

Araştırma Makalesi

Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisinin Yaygınlaştırılması: Türkiye Önerisi

Esma Dilek^{1,*}, Özgür Talih², Halim Ceylan³

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgi Güvenliği Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı,
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

³Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye

*Correspondence: esma.dilek@gazi.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1309583

Özet: Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) trafik sıkışıklığı, emniyet, hava kirliliği gibi ulaşım kaynaklı birçok önemli sorunu ele almak, ulaşım altyapılarının verimliliğini artırmak ve sürdürülebilirliğine katkı sunmak için dünyada yaygın olarak kullanılan çözümlerdir. AUS mimarisi, AUS uygulamalarını planlamak, tanımlamak, entegre etmek, birlikte çalışabilirliği sağlamak, ulaşım faaliyetlerini iyileştirerek verimliliği artırmak ve yeni kullanıcı hizmetlerini desteklemek için AUS uygulamalarının geliştirilmesine yönelik bir çerçeve sunmaktadır. Bu çalışmada, AUS mimarilerinin dünyadaki tarihsel gelişimi doğrultusunda öne çıkan ARC-IT, FRAME, ISO referans AUS mimarileri incelenerek AUS mimarisinin önemine, faydalarına, bileşenlerine değinilmiş, AUS mimarisi geliştirmek için kullanılan araçlar sunulmuştur. Dünyadaki ulusal ve bölgesel AUS mimarilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar özetlendikten sonra Türkiye'deki mevcut durum ele alınmış ve ulusal AUS mimarisinin kullanımının yaygınlaştırılması amacıyla Türkiye için bir model önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri mimarisi, birlikte çalışabilirlik, entegrasyon, ARC-IT, FRAME

Dissemination of National Intelligent Transportation Systems Architecture: Proposal for Türkiye

Abstract: Intelligent Transportation Systems (ITS) are solutions that are widely used in the world to address many important transportation-related problems such as traffic congestion, safety and air pollution, to increase the efficiency of transportation infrastructures and to contribute to their sustainability. An ITS architecture provides a framework for the development of ITS applications to plan, define, integrate ITS applications, ensure interoperability, increase efficiency by improving transportation operations, and support new user services. In this study, ARC-IT, FRAME, ISO reference ITS architectures, which stand out in line with the historical development of ITS architectures in the world, are examined and the importance, benefits and components of the ITS architecture are reviewed, and the tools used to develop an ITS architecture are presented. After summarizing the studies on the development of national and regional ITS architectures in the world, the current situation in Türkiye is discussed and a model is proposed for Türkiye to extend the use of the national ITS architecture.

Keywords: Intelligent transportation systems, intelligent transportation systems architecture, interoperability, integration, ARC-IT, FRAME

1. Giriş

Akıllı Ulaşım Sistemleri, ulaşımın yönetimini, izlenmesini, kontrolünü ve emniyetini iyileştirmek için tasarlanmış, geliştirilmiş telekomünikasyon ve bilgisayar teknolojilerinin birleşimine dayalı bir dizi çözümdür. AUS, bilgi ve haberleşme teknolojilerinin ulaşım sektöründe, ekonomik, sosyal ve enerji gibi alanlarda faydalar elde etmek için kullanılan birçok uygulama ve bileşen içermektedir. Aynı zamanda AUS; araç, altyapı ve kullanıcıların dahil olduğu ulaşımın farklı tüm türlerine de uygulanabilmektedir. AUS sayesinde elde edilen iyileştirmeler sonucunda, sunulan hizmetlerin operasyonel verimliliği ve güvenilirliği artırılmakta, etkin bir ulaşım altyapısı yönetimi yapılabilmektedir. AUS, daha emniyetli ulaşım sistemleri oluşturulması ve ulaşım kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olurken ulaşım kullanıcılarına çeşitli bilgi hizmetleri de sunmaktadır. Ulaşım sistemlerinde sağladığı emniyet, verimlilik, sürdürülebilirlik ve konfor sayesinde, AUS insanların ve yüklerin hareketliliğini iyileştirmek için kilit bir oyuncu haline gelmiştir (Perallos vd., 2015).

Planlama ve uygulama süreçleri için sistematik bir temel gerektiren, büyük ve karmaşık yapılara sahip olmakla birlikte, yoğun bilgi teknolojisi unsuru içermesi nedeniyle AUS'un, başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için iyi yönetilmesi gerekmektedir. AUS'un başarılı uygulanması için yeni fonksiyonlar eklendikçe ve mevcut fonksiyonlarda değişim, büyüme ortaya çıktıkça entegrasyon amacıyla aşamalandırma ve planlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. AUS gibi büyük ve karmaşık sistemler, aşağıdaki ortak özelliklere sahiptir:

- Uyumluluk,
- Genişletilebilirlik,
- Birlikte çalışabilirlik,
- Entegrasyon,
- Standardizasyon.

AUS mimarisi, bu özelliklerin AUS uygulamalarında ülke genelinde yaygınlaştırılması için bir çerçeve sunmaktadır (Yokota & Weiland, 2004). Akıllı ulaşım sistemlerini planlamaya, tanımlamaya, uygulamaya ve entegre etmeye yönelik bir çerçeve sunan AUS mimarisi; AUS uygulayıcıları, sistem mühendisleri, sistem geliştiriciler, teknoloji uzmanları ve danışmanlar için oldukça faydalı bir çözüm olarak AUS uygulamalarında öncülük eden ülkelerin birçoğu tarafından kullanılmaktadır.

AUS'un kamu ve özel sektör arasında başarılı ve koordineli gelişmesine destek olarak sistematik ve tutarlı bir şekilde uygulanması ile devam eden ilerlemesine rehberlik etmeye yardımcı olan AUS mimarisi, dünya çapında üzerinde uzun yıllar çalışılan aktif bir konu olmuştur. Bu nedenle, birçok ülke, AUS'u planlamak ve uygulamak için temel bir çerçeve sağlayan AUS mimarisi geliştirmeye önem vermiştir. Ülkelerin farklı kullanıcı hizmetleri gereksinimleri, altyapılarının mevcut durumu, farklı pazar talepleri, sosyal ve ekonomik kalkınma politikaları ve işletme uygulamaları gibi faktörler nedeniyle AUS mimarisi geliştirme girişimleri çoğunlukla ülkelere özgü ve özel AUS mimarilerinin benimsenmesiyle sonuçlanmıştır (Liu vd., 2005). Bununla birlikte, AUS mimarisi oluşturulması ve uygulanması için FRAME olarak adlandırılan Avrupa AUS çerçeve mimarisi ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ulusal AUS mimarisi (ARC-IT, The Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation) tarafından temsil edilen farklı iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar arasındaki başlıca farklılıklar kullanım tarzları ve esneklikleriyle ilgilidir. Avrupa'nın karşı karşıya olduğu zorluk, farklı ihtiyaçlara sahip birçok devletin bulunması ve bu nedenle hepsine uygun evrensel bir AUS mimarisi oluşturmanın mümkün olmamasıdır. Bu nedenle, Avrupa düzeyinde, belirli devletler tarafından bireysel gereksinimlerine göre ulusal veya bölgesel mimarilerin oluşturulabileceği çerçeve mimari bulunmaktadır. Diğer yandan ABD; temel, sabit bir AUS mimarisine sahip olup AUS'un uygulanması için federal mali destek talep edilmesi durumunda, mimarinin kullanılmasını zorunlu tutmaktadır (Bělinová vd., 2010).

Dünyada ulusal AUS mimarisi geliştirme çalışmaları 1990'lı yıllarda başlamış ve ilk ulusal AUS mimarisi ABD tarafından 1996 yılında, Japonya tarafından 1999 yılında, Çin tarafından 2000 yılında, Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa'nın ilk AUS çerçeve mimarisi ise 2000 yılında yayınlanarak bu alandaki çalışmalara öncülük edilmiştir.

Türkiye'de 1985'ten 1995'e kadar olan zaman aralığında, trafik yönetim sistemleri ve otomatik ücretlendirme sistemlerinin ortaya çıkışıyla akıllı ulaşım konusu gündeme gelmeye başlamıştır. Sonraki

on yıllık zaman diliminde ise elektronik ödeme sistemleri, trafik kontrol merkezleri ve değişken mesaj işaretleri, yol ağında akıllı sistemler olarak yerini almıştır. 2019 yılı sonlarına kadar elektronik denetleme sistemleri, adaptif kavşak kontrol sistemleri, otomatik araç sayımları, yolcu bilgilendirme sistemleri, AUS strateji belgesi ve eylem planı, e-Call (acil durum yönetim sistemleri), navlun ve filo yönetimi gibi bilgi ve haberleşme teknolojilerini içeren akıllı çözümlere şahit olunmuştur. 2020 yılı sonrasında ise Türkiye’de AUS’a ilişkin altın çağ olarak değerlendirilebilecek çalışmaların başladığı söylenebilir. Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı’nın 2020 yılında yürürlüğe girmesiyle birlikte, bu alanda ilerleme kaydedilmiş mevcut birçok faaliyetin yanında kooperatif AUS (K-AUS), Bir Hizmet Olarak Hareketlilik (MaaS, Mobility as a Service), otonom hareketlilik gibi yenilikçi konular sektörün gündeminde yerini almıştır.

AUS, çok paydaşlı, çok modlu ve disiplinler arası iş birliği gerektiren yapısıyla, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de büyük bir ekosisteme sahiptir. Bu ekosistemdeki faaliyetlerin sayısının ve çeşitliliğinin, sürdürülebilir ulaşım ve yaşama ilişkin sorunlara sunduğu çözümler doğrultusunda artmasıyla, bu alana yönelik organize ve sistemli bir yönetim ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda Türkiye’de AUS mimarisi ile ilgili çalışmalara 2014 yılında başlanmış, ancak belirli bir olgunluğa erişmesi 2020 yılı sonrasında olmuştur.

Bu çalışmada, dünyada ve Türkiye’de ulusal AUS mimarisi geliştirme girişimlerine ilişkin literatür çalışmaları gözden geçirildikten sonra, ulusal AUS mimarisinin Türkiye’de kullanımının yaygınlaştırılması için öneriler ve bu doğrultuda bir model sunulmuştur. Bu çalışmanın temel özellikleri ve önceki çalışmalardan farkları aşağıda listelenmiştir:

- AUS sistem mimarisi geliştirme girişimlerinin başladığı 1990’lı yıllar ve sonrasında dünyada yaşanan gelişmeler ele alınarak ulusal ve bölgesel AUS mimarisi geliştirme çalışmalarının güncel bir özeti, tarihsel gelişimi, ulusal AUS mimarisinin önemi, faydaları, AUS mimarisi geliştirmede kullanılan araçlar ile Türkiye’deki mevcut duruma ilişkin bilgiler sunulmuştur.
- Çalışmada, ulusal AUS mimarisinin Türkiye’de yaygınlaştırılması için öneriler ve bir model sunulmuştur. Kullanım, özendirme ve sahiplenme başlıkları altında faaliyetlerin yer aldığı modelde, “Ulusal AUS Mimarisi Yaygınlaştırma Prosedürü”nün oluşturulması önerilmiştir.
- Dünyadaki AUS mimarisi geliştirme girişimlerinin kapsayıcı bir resmi ortaya koyularak Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması konusunda kamu kurumlarına, özel sektöre, akademiye bakış açısı kazandırılması amaçlanmıştır.

