçülmesi mümkün olacaktır. Projelendirilen alanda tespit edilen herhangi bir sorunlu bölge, plan değişiklikleri ve/veya AUS, K-AUS uygulamaları ile sorunsuz hale getirilebilecektir. Özellikle taşıt başına düşen durma sayısının ölçülmesi ve bu sayının düşürülmesi, yakıt tüketimi ve sera gazı salınımının en yüksek olduğu taşıtın duraklama durumunu minimize ederek bölgedeki olumsuz çevresel etkileri azaltacaktır. Trafik yoğunluğunun azaltılması aynı zamanda gürültü kirliliğini de azaltacaktır. Böylelikle, ulaşım ağının çevresinde yaşayan vatandaşların trafikten etkilenme oranı azaltılmış olacaktır.

AUS ve K-AUS uygulamaları, planlanan ulaşım altyapısının en verimli şekilde kullanılmasını sağlayarak, kentlerde ısı adası etkisi yaratan karayollarının yayılmasını sınırlayacak ve böylece bölgesel düzeyde olumsuz iklim koşullarının ortaya çıkmasını engelleyecektir. Bu uygulamalar aynı zamanda altyapının genişletilmesi ihtiyacını azaltarak sürdürülebilir bir çevre sağlayacaktır.

Bu çalışma aynı zamanda makro ölçekte alanı ele alarak, ulaşım talebini ölçme kapasitesi sayesinde toplu taşıma planlamasına da destek sağlayacaktır. Proje, sürdürülebilir ulaşım modları

uygulamalarının hayata geçirilmesinde önemli bir rehberlik sağlayacaktır. Aynı şekilde, ulaşım talebinin yoğun olduğu noktaların model üzerinde tespit edilmesi, bu bölgelere e-scooter gibi mikro mobilite unsurlarının da yerleştirilebileceği anlamına gelmektedir. Mezo ölçekte de bu çalışmanın büyük faydaları olacaktır. Proje ile trafik etki analizi çalışmalarına temel oluşturularak, bölgedeki hareketliliği etkileyecek herhangi bir yeni yapının uygulanmadan önce, yeni yaratılacak ulaşım talebi, mevcut taleple dengelenmesi, gereken otopark miktarının belirlenmesi gibi çalışmalar gerçekleştirilebilecektir. Bu sayede, mezo ölçekte sonradan yapılacak olan uygulamalar da bu projenin sağladığı çevresel faydaların devamını sağlama imkânına sahip olacaktır.

8. Risk Analizi

Projede öngörülen en büyük risk, veri toplama sürecinde yaşanabilecek gecikmeler ve eksikliklerdir. Bu gecikmeler, projenin başlangıcını doğrudan etkileyebilir. Dolayısıyla verilerin hızla toplanması ve derlenmesi önem taşımaktadır. Gecikme durumunda, projenin simülasyon ortamında altlık oluşturma aşaması önceliklendirilerek zaman kazanılabilir. Bu yaklaşım aynı zamanda projenin sürdürülebilirliğini de sağlar.

Proje, tamamen sanal bir ortamda oluşturulan bir ikize dayandığı için projenin kendisinde herhangi bir ekonomik veya mali kayıp öngörülmemektedir. Aksine, projenin başarısı ve elde edilen kazanımlar, yeni bir yerleşim alanının kurulma aşamasında ortaya çıkabilecek ekonomik kayıpları engellemeyi amaçlamaktadır.

Projede kullanılacak temel teknolojiler, simülasyon yazılımı ile AUS ve K-AUS uygulamalarıdır. Simülasyon için kullanılacak yazılımın arka plan parametreleri belirlenmiş olup, program seçiminde değişiklik yapılması öngörülmemektedir. AUS ve K-AUS uygulamalarında ise teknolojik değişimlerin kısmi olarak gerçekleşme ihtimali vardır. AUS uygulamalarında kullanılacak yazılım ve donanımdaki olası değişikliklerin komponent seviyesinde olması muhtemel olup projenin işleyişini etkilemeyecek düzeydedir. K-AUS uygulamalarında ise çoğunlukla yazılımsal değişiklikler beklenir ve bu değişiklikler sistem işleyişine herhangi bir olumsuz etki yapmayacak şekilde olacaktır. Yazılımsal değişiklikler, sistemin etkinliğini artırmaya yönelik olacak ve sahada uygulamanın başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesini engellemeyecektir.