Bu makalenin geri kalan bölümü şu şekilde organize edilmiştir: İlk olarak 2. bölümde, AUS mimarisi, önemi, bileşenleri açıklanmış, literatürde yer alan ulusal AUS mimarisi ve bölgesel uygulamalar ile araştırmalar sunulmuştur. Ardından, 3. bölümde dünyada AUS referans mimarileri ve gelişimleri gözden geçirilmiş, ABD’de, Avrupa’da ve Asya ülkelerinde kullanılan AUS mimarileri incelenerek AUS mimarisi geliştirmek için kullanılan platformlar ve araçlar analiz edilmiştir. 4. bölümde, Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin mevcut durumuna ilişkin bilgiler verilerek geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına yönelik öneriler ve Türkiye için bir model paylaşılmıştır. Son olarak 5. bölümde sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. Literatür çalışmaları

2.1. AUS mimarisi

AUS mimarisi, akıllı ulaşım ile ilgili teknolojileri, bileşenleri ve faaliyetleri planlamak, analiz etmek, tanımlamak, uygulamak ve entegre bir şekilde çalışmalarını sağlamak için çerçeve sunarak aynı zamanda bunların iş, organizasyonel ve teknik uygulamalarının anlaşılmasına olanak tanımaktadır (Perallos vd., 2015). AUS mimarisi, bir AUS uygulamasının sistem tasarımı bakış açısıyla nasıl görüneceğine dair görüş sunmakta ve farklı AUS bileşenleri ile harici arayüzler (işletmeciler, paydaşlar ve diğer sistemler) arasında veri alışverişi ile kontrol yönergelerini açıklamaktadır. AUS uygulamalarından beklenen sonuçlara ulaşabilmek amacıyla AUS mimarisi, bu uygulamaları oluşturan kullanıcı hizmetlerinin fonksiyonlarını, bu fonksiyonların yer aldığı varlıkları, bu fonksiyonları ve varlıkları birbirine bağlayan bilgi ve veri akışlarını tarif etmektedir. Ayrıca, bu akışlar için gereken ara bağlantıların ve birlikte çalışabilirlik seviyesine erişmek için gereken performans özelliklerinin tanımlanmasını sağlamaktadır. AUS mimarisi, AUS ihtiyaçlarını karşılamak için akıllı ulaşım alanına yönelik her bir uygulamanın birlikte nasıl çalışabileceğini açıklayan bir araç sunmaktadır.

AUS mimarisi, belirli bir sistemin yapısını, davranışını ve çevresiyle entegrasyonunu tanımlayan kavramsal tasarım sunmaktadır (2010/40/EU Sayılı Direktif, 2010). AUS uygulamalarının bir ülke genelinde uyumlu ve etkileşimli bir şekilde geliştirilmesi ile uygulanmasını sağlayan AUS mimarisi sayesinde, uygulamalar arasında haberleşme, birlikte çalışabilirlik ve veri alışverişinin mevcut ve gelecekte kolay ve entegre bir şekilde yapılması mümkün olmaktadır.

AUS mimarisinin önemli bir bölümü, akıllı ulaşımın temel bileşenleri arasındaki arayüzlerin belirlenmesi ve tanımlanmasıdır. Bu arayüzler, genel bir akıllı ulaşım sisteminin ana bileşenlerinin birbirleriyle iletişim kurmasını ve birlikte çalışmasını sağlamaktadır. AUS mimarisi kısaca şunları tanımlamaktadır (Yokota & Weiland, 2004):

- AUS sistemlerinin ve uygulamalarının gerçekleştirmesi beklenen kullanıcı hizmetlerini,
- Kullanıcı hizmetlerini oluşturan fonksiyonları ve bu fonksiyonların bulunduğu varlıkları,
- Fonksiyonları ve varlıkları birbirine bağlayan bilgi akışları ve veri akışlarını.

AUS mimarisi, her kullanıcı hizmeti için fonksiyonları ve bilgi akışları ile birlikte, kullanıcı hizmetleri arasında paylaşılanları da tanımlamaktadır. Bu sayede mimari geliştirme süreci, ortak fonksiyonların, veri ve bilgi akışlarının tanımlanmasını sağlamaktadır. Böylece AUS mimarisi, sistem geliştirmeye yönelik yüksek düzeyde, yukarıdan aşağıya bir sistem mühendisliği yaklaşımı sunmaktadır (Hickman vd., 1996). Bir AUS sistem mimarisi, AUS'un ne yaptığını (kullanıcı hizmetleri), bunun nerede olduğunu (varlıklar) ve bu bileşenler arasında hangi bilgilerin hareket ettiğini (akışlar) açıklamaktadır.

2.1.1. Kullanıcı hizmetleri

Akıllı ulaşım sistemlerinin ve uygulamalarının gerçekleştirdiği veya desteklediği uygulamalar, kullanıcı hizmetleri olarak tanımlanmaktadır. Tipik kullanıcı hizmetleri arasında yolcu bilgilendirme, trafik yönetimi, elektronik ücret toplama, acil durum yönetimi, trafik olay yönetimi, kamu ve özel araç filo yönetim sistemi gibi hizmetler yer almaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

2.1.2. Varlıklar

Kullanıcı hizmetlerinin yerine getirildiği trafik yönetim merkezleri, toplu taşıma araçları gibi fiziksel lokasyonlar, AUS uygulamalarıyla etkileşime girerek onlara bilgi gönderen ve onlardan bilgi ile hizmet alan yolcu ve sistem yöneticileri gibi yol kullanıcıları, varlıkları oluşturmaktadır. AUS kullanıcı hizmetlerini gerçekleştirmeye yardımcı olan elektronik ücret toplama sistemleri, otopark bilet yönetimi gibi sistemler de varlıklar olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, AUS'un bir parçası olmayan AUS bilgilerinin dış kaynakları veya hedefleri de varlık olabilmektedir. Örneğin, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve hava tahmin sistemleri, AUS uygulamaları veya alt sistemleri içinde yer almasa bile bunlardan gelen bilgiler birçok AUS sistemi tarafından kullanılmakta olup bu tür varlıklar da mimaride genellikle dikkate alınmaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

2.1.3. Bilgi ve veri akışları

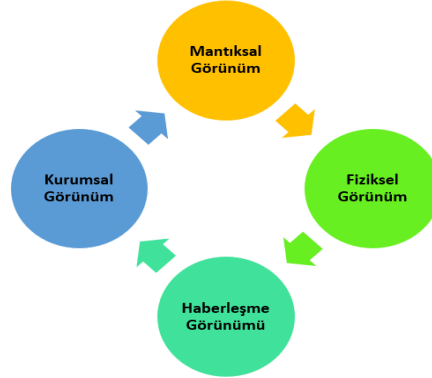
Bilgi akışları ve veri akışları, kullanıcı hizmetlerini ve varlıkları genel bir sisteme bağlamaktadır. Örneğin elektronik ücret toplama sistemleri, bir araçtan (fiziksel varlık) bir ücret toplama sistemine (alt sistem) ve ücret toplama sisteminden merkezi bir muhasebe sistemine (harici varış noktası) veri akışlarını içermektedir. AUS uygulamalarının sağladığı faydaların ve etkinin büyük bir bölümü, ulaşım sistemi hakkında bilgi toplama, analiz etme ve dağıtma yeteneklerinden gelmekte olup bu bilgi hareketi, "bilgi ve veri akışları" olarak tanımlanmaktadır. Bu verilerin fiziksel hareketi genellikle kablolu veya kablosuz haberleşme teknolojileriyle gerçekleştirilmektedir (Yokota & Weiland, 2004).

2.1.4. AUS mimarisi görünümüleri

Bir AUS mimarisinde, farklı detay seviyelerini ve bilgi türlerini tasvir eden, farklı kaynaklarda bakış açısı ya da mimari olarak da zikredilen çoklu görünüm kullanılmaktadır. Şekil 1'de şematik olarak gösterilen görünüm arasında aşağıdakiler yer almaktadır:

- Mantıksal (veya Fonksiyonel) Görünüm: Çeşitli veri öğelerinin nasıl akması ve işlenmesi gerektiğini açıklayan sistem mantığıdır (veya fonksiyonelliğidir).
- Fiziksel Görünüm: AUS fonksiyonelliğinin, sistemin fiziksel bileşenlerinde nasıl yer alacağını tarif etmektedir.

- Haberleşme Görünümü: Fiziksel bileşenlerin kendi aralarında ve dış dünya ile fiziksel bileşenler arasında hangi iletişim bileşenlerine gereksinim duyulduğunu belirtmektedir.
- Kurumsal (veya Organizasyonel) Görünüm: Sistem bileşenlerinin, iletişimlerin ve sorumlulukların, AUS hizmet sağlayıcıları ve kullanıcıları arasında nasıl dağıtılacağını açıklamaktadır.



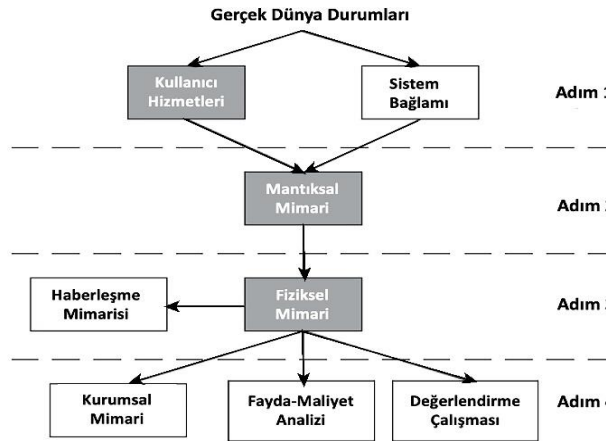
Şekil 1. AUS mimarisi görünümü

2.1.5. AUS mimarisi geliştirme süreci

Gerçek dünya ihtiyaçlarından yola çıkılarak belirlenen ve Şekil 2’de örnek bir gösterimi sunulan AUS mimarisi geliştirme prosedüründe, fayda-maliyet analizi değerlendirme çalışmalarını içeren aşağıdaki dört temel adım bulunmaktadır (Liu vd., 2005):

1. Kullanıcı hizmetleri ve sistem bağlamı,
2. Mantıksal mimari,
3. Fiziksel ve haberleşme mimarisi,
4. Kurumsal mimari.

Literatür çalışmalarında, AUS mimarisi geliştirme sürecinde bu temel adımların uygulandığı gözlenmektedir.



Şekil 2. AUS mimarisi geliştirme prosedürü

2.2. Ulusal AUS mimarisinin önemi ve faydaları

AUS, bireysel ya da birbirinden bağımsız uygulamalar dizisi olarak sunulabilmektedir. Bu durum verilerin toplanması ve kullanımında mükerrerliği artırmakta, aynı zamanda kapsamın genişlemesi nedeniyle gelecekte entegrasyon ve bilgi paylaşımı için sorunlara neden olmaktadır. Aynı zamanda sistemlerin zaman içerisinde yenilenmesi ve bunun genel bir maliyetinin olması nedeniyle, mevcut kurulu sistemlerin etkili, yönetilebilir, genişletilebilir, bakımı yapılabilir sistematiğe olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, sunulan AUS kullanıcı hizmetlerinin etkili ve verimli olması için sunulan toplu taşıma, otopark yönetimi, trafik yönetimi sistemleri gibi gelişmiş AUS uygulamalarının, farklı şehirlerde birbiri ile entegre olabilmesi ve belirli bir düzeyde iş birliği yapabilmesine gereksinim duyulmaktadır.

Bu nedenle, AUS ancak bir sistem mühendisliği yaklaşımıyla sunulduğunda başarılı olabilmektedir. AUS mimarisi, sistemlerin planlanması ve uygulanmasında, devlet kurumlarına ve yerel kurumlara, AUS ürün ve hizmetlerinin, diğer AUS ürün ve hizmetleriyle uyumlu ve birlikte çalışabilir olduğundan emin olabilmesi için ortak bir çerçeve sağlamaktadır.

Ulusal AUS mimarisinin üç temel faydası; sistem entegrasyonu için bir çerçeve sunmak, ortak verileri ve fonksiyonları tanımlamak ve açık arayüz standartlarını belirlemektir. Bu mimari özelliklerin, ürün tedarikçileri ile birlikte, AUS kullanıcıları için daha düşük sistem maliyetleri ve daha fazla fayda sağlaması muhtemeldir (Hickman vd., 1996). AUS fonksiyonlarının, arayüzlerin ve veri akışlarının kapsamlı bir tanımlamasını sunan ulusal AUS mimarisi sayesinde, sistem entegratörleri, ürün ve hizmetlerinin uyumlu olduğu sistem tasarımlarını oluşturabilmektedir. Ulusal AUS mimarisi, sistem tasarımcılarının çeşitli sistem hedeflerine ulaşmak için ortak verileri ve fonksiyonları kullanabilecekleri bir çerçeve oluşturmaktadır. Böylece sistemler, fazlalıktan kaçınarak verimli bir şekilde tasarlanabilmektedir. Ayrıca, her bir AUS teknolojisi birden çok fonksiyona hizmet edebildiğinden, bu ortak kaynak paylaşımı önemli maliyet tasarrufları sağlayabilmektedir.

Mimariye dayalı açık arayüz standartlarının geliştirilmesi, ürün ve hizmetlerin bir mimari arayüzde uyumlu olmasını sağlamada faydalı olmaktadır. Mimariye uyumlu sistem tasarımları, sistem satın alma, çalıştırma, bakım, geliştirme, bir üst seviyeye çıkarma ve genişletme maliyetlerini azaltmak için arayüz standartlarından yararlanabilmektedir. Bu sayede ulusal mimari, AUS sistem tasarımları ve uygulamaları için uzun vadede önemli faydalar sağlayabilmektedir (Hickman vd., 1996). AUS uygulama bağlamının genel bir görünümünü sunmayı amaçlayan AUS mimarisi; AUS hizmet, uygulama standartları ve ürünlerini doğru yer ve uygun rollere atamak için büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca, ulusal bir AUS sistem mimarisi geliştirmek, bir ülkenin AUS vizyonunun somut bir kaydını ortaya koymaktadır. Özellikle sistem mimarisi oldukça yüksek bir seviyede tutulursa, tüm AUS geliştirmeleri için uygun bir referans oluşturmakta ve ülkenin inşa ederek sürdürmek istediği AUS yapısını düzenli olarak hatırlatmayı sağlamaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

AUS mimarisi, günümüzde endüstri 4.0 teknolojileri, mobil uygulamalar, artırılmış gerçeklik, nesnelerin interneti gibi son teknolojiler ile birlikte, insan odaklı, sürdürülebilir ulaşım sistemleri tasarlamak ve uygulamak amacıyla oluşturulmaktadır. AUS mimarisi oluşturularak trafik yönetim merkezi, toplu taşıma yönetim merkezi, acil durum yönetim merkezi gibi sistemi oluşturan bileşenlerin, verileri birbiri ile paylaşabilmek için oluşturdukları mantıksal ve fiziksel mimariler yardımıyla, sinyalizasyon sistemleri gibi uygulamalar vasıtasıyla kullanıcılara en iyi AUS hizmetini sunması hedeflenmektedir (Çapalı, 2022).

Ulusal AUS mimarisi, AUS'u planlamak, tanımlamak, uygulamak ve entegre etmek için ulusal bir çerçeve ortaya koyduğundan, Türkiye'deki ulusal ve bölgesel düzeylerdeki kilit paydaşlar için AUS hizmetlerinin nasıl olacağına dair ortak bir görüş sunmayı mümkün kılmaktadır.

Genellikle ulusal AUS mimarisine uygun olarak geliştirilen bölgesel AUS mimarisi de bir bölgede AUS teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması için çerçeve sunarak rehberlik etmektedir.

2.3. AUS mimarisi ulusal ve bölgesel uygulamaları

Bölgesel ulaşım sorunlarına çözüm bulmada, AUS'un uygulanması için mimarinin rolü (Rodríguez vd., 1998) tarafından analiz edilmiştir. Çalışmada, rekabetçi bir bölge kavramı, değişen ekonomik çıkarları, paydaşları ve sınırları olan bir bölge ele alınarak bölgesel sistem mimarisi kavramı, koordineli bölgesel çözümlere ulaşmak için bir katalizör olarak tanıtılmıştır. Arjantin'in Mendoza eyaletinin, bölgesel bir ulaşım sistemini şekillendirmek için bir mimarinin kullanılmasına yönelik vaka çalışması olarak sunulan araştırma, AUS'un uygulanmasında ele alınması gereken temel konuların doğası gereği kurumsal olduğunu ve bir sistem mimarisinin, bölgesel koordinasyon bağlamında ulaşım iyileştirmelerini geliştirmek için stratejik bir araç haline gelebileceğini göstermiştir.

Kanada ulaşım endüstrisinden kamu ve özel sektör temsilcilerinden oluşan bir yönlendirme komitesinin rehberliğinde, Kanada AUS mimarisinin geliştirilmesine Ağustos 1999'da başlanmıştır. Genel olarak Kanada ulusal AUS mimarisi, ABD ulusal AUS mimarisini tümünü kapsamakta olup aynı zamanda yeni hizmetler sunmak, yeni kullanım alanlarını sağlamak, yeni ve farklı paydaşların varlığı ile ülkeler arasındaki farklılıkları yansıtmak için ABD mimarisini genişletmiş ve değiştirmiştir. Bu sebeple, iki

mimarinin teknik tanımları arasında pek çok ortak nokta bulunmaktadır. Kanada AUS mimarisinin gelişimi incelenerek ABD ile Kanada mimarileri arasındaki farklar (Borges vd., 2001) tarafından ortaya koyulmuştur. İlgili AUS mimarisi ve standartları girişimlerinin kapsamlı bir incelemesini inceleyen yazarlar tarafından AUS paydaş girdilerine dayanarak Kanada için geçerli kullanıcı hizmetleri, kullanıcı alt hizmetleri ve hizmet paketlerini tanımlayan bir ilk taslak AUS mimarisi çerçevesi geliştirilmiş ve AUS paydaşları tarafından yapılan incelemeden sonra revize edilmiştir. Bu AUS mimarisi çerçevesi, Kanada AUS mimarisinin hem fiziksel hem de mantıksal mimarilerinin tanımlarını geliştirmek için kullanılmıştır.

AUS'un emniyet açısından faydalarını değerlendirmek için Kanada AUS mimarisine dayalı bir çerçeve, (Vahidi & Sayed, 2003) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen çerçeve, Kanada AUS mimarisindeki hizmet paketleriyle eşlenen ve faydaların “neden” ve “sonuç” akışını yakalamak için birbiriyle ilişkilendirilen değerlendirme ölçütlerinin tanımlanmasını içermektedir. Geliştirilen çerçevenin Kanada AUS mimarisiyle tutarlı terminoloji kullanarak değerlendirmelerin yapılabilmesi için bir yapı sağlayarak gelecekteki AUS emniyet değerlendirmeleri için faydalı olması amaçlanmıştır.

Güney Kore hükümeti tarafından ilk versiyonu 1999 yılında yayınlanan ulusal AUS mimarisinin, AUS pazarındaki çevresel değişiklikleri ve AUS temel teknolojilerindeki ilerlemeleri karşılayabilmesi için revize edilmesi gerekmiştir. Güney Kore ulusal AUS mimarisinin mevcut versiyonu (Lee, 2009) tarafından değerlendirilmiş ve yeni bir ulusal AUS mimarisi için revizyon yönergeleri önerilmiştir. Mimari geliştirme için popüler iki metodoloji olan süreç odaklı ve nesne yönelimli yaklaşım gözden geçirilerek yeni mimari geliştirme için süreç odaklı yaklaşım seçilmiştir. Ulusal mimari kavramı daha sonra mevcut mimarinin değerlendirilmesine dayalı olarak yeniden tanımlanmış ve yeni ulusal AUS mimarisinin; AUS kullanıcı hizmetleri, mantıksal mimari, fiziksel mimari ve proje mimarisinden oluşması önerilmiştir. Yeni ulusal AUS mimarisinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bu çalışmayı, gerçek mimari geliştirme çabaları ve destekleyici politika eylemlerinin izlemesi gerektiği vurgulanmıştır.

Akıllı bir ulaşım sisteminin geliştirilmesinde en büyük faydayı, sistem kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılayan hizmetlerin sağlanmasına dayalı bölgesel bir yaklaşımla sağladığını vurgulayan (McGregor, 2003), bunu desteklemek için, ulusal mimari yönergelerini kullanarak orta ölçekli şehirler için bölgesel AUS mimarilerinin geliştirilmesine yönelik bir araştırma sunmuştur.

Pekin bölgesel AUS mimarisinin geliştirilmesinde kullanılan metodoloji (Chen vd., 2003) tarafından sunulmuştur. Çalışmada, önce fonksiyonel ihtiyaçlar kapsamlı bir ankete dayalı olarak analiz edilmiş, ardından, fonksiyonel ihtiyaçlar, Çin'in ulusal AUS mimarisinde tanımlandığı ve gereksinim duyulduğu şekilde kullanıcı hizmetlerine eşlenmiştir. ABD'nin ulusal AUS mimarisinde kullanılan hizmet paketleri kavramı tanıtılmış ve uygulanmış, kullanıcı hizmetleri, hizmet paketlerine dönüştürülmüştür. Ardından, fiziksel varlıklardan oluşan fiziksel mimari ve mimari akışlar geliştirilmiştir.

Çin ulusal AUS mimarisinde elde edilen başarılar, AUS mimarisi geliştirme yaklaşımı, AUS kullanıcı hizmetlerinin güncellemesi ve AUS mimarisi geliştirmeyi desteklemek için özelleştirilmiş mimari yazılımı hakkında detaylı bilgi (Ke vd., 2005) tarafından paylaşılmıştır.

Mevcut ve planlanan AUS altyapısı, hizmetleri ve bilgi paylaşım düzenlemeleri hakkında bilgi toplamak için paydaşlarla yapılan görüşmelere dayalı olarak San Juan Büyükşehir Bölgesi için bölgesel bir AUS mimarisi geliştirme metodolojisi (Fernández González, 2006) tarafından sunulmuştur. Çalışmanın başlangıcında bölge, paydaş grubu ve belirlenen ihtiyaçlar tanımlanmış, ardından kullanıcı hizmetleri, operasyonel kavramlar ve fonksiyonel gereksinimler ortaya koyulmuştur. Ulusal AUS mimarisine dayalı bir bölgesel AUS mimarisi oluşturularak mimarinin planlama ve proje geliştirme açısından etkileri tartışılmıştır.

AUS mimarisinin pratikte seyrek kullanımı konusu (Belinova vd., 2011) tarafından ele alınmış, eksik kavramları ele almak için dünyadaki AUS mimarisine yönelik çeşitli yaklaşımlar incelenmiş ve Çek AUS mimarisinin bir araştırma konusundan gerçek dünya uygulamasına nasıl dönüştürülebileceğine dair öneri sunulmuştur. Dört farklı seviyeye dayandırılan öneride aşağıdaki adımlar yer almıştır:

1. AUS Forumu kurularak gerçekleştirilecek olan *Organizasyon*,
2. Nihai hedefi ortak çıkarlar bulmak olan *Tasarım*,

3. İlgili AUS uygulamaları için *Bilgi*,

4. Gerekli araçların geliştirilmesiyle basitleştirilecek olan *Uygulama*.

Bu adımların, Çek Cumhuriyeti’ni Avrupa çapında AUS hizmetlerine hazırlaması gerektiği belirtilmiştir.

Polonya’daki Yukarı Silezya Birleşik Bölgesi’ndeki AUS uygulamasının mevcut durumunun bir incelemesi (Karoń & Mikulski, 2012) tarafından sunulmuştur. Çalışmada, Yukarı Silezya Kentleşmesi için entegre AUS planlaması ve tasarımı ile şehir içi ulaşım sistemleri geliştirme planlaması için gerekli olan AUS mimarisinin hazırlanması ve uygulanması için bir metodoloji önerilmiştir. Söz konusu bölge için hem bireysel AUS sistemlerinin hem de tüm mimarilerinin uygulama sorunlarına ve engellere değinilmiştir.

Avustralya ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesindeki ilk adım olarak bağlam ve vizyon belgesi (Sweeney & Venz, 2014a) tarafından hazırlanmış ve belgede aşağıdaki konularda önerilere yer verilmiştir:

- Avustralya ulusal AUS mimarisi vizyonu,
- Diğer AUS mimarisi girişimlerinin Avustralya ulusal AUS mimarisinin gelişimini nasıl bilgilendirebileceği ve yönlendirebileceğini anlamaya yardımcı olan uluslararası AUS mimarisi bağlamı,
- Mimari geliştirme metodolojisi,
- Avustralya mimarisinin gelişiminin bu bağlamda nasıl devam etmesi gerektiği.

Ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi sürecinde ise öncelikli olarak daha sonraki ayrıntılı mimari modellerin inşa edilebileceği iş ve kavramsal mimari platformu (Sweeney & Venz, 2014b) oluşturulmuştur. Önerilen AUS iş mimarisi ile ulaştırma kurumları ve AUS ile ilgili kuruluşların tutarlı bir yaklaşım ve terminoloji kullanarak AUS çözümlerini tanımlaması ve geliştirmesine izin verilmesi amaçlanmıştır. Avrupa AUS çerçeve mimarisi, Avustralya ulusal AUS mimarisinin temeli olarak benimsenerek iş mimarisi alanı, genellikle bir referans mimarisi olarak kabul edilmiştir. İş mimarisi; veri, uygulama ve teknoloji mimarilerinin geliştirilmesi için temel oluşturarak geliştirilecek ilk mimari alan olmuştur.