Ülkemizde birçok AUS uygulaması zaten kullanıldığı için herhangi bir hukuki risk taşımamaktadır. K-AUS uygulamaları, ülkemizde ve dünya genelinde yeni bir yaklaşım olmasına rağmen, temelde mevcut AUS altyapısının koordinasyonuna dayandığı için, AUS için belirlenen hukuki gereklilikler K-AUS için de geçerli olacaktır.

9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu alışma, 1000 hektarlık bir alana etkisi olan ulaşım sisteminin sanal ikizini oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu sayede, maliyeti yüksek olan ulaşımla ilgili kararlar ve yatırımlar, öncelikle sanal ikiz üzerinde test edilerek sonuçları elde edilecektir. Bu yaklaşım, söz konusu alanda 200.000 kişinin yaşadığı ve bu alana seyahat edecek vatandaşların ulaşım sorunlarını minimize etmeyi hedefleyerek verimli, entegre ve evre dostu bir ulaşım ağı oluşturmayı sağlayacaktır.

Proje sürecinde, sanal ikiz oluşturulurken mevcut veriler titizlikle toplanmalı ve ulaştırma uzmanları tarafından değerlendirilmelidir. Ardından, kabul edilebilir hata payı ile kullanılan veriler, ulaştırma uzmanları tarafından sanal ikiz ortamında anlık olarak kalibre edilmelidir. Aksi takdirde, sanal ikiz mevcut durumu yanlış şekilde yansıtabilir ve olası değişiklikler ve kararlar konusunda yanılıcı sonuçlar sunabilir. Bu durum beklenen verimli, evre dostu ve entegre bir ulaşım sistemi yerine tam tersi bir sistem oluşmasına yol açabilir. Ayrıca, önerilerin uygulanabilirlik açısından değerlendirilmesi, projenin başarısı için önemli bir etkindir.

10. Kaynakça

- [1] <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Nisan-2023-49434>
- [2] <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/kisi-basina-dusen-arac-sayisinda-3-il-zirvede-yer-aliyor/2798913>
- [3] <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672>
- [4] <https://e.huawei.com/tr/blogs/industries/insights/2020/how-digital-twins-enable-intelligent-cities#:~:text=City%20Operations%3A%20Digital%20twins%20enable,predict%20issues%20and%20mitigate%20risks.>
- [5] <https://www.flir.eu/discover/traffic/roads-tunnels/smart-traffic-management-in-the-city-of-darmstadt/>
- [6] <https://t24.com.tr/haber/google-toplu-tasima-araclarindaki-doluluk-oranini-gosterecek,915540>
- [7] Yel, T., & Atasoy, A. (2021). Dijitalleşmenin Bağımsız Denetime Yansımalarının Siber Gvenlik Ynnden Değerlendirilmesi. Muhasebe Ve Finansman Dergisi439-458.
<https://doi.org/10.25095/mufad.982624>
- [8] Ceylan, E. Z. (2019). Dijital İkizler Ve İnaşaat Sektöründeki Yeri. Yapı Bilgi Modelleme, 1(2), 53-61.

[9] Kumaş, E., & Erol, S. (2021). Endüstri 4.0'da Anahtar Teknoloji Olarak Dijital İkizler. Politeknik Dergisi, 24(2), 691-701.

[10] Altıntaş, O., Tüdeş Yaman, H., & Tuncay, K. (2016). Detection of urban traffic patterns from Floating Car Data (FCD). 22. syf. 382–391 <https://hdl.handle.net/11511/46871>