Gelişmekte olan bir ülkenin orta ölçekli bir şehirde hareketlilik hizmetlerinin tasarımı için bir geliştirme süreci önermek ve bir AUS mimarisini bu tür şehirlere uyarlamak için en iyi sürecin hangisi olduğunu belirlemek amacıyla referans AUS mimarileri (Salazar-Cabrera & Pachón de la Cruz, 2018) tarafından ele alınmıştır. Çalışmada, yazarlar Kolombiya’daki Popayán ara şehri için bir AUS mimarisi tasarlamış ve buna dayalı hizmetlerin planlamasını ve tasarımı yapmıştır. Mimariye dayalı olarak şehir için “Toplu taşıma araç takibi” ve “Trafik ölçümü” olmak üzere iki hareketlilik hizmetinin tasarımının detaylandırıldığı çalışmada, bir ara şehrin özel ortamının ve önceliklerinin, bir referans mimariden AUS mimarisi için seçilecek hizmetlerin belirlenmesine olanak tanıdığı gözlemlenmiştir.

2.4. Diğer ilgili çalışmalar

AUS için gereksinim odaklı bir sistem tasarım yaklaşımı, (Masaki vd., 1996) tarafından önerilmiştir. Önerilen yöntemde temel gereksinimler belirlenmiş ve çeşitli dönüşüm süreçlerinden geçirilerek fiziksel bir mimariye dönüştürülmüştür. Belirli bir uygulama alanı için ortak bir metodoloji ortaya koyularak sistem tasarımının mantıklı bir şekilde ele alındığı bu çalışmada, AUS, uygulama alanı olarak seçilmiş ve vaka çalışmaları ile sistem tasarım yaklaşımları oluşturularak değerlendirilmiştir.

Ulusal AUS mimarisini, eyalet ve yerel ulaşım kurumları tarafından gerçek dünya uygulamalarına uyarlamak için bir çerçeve, (Chowdhury vd., 1998) tarafından sunulmuştur. Önerilen nesne yönelimli modelleme ve tasarım çerçevesi, herhangi bir kullanıcı hizmeti için üst düzey bir tasarım oluşturmak için aşağıdaki aşamaları içermektedir:

- Kullanıcı hizmetlerinin ve ilişkili işlevlerin tanımlanması,
- Fonksiyonel gereksinimlerin belirlenmesi ve bunların tasarım mimari bileşenleriyle ilişkilendirilmesi,
- Bileşen ilişkilerinin belirlenerek nesnelere ilişkilendirilmesi,
- Bileşen nesnelere için eyaletler açısından üst düzey davranışların tanımlanması,
- Kullanıcı hizmetlerinin üst düzey bir tasarımının geliştirilmesi.

ABD ulusal AUS mimarisini kullanarak talebe duyarlı transit operasyonlarını destekleyen bir prototip karar destek sistemi (KDS) geliştirilmesine yönelik araştırma (Smith, 1998) tarafından yürütülmüştür. Çalışma ile paratransit çizelgeleme için yaygın olarak kullanılan diğer yazılım paketlerine güvenmek yerine coğrafi bilgi sistemi içinde çalışacak rota sapma hizmeti için bir KDS geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1996 yılında ABD Federal Karayolu İdaresi, AUS için ulusal bir sistem mimarisi geliştirmeye yönelik bir programı tamamlamasının ardından (Hall & Thakker, 1998), çok taraflı projelere vurgu yaparak ulaşım yönetimi projelerinin uygulanmasını iyileştirmek için sistem mimarisinin kullanılabilmesi metodolojiler hakkında tavsiyeler sunmuştur. Kaliforniya’da görev ve sorumlulukların ve genel bir operasyon konseptinin oluşturulmasına yönelik tavsiyelerin yer aldığı raporda, model anlaşmaların ve politikaların geliştirilmesi, katılan tarafları kapsayan belirli bir anlaşmanın müzakere edilmesi ve söz konusu anlaşmanın pratikte uygulanmasını içeren üç aşamalı bir prosedürün benimsenmesi önerilmiştir.

KAREN (Keystone Architecture Required for European Networks-Avrupa Ağları için Temel Mimari) Projesi ile gerçekleştirilen Avrupa AUS çerçeve mimarisi kapsamında, Avrupa için kullanıcı ihtiyaçları seti, fonksiyonel bir mimari, fiziksel bir mimari ve bir haberleşme mimarisinin yanı sıra bir maliyet-fayda raporu geliştirildiğini belirten (Tierolf, 1999), yaşanan sorunlara ve gerekli standartlar hakkındaki raporlara değinmiştir. Ayrıca, çalışmada; uygulama senaryoları ve mimari bakım, Ar-Ge ve takip faaliyetlerine ilişkin tavsiyelerin ekleneceği, hangi etkilerin beklenebileceği, AUS topluluğu tarafından kullanım ve kabulün nasıl optimize edilebileceğinin açıklanacağı belirtilmiştir.

AUS geliştirme, planlama ve uygulamaya yönelik iş birlikçi yaklaşım (McQueen & McQueen, 1999) tarafından açıklanmıştır. Yazarlar, ulaşım camiasına, ulaşım ve sistem mühendisliği arasındaki boşluğu doldurmada yardımcı olmayı amaçlamış, paydaşların AUS geliştirme projelerini dikkate almalarının, hazırlamalarının ve etkin girdiler sunmalarının desteklenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Demiryolu güvenliğini, verimliliğini ve hareketliliğini geliştirmek amacıyla demiryolu için AUS fonksiyonel mimari (B. Yang & Xie, 2000)’de önerilmiştir.

(Liu vd., 2005), AUS mimarilerinin geliştirilmesi için genel metodolojiyi tanıtarak AUS mimarisi geliştirme aracına duyulan ihtiyaca değinmiş, AUS mimarisi geliştirilmesi için Çin’de özel olarak tasarlanmış olan ITSA-CASS (Intelligent Transportation Systems Architecture-Chinese Academy of Social Sciences-AUS Mimarisi-Çin Sosyal Bilimler Akademisi) isimli yazılım aracını önererek bileşenlerini ve özelliklerini irdelemiştir. Önerilen yazılım aracı ile tüm AUS mimarisi geliştirme prosedürü basitleştirilerek standart hale getirilmiş, bu sayede, geliştiricilerin iş yükünün önemli ölçüde azaltılması, verimliliğin artırılması ve AUS mimarisinin eksiksiz ve tutarlı olması sağlanmıştır. AUS mimarisi geliştirme prosedürünün her adımını tek bir pakette entegre etmeye yönelik bu ilk girişimin, Çinli geliştirme ekiplerinin bu görevi etkili, kolay ve sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirmelerine yardımcı olduğu vurgulanmıştır.

Avrupa Birliği projesi olan COOPERS (CO-OPERative SystEms for Intelligent Road Safety-Akıllı Yol Emniyeti İçin Kooperatif Sistemler)’ta örneklendiği gibi, FRAME yöntemi ve Avrupa AUS çerçeve mimarisi kullanılarak ortak sistemler için üst düzey bir mimarinin geliştirilmesi (Frotscher & Scheider, 2008) tarafından açıklanmıştır. Yazarlar, altyapıdan araca iletişime dayalı iş birlikçi sistemlerin, yalnızca daha yüksek yol güvenliği ve emniyeti ile sonuçlandığı belirtilen kriterleri artırma potansiyeline sahip olmadığını, aynı zamanda trafik yönetimini bir sonraki seviyeye taşıyan yeni uygulama ve hizmetleri mümkün kıldığını vurgulamışlardır. Bununla birlikte, AUS entegrasyonunun ilerlemesinin, büyük, homojen olmayan ortamlara yol açtığına, bu durumun Avrupa ülkeleri arasında yatırımın sürdürülebilirliğini ve uyumluluğunu sağlayan sağlam bir sistem mimarisine olan ihtiyacı artırdığına işaret edilmiştir. Yazarlar, kullanıcı ihtiyaçlarının ve ilgili fonksiyonel bakış açısının, paydaşlar, kullanıcı grupları ve ilgili projelerle işlevsellik ve gereksinimler hakkında objektif tartışmalara olanak sağlamak için değerli girdiler sağladığını, FRAME forumuna iletilecek olan yeni kullanıcı ihtiyaçları ve işlevsel unsurlarla sonuçlanacağını belirtmişlerdir.

Avrupa AUS çerçeve mimarisi ve ABD ulusal AUS mimarisi (Bélinová vd., 2010) tarafından karşılaştırılmış ve Avrupa’da AUS mimarisinin uygulanmasını desteklemek için gelişmeler ve devam eden faaliyetler tartışılmıştır.

Denizcilik sektöründe AUS mimarisinin gereksinimleri ve olası bir çözümün unsurları (Rødseth, 2011) tarafından araştırılmıştır. Bu mimarinin arkasındaki itici gücün, verimliliği artırmak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve sektördeki güvenliği iyileştirmek için bilgi alışverişinde standartlar oluşturma ihtiyacından ve gemi taşımacılığının uluslararası doğasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Denizcilik sektöründe AUS mimarisinin geliştirilmesinde, eski sistemlerin, deniz taşımacılığının uluslararası doğasının, uluslararası mevzuat ve standartların yanı sıra, mevcut iletişim kanallarında oldukça değişken hizmet kalitesinin dikkate alınması gerektiğine işaret edilmiştir. Denizyolu uluslararası taşımacılığı hakkında geniş kapsamlı düzenlemelerin bulunduğu ve bir dereceye kadar standartlaşmanın sağlandığına değinilerek bir bilgi mimarisinin geliştirilmesinin gerektiği ve bu alanda belirlenen hedeflere ulaşmak için ulusal düzeyde olduğu kadar Avrupa Birliği ve Uluslararası Denizcilik Örgütü bünyesinde çalışmaların devam ettiği belirtilmiştir.

Nesnelerin İnterneti (IoT)'nin pratikte başarılı bir şekilde uygulandığı sektörlerden birinin de AUS olduğu görülmekte ve IoT aracılığıyla ülkelerde akıllı şehirler inşa edilmeye çalışılmaktadır. IoT'nin çalışma yasası ve mimarisinin analiz edildiği (Z. Yang vd., 2013)'de, yazarlar IoT üzerine kentsel AUS teorisi ve teknolojisi için talepleri ortaya koymuştur. Çalışmada, mevcut kentsel AUS mimarisi ile IoT'nin mimari özellikleri birleştirilerek IoT tabanlı kentsel AUS mimarisi oluşturulmuştur.

Açıklığı, yeniden kullanılabilirliği, ölçeklenebilirliği ve birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmak için SOA (Service Oriented Architecture-Hizmet Odaklı Mimari) ve RM-ODP (Reference Model of Open Distributed Processing-Açık Dağıtık İşleme Referans Modeli) ilkelerini izleyen bir AUS mimarisinin tasarımı ve geliştirilmesi (Román vd., 2013) tarafından önerilmiştir. Sistem gereksinimleri dikkate alınarak standartların, teknolojilerin ve platformların rasyonel seçiminin yapıldığı çalışmada, tasarımdan nihai prototipe kadar artan aşamalarla yinelemeli bir çevik geliştirme süreci ve CORBA (Common Object Request Broker Architecture-Ortak Nesne İstek Aracısı Mimarisini) yaklaşımı kullanılmıştır.

Gelişen AUS uygulamalarının yapısına ve bu gelişmeler için bir çerçeve sağlamada sistem mimarisinin oynadığı önemli role değinen (Miles, 2014), AUS'un ana ulaşım yönetiminin bir parçası olarak ortaya çıkmasında öncülük eden Japonya, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki AUS çalışmalarını ele almıştır. AUS'un temel özellikleri, AUS teknolojileri ve kullanıcı hizmetleri referans alınarak incelenmiştir. Çalışmada, farklı AUS mimarisi bakış açıları ve AUS standartlarının rolü açıklanmıştır.

Avrupa ve Amerika'daki araştırma projelerinde geliştirilen referans mimarilere genel bir bakış (Perallos vd., 2015) tarafından sunulmuş, fiziksel katmandan uygulama katmanına kadar mimarilerde sunulan katmanların her biri incelenerek teknolojik zorluklar ele alınmıştır.

Gelişmekte olan bir ülke için yol bakımı ve inşaat yönetimine odaklanan bir AUS mimarisi geliştirmek için (Saffari vd., 2018) tarafından bir metodoloji önerilmiştir. Önerilen metodoloji kapsamında süreç, bir dizi görüşme yoluyla paydaşların ihtiyaçlarının tanımlanmasıyla birleştirilen bir anket ve mevcut bilgilerin bir ofis çalışmasıyla başlamıştır. Daha sonra, en iyi modeli seçmek için mevcut AUS mimarilerinin çeşitli modelleri karşılaştırılmış, ardından, bir AUS mimarisi geliştirmek için Turbo mimari yazılımı kullanılmıştır. Bu süreç, İran'da ulusal düzeyde bir vaka çalışmasına uygulanmış ve geliştirilen AUS mimarisi, tüm mimari yapının ve hizmet paketlerinin iki seviyesinde de doğrulanmıştır.

Uygulama öncesi aşamada AUS mimarilerinin değerlendirilmesi için araçlar sağlamak üzere, mevcut yöntemlerin nasıl genişletilebileceği ve birleştirilebileceğinin yolları ve yaklaşımları (Fünfroeken vd., 2018) tarafından açıklanmıştır. Farklı araştırma projelerinde edinilen deneyimlere dayanarak değerlendirmenin teknik kısmına odaklanılan çalışmada, ilgili tarafların bir mimariyi halka sunmadan önce değerlendirmeleri amaçlanmıştır.

Mevcut K-AUS referans mimarileri ve uygulama sahaları mimarileri analiz edildikten sonra, C-MobILE K-AUS referans mimarisi, (Karkhanis vd., 2018) tarafından sunulmuştur. Seçilen K-AUS hizmetlerinin her birini kapsayan, karşılayan ve uygulama sahalarında kullanılabileceği değerlendirilen referans mimarinin, gelecekteki K-AUS uygulamaları, diğer şehirler veya bölgelerdeki uygulamalar için de bir temel oluşturabileceği belirtilmiş, mimari tanımlama sürecinde öğrenilen dersler paylaşılmıştır.

AUS alanındaki yeni gelişmeleri teşvik etmek için, Kolombiya'daki bir ara şehirde pilot proje aracılığıyla bir toplu taşıma aracı izleme hizmetinin uygulanabilirliğini kontrol etmek için bir kavram

kanıtı (Cabrera & de la Cruz, 2018) tarafından geliştirilmiştir. Hizmeti tasarlamak için ARC-IT'e dayalı, şehrin bağlamına uyarlanmış özel bir AUS mimarisi kullanılmış; tasarlanan hizmet, bir IoT platformu uygulama metodolojisi aracılığıyla geliştirilerek bir pilot uygulama aracılığıyla test edilmiştir. Geliştirilen hizmetin özelliklerinin ve pilot uygulama sonuçlarının sunulduğu çalışmada, AUS mimarisinin ve bir platform tasarım metodolojisinin kullanılmasının, bir şehirde hareketlilik hizmetlerinin geliştirilmesi için organize, yapılandırılmış bir süreci kolaylaştırdığı gözlemlenmiştir.

Dört bileşenli AUS yazılım mimarisinin eski, popüler bir mimari olduğunu savunan (Graf von Malotky & Martens, 2019), bileşenlerinin kullanımını, adlandırılmasını ve yeni bileşenlerin eklenmesini gözden geçirmek için klasik AUS mimarisine ilişkin makalelerde bulunan 93 AUS yazılım mimarisini analiz etmiştir. Yazarlar, analizlerinde bu mimarilerde tekrar eden 13 sorunu tespit etmiş ve bu sorunların oluşumunu azaltarak iyileşme sağlamak için klasik AUS yazılım mimarisinde iki iyileştirme önerisi sunmuştur.

(Çapalı, 2022), dünyadaki AUS politikalarını analiz ederek kooperatif AUS'a zemin oluşturacak olan birlikte çalışabilirlik seviyesine ulaşan sistemler ile AUS mimarisi önerisi sunmuştur.

3. Dünyada AUS referans mimarileri ve gelişimleri

Dünyanın önde gelen gelişmiş ülkeleri, AUS sistem mimarilerinin geliştirilmesinde öncülük etmiştir. Bu alanda ABD, Avrupa Birliği ve Japonya başı çekmiş hem gelişmiş hem de gelişmekte olan diğer birçok ülke, bu ülkeler tarafından geliştirilen mimarilere dayalı olarak kendi ulusal AUS mimarilerini oluşturmuştur. Ayrıca, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO)'nün, ITS (TC204) teknik komitesinde, AUS mimarisi üzerine bir çalışma grubu (WG1) bulunmaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

Özellikle sınırlı kaynaklara sahip ülkelerin kendi AUS mimarisini sıfırdan geliştirmesi nadiren gereklidir. Mevcut bir mimariden başlamak ve onu adım adım ülkenin gereksinimlerine uyarlamak, genellikle daha hızlı ve daha az maliyetlidir (Yokota & Weiland, 2004). Ancak mevcut AUS mimarilerinin geliştirilme süreci iyi dokümanle edilmediği için AUS mimarisi geliştirmeye yönelik ayrıntılı süreç hakkında sınırlı literatür çalışması bulunmaktadır (Saffari vd., 2018). Literatür çalışmalarında AUS mimarilerinin genellikle ulusal veya bölgesel düzeyde oluşturulduğu gözlenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde, literatürde yer alan bilgiler ışığında, dünyada öne çıkan AUS referans mimarileri ve gelişimleri hakkında özet bilgiler sunulmuştur.

3.1. ABD AUS referans mimarisi: ARC-IT

ABD, Federal Karayolu İdaresi'nin öncülüğünde, ulusal, bölgesel ve yerel birlikte çalışabilirliği sağlamak için ortak bir yapı olarak hizmet verecek ulusal AUS mimarisini geliştirmeye, 1993 yılında başlamıştır. Standardizasyon için arayüzleri belirlemek amacıyla, ABD Ulaştırma Bakanlığı'nı, arayüzler ve AUS'u desteklemek için her arayüzün yerine getireceği gereksinimler hakkında bilgilendirmek üzere, fonksiyonel düzeyde bir sistem mimarisi gereksinimi duyulmuş ve bu gereksinim, ABD'de ulusal AUS mimarisi gelişiminin başlangıç noktası olmuştur.

ABD AUS mimarisinin rekabetçi bir şekilde geliştirilmesi için özel sektör danışmanlarından, üniversitelerden ve kamu kurumlarından oluşan dört ayrı çalışma ekibi oluşturmuştur. Her ekip kendi mimarisini ayrı ayrı geliştirerek birbirinden birçok yönden farklı dört mimari hazırlanmıştır. Ekiplerden çalışmalarını, yaklaşımlarının açıklandığı ve paydaşlardan katılım için yorumların toplandığı periyodik paydaş çalıştaylarında göstermeleri istenmiş ve dört mimari ABD Ulaştırma Bakanlığı tarafından değerlendirilerek iki mimari, ulusal AUS mimarisi olarak daha da geliştirilmek üzere seçilmiştir. Böylece, ABD'nin ilk ulusal AUS mimarisi 1996 yılında yayınlanmış ve ABD, dünyada ulusal AUS mimarisini yayımlayan ilk ülke olmuştur.

Ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesinde paydaş katılımı, ABD Ulaştırma Bakanlığı için çok önemli olmuş, ABD'nin izlediği rekabetçi geliştirme yaklaşımı, paydaş katılımını ve görüşlerinin alınmasını mümkün kılan her fırsatı sağlamıştır. ABD ulusal AUS mimarisi; AUS'un uygulanması, standartların geliştirilmesi ve yeni ulaşım araştırma girişimleriyle güncellenmekte, paydaş geri bildirim ve fikir birliği yaklaşımı sürdürülmektedir. Ulusal AUS mimarisi ABD Ulaştırma Bakanlığı ile Iteris, Inc. firması arasındaki sözleşme kapsamında, 1996'dan bu yana sistem mühendisliği bakış açısıyla geliştirilmeye devam etmekte olup bugüne kadar sekiz temel güncelleme geçirmiştir. Bakanlık, ulusal

AUS mimarisinin kullanımını, bir AUS standartları geliştirme kılavuzu olarak önermekte ve özendirilmektedir. Mimari, paydaşlara kendi eyaletlerinde, bölgelerinde veya yerel ortamlarında AUS'u planlamak ve geliştirmek için bir referans sağlayarak AUS'un işlevsel bir temsilini sunmaktadır (Perallos vd., 2015).

AUS ile ilgili olarak orijinal ABD mevzuatında (İntermodal Kara Taşımacılığı Verimlilik Yasası'nın bir parçası, 1991) bir sistem mimarisinden söz edilmemesine rağmen, ABD AUS derneği olan AUS Amerika, AUS için bir sistem mimarisinin güçlü bir savunucusu olmuş ve bu çaba için federal destek oluşturulmasına katkı sunmuştur. İlk geliştirme çabalarının büyük bir kısmı, geniş bir paydaş yelpazesinden girdiler aramak üzerine yoğunlaşmıştır. AUS mevzuatının bir sonraki versiyonu, ABD AUS mimarisinin sürekli gelişimine ve kullanımına büyük önem vermiştir (Yokota & Weiland, 2004).

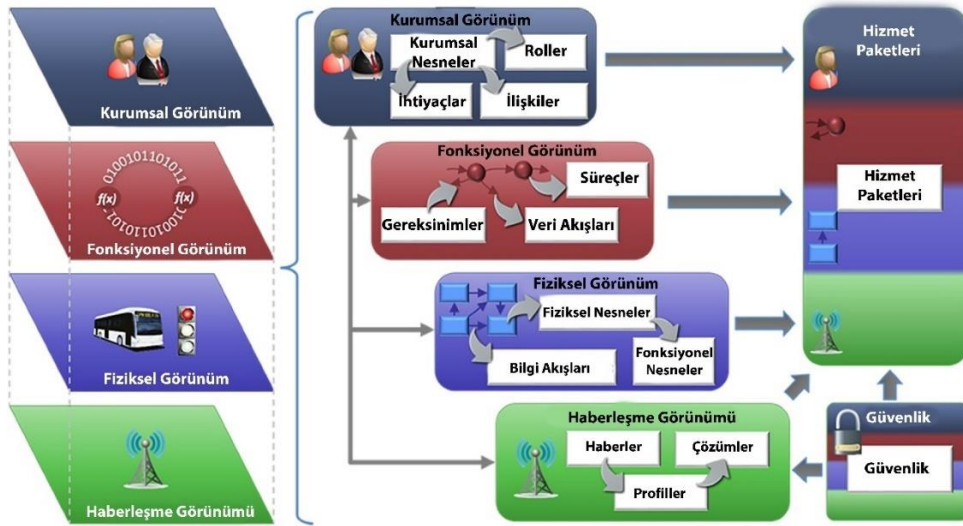
2005 yılında ABD, federal fon kullanarak AUS projelerinin uygulanmasını planlayan herhangi bir bölge için bir AUS mimarisinin (bölgesel AUS mimarisi) geliştirilmesini gerektiren bir yönetmelik çıkarmıştır. ABD bu düzenleme ile eyalet ve yerel kurumlar ile Büyükşehir Planlama Teşkilatlarını AUS projelerini mevcut entegrasyon fırsatlarını dikkate alacak şekilde planlayarak söz konusu entegrasyon fırsatlarının ilgili paydaşlar arasında uygun şekilde koordine edilmesini sağlamayı amaçlamıştır. Bu sayede, federal fonların daha verimli kullanılması ve AUS projelerinin daha başarılı bir şekilde uygulanmasının kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Bölgesel AUS mimarileri, bölgenin AUS mimarisi ile ulusal AUS mimarisi arasındaki uyumu destekleyen bir referans olarak ulusal AUS mimarisinden geliştirilmiştir. Yönetmelik, aynı zamanda AUS standartlarına uygunluğu da şart koşmuştur. Aynı referans noktasını kullanan tüm AUS mimarileri sayesinde, ABD'de geliştirilen AUS projeleri, mevcut çözümleri genişleten ve bu uygulamalar için daha geniş bir tedarikçi tabanı oluşturan benzer arayüz tanımlarına ve standart referanslarına sahip olmaktadır (Perallos vd., 2015).

ABD ulusal AUS mimarisi, her biri bir dizi gereksinime, mantıksal bir mimariye ve standartların geliştirilmesine rehberlik eden bir fiziksel mimariye sahip kullanıcı hizmetleri paketlerinden oluşmaktadır. Ulaşım uygulayıcıları, sistem geliştiriciler, teknoloji uzmanları, danışmanlar gibi geniş bir AUS topluluğunun katkılarıyla geliştirilen ve artık ARC-IT olarak bilinen ABD ulusal AUS referans mimarisinin mevcut sürümü, "<https://www.arc-it.net/index.html>" adresinde yayınlanmaktadır.

ARC-IT, AUS'u sağlamak için ortak bir dil kullanarak sistemleri tasavvur etmek, tasarlamak ve uygulamak için farklı kaygılara sahip planlamacılar ve mühendisler için ortak bir temel sağlayan, ancak herhangi bir özel uygulamayı (yani donanım veya yazılımı) zorunlu kılmayan bir referans mimaridir. ARC-IT, çok çeşitli paydaşların kaygılarına yanıt veren özellikler içermekte, ulaşım planlamacıların, bölgesel mimarların ve sistem mühendislerinin bölgesel mimarileri tasarlaması, geliştirmesi ve projelerinin kapsamını belirleyip geliştirmelerini yapabilmeleri için tasarlanmış araçlar sağlamaktadır. ARC-IT'nin geliştirilmesi, "sistemler ve yazılım mühendisliği- mimari açıklama" için bir standart olan ISO/IEC/IEEE 42010:2011'e dayanmaktadır. Bu standart, yalnızca veri ve mesajları değil, aynı zamanda tüm ortamı tanımlama adımlarını içermekte, böylece paydaşların endişeleri giderilmektedir.

ABD ARC-IT ulusal AUS mimarisi modelinde, Şekil 3'te gösterilen dört görünüm bulunmaktadır (ARC-IT Architecture Overview, 2023):

1. AUS'u kurumsal bir bakış açısıyla ele alarak AUS'u planlayan, geliştiren, işleten, sürdüren ve kullanan kişi ve kuruluşları tanımlayan, paydaş rollerini ve ilişkilerini ortaya koyan Kurumsal Görünüm.
2. AUS'a fonksiyonel bir perspektiften bakan, süreçlerden ve veri akışlarından (fonksiyonlar arasındaki mantıksal etkileşimlerden) oluşan Fonksiyonel Görünüm.
3. AUS fonksiyonelliğini sağlayan sistemler ve cihazlar ile bunlar arasındaki iletişim bağlantılarını (fiziksel nesnelere arasındaki bağlantıları) tanımlayan Fiziksel Görünüm.
4. Fiziksel Görünümde fiziksel nesnelere arasında nasıl iletişim kurulduğunu (fiziksel nesnelere arasındaki veri alışverişini kolaylaştıran katmanlı protokolleri) tanımlayan Haberleşme Görünümü. Bilgilerin fiziksel nesnelere arasında nasıl güvenilir ve güvenli bir şekilde paylaşılabileceğini belirleyen iletişim çözümlerinde, birleştirilen haberleşme standartları ve profilleri tanımlanmaktadır.



Şekil 3. ABD AUS mimarisinin dört temel görünümü

Günümüzde güvenlik ile ilgili hususlar tüm alanlarda olduğu gibi AUS'ta da çok önemlidir. Bu nedenle, ARC-IT, güvenliği bütünsel olarak ele almakta ve dört görüşü de kapsayan güvenlik endişelerini adreslemektedir.

ARC-IT, yukarıdaki dört görünüme ek olarak “Hizmet Paketleri” isminde beşinci bir görünüm sunmaktadır. Hizmet paketleri, belirli bir AUS hizmeti için dört görünümü de kapsayan dikey bir ARC-IT dilimini görüntülemeyi kolaylaştıran hizmet odaklı bir giriş noktasıdır. Çoğu kullanıcı için hizmet paketleri, ARC-IT'nin en çok kullanılan giriş noktasıdır. Hizmet paketleri, trafik sinyali kontrolü gibi belirli hizmetleri ele alan fiziksel görünümün dilimlerini temsil etmektedir. Belirli bir AUS hizmetini ve diğer önemli harici sistemleri birbirine bağlayan bilgi akışlarını sunmak için birlikte çalışması gereken birçok farklı fiziksel nesneyi (sistemleri ve cihazları) ve bunların fonksiyonel nesnelere bir araya toplamaktadır. Belirli bir AUS hizmetini uygulamak için gerekli olan fiziksel görünümün parçalarını tanımlamaktadır (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021).

Fonksiyonel Görünüm, Hizmet Paketlerinin içeriğinin sağlanabilmesi için ne yapılması gerektiğinden (“fonksiyonellik”) bahsederken, fiziksel ve haberleşme katmanları daha çok “fonksiyonelliğin”, en uygun iletişim ve diğer standartlar kullanılarak fiziksel varlıklar olarak nasıl gerçekleştirilebileceğiyle ilgilenmektedir. Tablo 1’de, ABD ulusal AUS mimarisi olan ARC-IT’de yer alan hizmet paketleri listelenmiştir.

Tablo 1. ABD mimarisi hizmet paketleri (ARC-IT Service Packages, 2023)

Gelişim Alanları	Kullanıcı Hizmetleri
1. Ticari Araç İşlemleri	Taşıyıcı İşlemleri ve Filo Yönetimi
	Yüklerin Yönetimi
	Elektronik Ön Gümrükleme
	Ticari Araç İdari Süreçleri
	Ticari Araçların Park Edilmesi
	Yük Sinyalizasyon Önceliği
	Yol Kenarı Ticari Araç Emniyeti
	Akıllı Yol Kenarı ve Sanal Hareket Halinde Tartım
	Yüke Özel Dinamik Seyahat Planlaması
	Yük Taşıyıcıları için Yol Hava Durumu Bilgisi
Yük Naklinin Optimizasyonu	
Tehlikeli Maddelerin Yönetimi	
Yol Kenarı Tehlikeli Madde Güvenliğinin Tespiti ve Azaltılması	
Ticari Araç Sürücü Güvenlik Kimlik Doğrulaması	
Filo ve Yük Güvenliği	

Tablo 1. ABD mimarisi hizmet paketleri (devamı)

	Elektronik Sürücü Kayıtları (uluslararası) Akıllı Erişim Programı (uluslararası) Akıllı Erişim Programı-Ağırlık İzleme (uluslararası) Akıllı Hız Uyumluluğu (uluslararası) Uluslararası Sınır Kaydı (uluslararası) Uluslararası Sınırlarda Elektronik Ön Gümrükleme Uluslararası Sınırların Koordinasyonu
2. Veri Yönetimi	AUS Veri Ambarı Performans İzleme
3. Yapım ve Bakım	Yapım ve Bakım Araç ve Teçhizatlarının Takibi Yol Yapım ve Bakım Araçlarının Bakımı Karayoluna Otomatik Kaplama Yapılması Kış Sezonu Bakımı Karayolunun Yapım ve Bakımı Çalışma Alanı Yönetimi Çalışma Alanı Emniyetinin İzlenmesi Yapım ve Bakım Faaliyetlerinin Koordinasyonu Altyapının İzlenmesi Varlık Takibi Yapım ve Bakım Sinyal Önceliklendirmesi
4. Otopark Yönetimi	Otopark Yerlerinin Yönetimi Akıllı “Park Et - Devam Et” Sistemi Elektronik Otopark Ücreti Ödeme Bölgesel Parklanma Yönetimi Otopark için Rezervasyon Yükleme Alanı Yönetimi
5. Kamu Emniyeti	Acil Durum Arama Karşılama ve Yönlendirme Acil Durumlara Müdahale Acil Durum Aracı Geçiş Önceliği Acil Durum Bildirimi Araçtaki Acil Duruma Müdahale Olay Yerine Varış Öncesinde Acil Duruma Müdahale Edenler İçin Rehberlik Olay Yerinde Emniyetin İzlenmesi Karayolu Emniyet Devriyesi Ulaştırma Altyapısının Korunması Geniş Alan Uyarısı Erken Uyarı Sistemi Felaket Durumunda Müdahale ve Kurtarma Tahliye ve Yeniden Girişlerin Yönetimi Felaket Durumunda Yolcuların Bilgilendirilmesi Çalıntı Araçların Kurtarılması
6. Toplu Taşıma	Toplu Taşıma Aracı Takibi Sabit-Rotalı Toplu Taşıma İşlemi Dinamik Toplu Taşıma İşlemleri Toplu Taşıma Ücret Toplama Yönetimi Toplu Taşıma Güvenliği Toplu Taşıma Filosunun Yönetimi Toplu Taşımada Yolcu Sayımı Toplu Taşıma Yolcularının Bilgilendirilmesi Toplu Taşıma Araçları İçin Trafikte Geçiş Önceliği Ayrılmış Otobüs Şeritleri Toplu Taşımada Yaya İşaretleri

Tablo 1. ABD mimarisi hizmet paketleri (devamı)

	<p>Toplu Taşıma Aracının Durakta ve Durma İşaretlerindeki Davranışı</p> <p>Toplu Taşıma Aracının Önünden Bir Aracın Sağa Dönmesi</p> <p>Çok Modlu Ulaşımın Koordinasyonu</p> <p>Toplu Taşımada Durdurma Talebi</p> <p>Görme Engelliler için Güzergâh No</p> <p>Toplu Taşımada Bağlantıların Korunması</p> <p>Çok Modlu Entegre Elektronik Ödeme Sistemi</p>
7. Destek Hizmetleri	<p>Bağlantılı Araç Sisteminin Yönetimi ve İzlenmesi</p> <p>Temel Kimlik Yönetimi</p> <p>Verinin Dağıtılması</p> <p>Haritaların Yönetimi</p> <p>Konum ve Zaman</p> <p>Nesnelerin Kaydedilmesi ve Keşfi</p> <p>AUS Haberleşmesi</p> <p>Güvenlik ve Kimlik Bilgileri Yönetimi</p> <p>Cihaz Sertifikasyonu ve Kaydı</p> <p>Merkez Bakımı</p> <p>Saha Teçhizatının Bakımı</p> <p>Araç Bakımı</p> <p>Şahsi Cihaz Bakımı</p> <p>Uzaktan Erişim</p>
8. Sürdürülebilir Ulaşım	<p>Emisyonun İzlenmesi</p> <p>Çevreci Trafik Sinyali Zamanlaması</p> <p>Çevreci Trafik Ölçümü</p> <p>Yol Kenarlarının Aydınlatılması</p> <p>Elektrikli Şarj İstasyonlarının Yönetimi</p> <p>Öncelikli Şeritlerin Yönetimi</p> <p>Çevre Dostu Şerit Yönetimi</p> <p>Sinyalize Kavşaklarda Çevre Dostu Yaklaşma ve Ayrılma</p> <p>Bağlantılı Çevreci Sürüş</p> <p>Düşük Emisyon Bölgesinin Yönetimi</p>
9. Trafik Yönetimi	<p>Altyapı Esaslı Trafik İzleme</p> <p>Araç Esaslı Trafik İzleme</p> <p>Trafik Sinyalizasyon Kontrolü</p> <p>Bağlantılı Araçlar Trafik Sinyalizasyon Sistemi</p> <p>Trafik Ölçümü</p> <p>Trafik Bilgisinin Yayılması</p> <p>Bölgesel Trafik Yönetimi</p> <p>Trafik Olayları Yönetim Sistemi</p> <p>Entegre Karar Destek ve Talep Yönetimi</p> <p>Elektronik Ücret Toplama</p> <p>Yol Kullanımının Faturalandırılması</p> <p>Dinamik Karayolu Uyarıları</p> <p>Standart Demiryolu Hemzemin Kavşağı</p> <p>Gelişmiş Demiryolu Hemzemin Kavşağı</p> <p>Demiryolu İşlemlerinin Koordinasyonu</p> <p>Tersinir Şeritlerin Yönetimi</p> <p>Hız Uyarıları ve Kuralların Yönetimi</p> <p>Açılır-Kapanır Köprülerin Yönetimi</p> <p>Karayolu Kapatma Yönetimi</p> <p>Hız Uyumlaştırma</p> <p>Dinamik Şerit Yönetimi ve Emniyet Şeridinin Kullanımı</p>

Tablo 1. ABD mimarisi hizmet paketleri (devamı)

	Değişken Hız Sınırları Sınır Yönetimi Sistemleri Tünellerin Yönetimi (uluslararası) Hatalı Yönde Giden Araçların Tespiti ve Uyarılması Trafik İşareti Kurallarının Uygulanması
10. Yolcu Bilgilendirme	Yolcu Bilgilerinin Yayınlanması Kişiselleşmiş Yolcu Bilgisi Dinamik Güzergâh Rehberliği Altyapı-Tarafından Sunulan Güzergâh Rehberliği Seyahat Hizmetleri Bilgi ve Rezervasyon Dinamik Araç Paylaşımı ve Paylaşımlı Kullanım ile Ulaşım Araç İçi Bilgilendirme Ekranları
11. Araç Emniyeti	Otonom Araç Emniyet Sistemleri Araç-Araç Temel Emniyeti Durumsal Farkındalık Araç-Araç Özel Araç Alarmı Viraj Hızı Uyarısı Durma İşareti Mesafe Yardımı Hava Durumuna Bağlı Sürücü Alarmı ve Uyarısı Kuyruk Uyarısı Düşük Hız Bölgesi / Şerit Kapama Uyarısı Kısıtlı Şerit Uyarıları Geniş Araç Uyarıları Yaya ve Bisikletçi Emniyeti Kavşak Emniyeti Uyarısı ve Çarpışmadan Kaçınma Kooperatif ve Adaptif Hız Sabitleme Altyapı ile İyileştirilmiş Kooperatif ve Adaptif Hız Kontrolü Otonom Araç İşlemleri Trafik Kodlarının Yayılması
12. Hava Durumu	Hava Durumu Verisinin Toplanması Hava Durumu Bilgisinin İşlenmesi ve Dağıtımı Anlık Hava Etkisi Uyarısı Karayolu Mikro-Tahminleme (uluslararası)

Başlangıçta ABD AUS mimarisi üzerindeki çalışmalar çoğunlukla izole bir şekilde yapılmıştır. Ancak son yıllarda, özellikle K-AUS'un ortaya çıkmasıyla birlikte, AB-ABD Görev Gücü (Task Force) içerisindeki Uyumlaştırma Görev Grubu 7 (Harmonization Task Group 7- HTG7) tarafından teknik standartlar için uyumlaştırılmış referans mimarisi HARTS (Harmonized Architecture Reference for Technical Standards) çerçevesinde yapılan geliştirme çalışmalarının çoğu, artık Avrupa Birliği ile iş birliği içinde olmaktadır. K-AUS'un geliştirilmesi ve uygulanmasında ABD ve Avrupa arasındaki iş birliğini teşvik etmek için kurulmuş olan HARTS'a, şu anda Avustralya'dan temsilcilerin dahil olduğu görülmekte ve hem Japonya hem de Kore'den temsilciler tarafından yakından takip edilmektedir (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021; HARTS, 2017).

3.2. Avrupa AUS çerçeve mimarisi: FRAME mimarisi

FRAME mimarisi, başlangıçta Avrupa AUS çerçeve mimarisi olarak adlandırılarak Bakanlar Kurulu kararıyla desteklenen, ulaşım telematiği üzerine üst düzey grubun tavsiyelerinin bir sonucu olarak geliştirilmiştir. Ekim 2000'de, Avrupa Komisyonu tarafından fonlanan KAREN Projesi kapsamında Avrupa AUS çerçeve mimarisinin ilk versiyonu oluşturularak yayınlamıştır. Bu girişim, AUS uygulamalarının esas olarak karayolu tabanlı planlanması amacı doğrultusunda sistematik bir temel oluşturmaya, birden fazla sistem uygulandığında bunların entegrasyonunu kolaylaştırmaya ve Avrupa sınırları boyunca birlikte çalışabilirliği sağlamaya yardımcı bir çerçeve ortaya koyarak AUS'un Avrupa'da uygulanmasını teşvik etmeyi amaçlamıştır (FRAME Architecture, 2023).

FRAME mimarisi, AUS'un Avrupa Birliği üye devletlerinde gelişimini ve yaygınlaştırılmasını desteklemek, sistem entegrasyonunu kolaylaştırarak birlikte çalışabilirliği teşvik etmek, üreticilerin bağımlılık durumlarından kaçınarak fonksiyonellik, ara yüzler ve veri modelleri gibi kavramlarda standardizasyonu sağlamaları amacıyla oluşturulmuştur (Perallos vd., 2015). KAREN Projesi ile başlayan FRAME mimarisi geliştirme çabaları, 2001-2005 yılları arasında FRAME-NET ve FRAME-S projeleri, 2008-2011 yılları arasında E-FRAME Projesi (Bodur, 2013) ve 2017-2021 yılları arasında ise FRAME NEXT Projesi (FRAME NEXT, 2021) ile desteklenerek devam etmiştir.

Avrupa Birliği'nin yayınladığı (2010/40/EU Sayılı Direktif, 2010)'te trafik ve yük yönetimi AUS hizmetlerinin sürekliliği öncelik alanı altında "*Avrupa Birliği AUS çerçeve mimarisini geliştirmek için gerekli önlemlerin tanımlanmasını, Üye Devletlerin ve onların yetkili makamlarının özel sektörle iş birliği içinde olduğu, ulusal, bölgesel veya yerel düzeyde kendi AUS mimarilerini geliştirebilecekleri, örneğin çok modlu birlikte çalışabilir biletleme de dahil olmak üzere, AUS ile ilgili birlikte çalışabilirlik, hizmetlerin sürekliliği ve çok modluluk yönlerini ele almaktadır*" ifadesine yer verilmiştir. Aynı öncelik alanı altında, kentsel AUS mimarisi ile Avrupa AUS mimarisi arasında birlikte çalışabilirliği ve uyumluluğu sağlamak için gerekli arayüzlerin tanımının dayandığı hususlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Toplu taşıma, seyahat planlaması, ulaşım talebi, trafik ve park verileri ile kent kontrol merkezleri ve hizmet sağlayıcılara sunulan verilerin mevcudiyeti,
- Toplu ulaşım veya özel ulaşım için farklı kentsel kontrol merkezleri ve hizmet sağlayıcıları arasında ve tüm olası ulaşım modları aracılığıyla elektronik veri alışverişinin kolaylaştırılması,
- İlgili tüm verilerin ve bilgilerin tek bir mimaride entegre olması.

Aracın ulaşım altyapısına bağlanması önceliği altında ise altyapı sistemleri ve tesisleri ile birlikte çalışabilirlik/ara bağlantı için gerekli işlevsellikleri ve arayüzleri tanımlayan açık-sistem mimarisinin tanımlanması, mimarinin benimsenmesi için bir standardizasyon sürecinin ve araç-içi açık spesifikasyonların kullanılması, K-AUS kapsamında ise ilgili mimarileri benimsemek için standardizasyon süreçlerinin kullanılması yer almıştır.

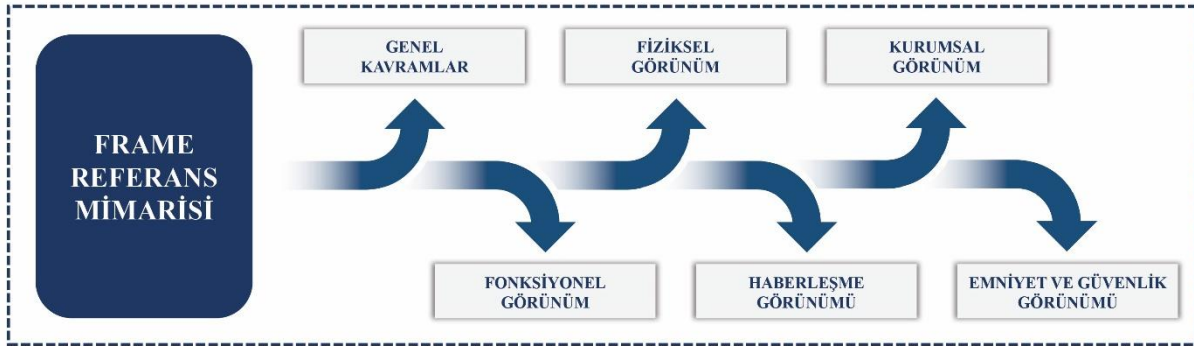
FRAME mimarisinin güncellendiği son proje olan FRAME NEXT kapsamında, (2010/40/EU Sayılı Direktif, 2010)'in öncelikli alanları için bazı referans sistem mimarileri geliştirilmiştir. Örneğin Ulusal Erişim Noktası, e-Call ve AUS hizmetlerine yönelik sistem mimarisi geliştirilmesi için bir meta model ve genel bir araç kutusu geliştirilmiştir.

FRAME mimarisi, Avrupa Birliği'nde herhangi bir yerde uygulanması değerlendirilen neredeyse tüm AUS uygulamaları ve hizmetleri için en üst düzey gereksinimleri ve fonksiyonelliği (Kullanım Senaryolarını) içermektedir. Tüm AUS mimarları tarafından referans olarak kullanılacak bir düzeyde olup, gerekli olacak diğer mimari türlerinin inşasına temel oluşturması amaçlanmaktadır. FRAME mimarisi ile sınır ötesi yolculara kesintisiz hizmetler sunulabilmesi ve uyumlu bileşenlerden oluşan açık bir Avrupa pazarı kurulabilmesi için diğer sistemlerin ara yüzlerinde uyumluluğu garanti etmelerini sağlaması öngörülmektedir (FRAME Architecture, 2023).

FRAME mimarisinin ayırt edici bir özelliği, kendisinden oluşturulan alt kümelere sahip olacak şekilde tasarlanmış olması ve bu nedenle bütünüyle kullanılmasının pek mümkün olmamasıdır. Bazı durumlarda, bir hizmeti gerçekleştirmenin birden fazla yolunu içermektedir ve kullanıcı, hizmeti o ortamda sunmak için en uygun fonksiyonellik setini seçebilmektedir. Bu nedenle, FRAME mimarisi, entegre AUS'un belirli modellerinin sistematik ve ortak bir şekilde oluşturulabileceği bir çerçeve olarak entegre bir AUS modeli değildir (FRAME Architecture, 2023). FRAME mimarisi, hizmet veya sistem mimarilerinin dayandırılabilmesi için ulusal veya bölgesel AUS mimarisinin temeli olarak veya belirli bir AUS hizmeti uygulamasını desteklemek için doğrudan alt küme mimarileri oluşturmak için kullanılabilir (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021).

FRAME, Avrupa ülkeleri ve ülkeler içindeki bölgelerin kendi özel ihtiyaçlarına göre hazırlanmış kendi AUS mimarilerini oluşturmalarına yardımcı olacak bir çerçeve veya plan olarak da değerlendirilmektedir. Bu, ABD ulusal AUS mimarisinin temel fonksiyonel kullanımının, bölgesel mimarilerin gelişimine rehberlik etmek olduğu ABD'deki deneyime benzemektedir (Yokota & Weiland, 2004).

Hızlı teknolojik ilerlemeler ve V2X (Araç-Her şey) iletişimine dayalı iş birlikçi sistemlere artan ilgi, mevcut mimarilerde yer almayan yeni gereksinimleri ortaya çıkarmıştır. Bu durum, bağlantılı araçlar ve yol altyapılarının ortaya koyduğu ihtiyaçları karşılamak için FRAME mimarisinin genişletilmiş bir versiyonu ve tamamlayıcı standardizasyon süreçleriyle sonuçlanmıştır (Perallos vd., 2015). Avrupa Birliği tarafından fonlanan ve 2021 yılı sonunda sona eren FRAME NEXT Projesi kapsamında, Avrupa'daki farklı üye devletlerin faaliyetleriyle, 2010/40 sayılı AB AUS direktifiyle ilgili öncelikli alanlarla ve modern bir AUS mimarisini, kullanıcıları için çekici kılan metodolojiler ve araçlarla, Avrupa AUS çerçeve mimarisi genişletilmiş ve güncellenmiştir (FRAME NEXT, 2021). Sistem mimarisi geliştirme çerçevelerinden TOGAF (The Open Group Architecture Framework-Açık Grup Mimari Çerçevesi) ve FRAME metodolojileri arasında çok sayıda benzerlik olduğu görüldüğünden, FRAME NEXT projesi kapsamında, iki metodolojinin entegre edilmesine ve “Enterprise Architect” yazılım aracının kullanımına dayalı genişletilmiş bir metodoloji üretilmesine karar verilmiştir. Sonuç olarak FRAME mimarisi, genel kavramlar (paydaş isteklerinin daha resmi bir versiyonu), emniyet ve güvenlik görünümleri ile birlikte, fiziksel, kurumsal ve haberleşme görünümlerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Ayrıca kullanıcı ihtiyaçları, fonksiyonel görünümün bir parçası olarak dahil edilmiştir. FRAME mimarisinin yeni genişletilmiş içeriği (Bossom, 2021) Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. FRAME referans mimari diyagramı

Kullanıcıların ihtiyaçları ve FRAME mimarisinde bu konuda tanımlanan ihtiyaçlar envanteri, tüm mimari çalışmalarının giriş noktasını oluşturmaktadır. Kullanıcı ihtiyaçlarının netleşmesinin ardından, AUS hizmetlerini uygulamak için gereken fonksiyonellik, kullanıcılarına herhangi bir spesifik teknik çözüm empoze etmeyen Fonksiyonel Görünüm tarafından sağlanmaktadır. Her özel uygulama, özellikle AUS uygulaması için hangi bileşenlerin kullanılacağı ve bunlar arasındaki bağlantıların belirlenmesi için paydaşlar tarafından seçimler yapılmasını gerektirmekte ve Fiziksel Görünüm tarafından ele alınmaktadır. Mimarideki fonksiyonel ve fiziksel görünümlerin olgunlaşması sonrasında, bileşenler arasındaki iletişim gereksinimleri, haberleşme protokolleri ve standartları, Haberleşme Görünümü tarafından tanımlanmaktadır. Hizmetlerin doğru bir şekilde sağlanabilmesi, düzenlemelerin uygulamaya geçirilebilmesi için doğru yönetim yapısının oluşturulması, her bileşenin ve diğer organizasyonel konuların sahibi, yöneticisi ve işletmecisi gibi hususlar, Kurumsal Görünüm tarafından adreslenmektedir. Kurumsal Görünüm de diğer görünümlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmakta ve ilgili kurum, kuruluş ve aktörler ile bunların üstlendikleri rolleri tanımlamaktadır (FRAME Architecture, 2023). Güvenlik ve Emniyet Görünümü de fiziksel ve haberleşme unsurlarıyla ilişkili olan diğer görünümdür. FRAME NEXT projesi ile güncellenen FRAME mimarisine ilişkin güncel bilgiler ve detaylar “<https://frame-online.eu/>” internet adresinde yer almakta olup ana hatlarıyla aşağıdaki unsurları içermektedir:

- AUS hizmetlerinin hayata geçmesinde yeri bulunan paydaşlar ve rolleri,
- Paydaşların belirttikleri AUS sistemlerine dair hizmetlerle ilgili beklentileri,
- AUS mimarisinin giriş noktası olan kullanıcı ihtiyaçları,
- Donanım, yazılım, haberleşme altyapısı ve dokümantasyonların spesifikasyonlarında ve hazırlanmasında rol alacak aktörler,
- Aktörleri ve ilişkilerini içeren bir Kurumsal Görünüm,
- Standartları da içeren bir Haberleşme Görünümü,
- Emniyet ve Güvenlik Görünümü,

- Bütün model ve öğeleri içerecek bir “Genel Kavramlar” havuzu.

FRAME mimarisi, Avrupa Birliği’nde kullanılmak üzere tasarlanmıştır, ancak hizmette yerellik ilkelerine uygundur. Bu nedenle üye devletler için herhangi bir fiziksel veya organizasyonel yapıyı zorunlu kılmamaktadır. Sadece AUS’un neler sağlayabileceğini açıklayan bir dizi kullanıcı ihtiyaçlarını ve bunun nasıl yapılabileceğini gösteren bir Fonksiyonel Görünümü içermektedir. Bilgisayar tabanlı araçlar tarafından desteklenen metodoloji, FRAME mimarisi Fonksiyonel Görünümünün mantıksal olarak tutarlı alt kümelerinin oluşturulmasına ve ardından Fiziksel Görünümlerin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. FRAME mimarisi, yol tabanlı AUS uygulamalarını ve hizmetlerini modellemekte ve Tablo 2’de listelenen dokuz fonksiyonel alana ayrılmaktadır (FRAME Architecture, 2023).

Tablo 2. FRAME mimarisi fonksiyonel alanları

Fonksiyonel Alanlar

1. Elektronik ücret hizmetleri sağlama
2. Emniyet ve acil durum hizmetlerinin sağlanması; araç içi ile yol kenarındaki “e-Call” ve acil servis müdahalelerinin yönetimi
3. Trafik yönetimi; kent içi, şehirler arası, otopark, tüneller ve köprüler, bakım ve simülasyon ile birlikte olay yönetimi, karayolu araç kaynaklı çevresel kirlilik ve yol kullanım talebi
4. Toplu taşıma işlemleri yönetimi; tarifeler, ücretler, isteğe bağlı hizmetler, filo ve sürücü yönetimi
5. Gelişmiş sürüş destek sistemleri sağlama; kooperatif sistemlerin parçası olan bazı araç içi hizmetler için destek
6. Yolcu seyahat desteği sağlama; yolculuk öncesinde ve yolculuk sırasında planlama, seyahat bilgileri
7. Kolluk kuvvetlerine destek sağlama
8. Yük ve filo işlemleri yönetimi
9. Kooperatif sistemler için destek sağlama; otobüs şeridi kullanımı, yük taşıtı park etme gibi başka bir yerde olmayan belirli hizmetler

3.3. Asya AUS mimarisi

Bu bölümde, Asya ülkelerinde AUS mimari çalışmalarına uzun zaman önce başlamış Japonya ve Güney Kore’nin AUS mimarileri özetlenmiştir.

3.3.1. Japonya

Japonya’nın en az iki ulusal AUS mimarisi geliştirdiği bilinmektedir. Japonya’nın ilk AUS mimarisi, ulusal AUS derneği olan AUS Japonya ile iş birliği içinde, AUS’ta yer alan beş bakanlığın ortak çabalarıyla 1999 yılında tamamlanmıştır. İlk ulusal AUS mimarisinin içeriğinin bir bölümünün ABD ulusal AUS mimarisinden etkilendiği tahmin edilmektedir. Diğer birçok AUS mimarisinin aksine UML (Unified Modeling Language-Birleşik Modelleme Dili) ile yazılmıştır, ancak ayrıntıların çoğu gizli kalmıştır. Bu mimari, AUS’un Japonya’daki bölgesel uygulamalarında kullanılmıştır (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021). Japonya’nın AUS mimarisi, aşağıdaki listelenen temel amaçları teşvik etmektedir (Yokota & Weiland, 2004):

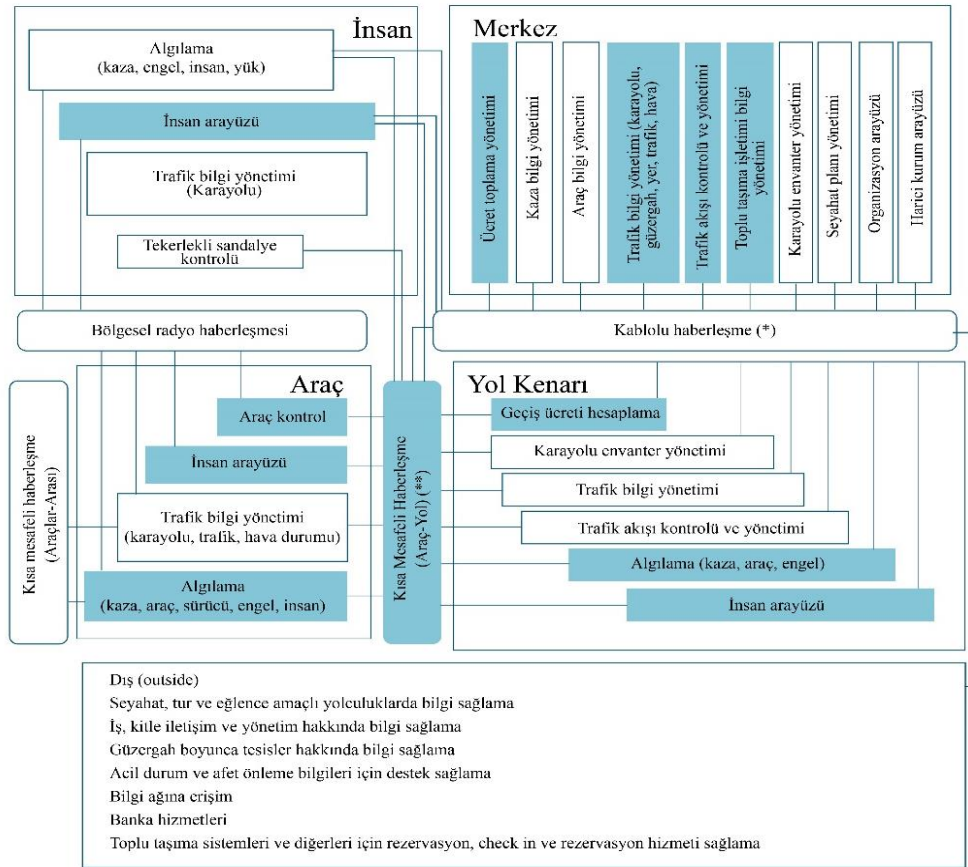
- Entegre bir akıllı ulaşım sisteminin verimli yapısını oluşturmak,
- Bakımı yapılabilir ve genişletilebilir bir akıllı ulaşım sistemi kurmak,
- Yerli ve uluslararası AUS standartları geliştirmek.

Japonya AUS mimarisinin gelişimine iki ilke rehberlik etmiştir:

- Mimarinin değişen sosyal ihtiyaçları ve gelişen teknolojiyi esnek bir şekilde karşılayabilmesi,
- Japonya’nın gelişmiş bilgi ve telekomünikasyon ortamının diğer bölümleriyle birlikte çalışabilir ve birbirine bağlanabilir bir AUS tesis edilmesini mimarinin garanti etmesi.

Diğer büyük ulusal AUS sistem mimarileri gibi, Japonya AUS mimarisi de kullanıcı hizmetlerinin bir listesini, mantıksal bir mimariyi, fiziksel bir mimariyi ve AUS standartlarını oluşturmaya yönelik alanları içermektedir (Yokota & Weiland, 2004). Literatür çalışmalarında, Japonya ulusal AUS

mimarisinde, haberleşme ve kurumsal mimarinin detaylarına yönelik herhangi bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. (ITS Handbook Japan 2002-2003, 2002) çalışmasından uyarlanan; insan, merkez, araç ve yol kenarı bileşenlerinden oluşan Japonya AUS mimarisinin fiziksel bileşenleri ile alt sistem bağlantı şeması Şekil 5'te gösterilmiştir.



(*)Kablo haberleşme genel olarak bölgesel kablo haberleşme anlamına gelir. Ancak duruma göre uydu haberleşmesi veya diğer bölgesel radyo haberleşmeleri onun yerine kullanılabilir.

(**)Kısa-mesafe (araç-yol) haberleşme; yol kenarı ve araç ya da insan arasındaki kısa mesafe haberleşmedir.

Şekil 5. Japonya fiziksel AUS mimarisinden alt sistem bağlantı şeması

Japonya AUS mimarisinde, kullanıcı hizmetleri, gelişim alanları şeklinde kategorize edilmiş ve her bir kullanıcı hizmeti için “Belirli kullanıcı hizmeti (Specific User Service)” ve “Belirli kullanıcı alt-hizmeti (Specific User Sub-service)” alanları belirlenmiştir. Japonya AUS mimarisinde yer alan gelişim alanları ve kullanıcı hizmetleri (MLIT, 2012), Tablo 3'te sınıflandırılmıştır.

Tablo 3. Japonya AUS mimarisi gelişim alanları ve kullanıcı hizmetleri

Gelişim Alanları	Kullanıcı Hizmetleri
1. Navigasyon sistemlerindeki gelişmeler	Güzergâh trafik bilgilerinin sağlanması Varış bilgilerinin sağlanması
2. Elektronik ücret toplama sistemleri	Elektronik ücret toplama
3. Emniyetli sürüş için yardım	Sürüş ve yol durumu bilgilerinin sağlanması Tehlike uyarısı Sürüş destek Otonom otoyol sistemleri
4. Trafik yönetimi optimizasyonu	Trafik optimizasyonu Kaza durumunda trafik kısıtlama bilgilerinin sağlanması

Tablo 3. Japonya AUS mimarisi gelişim alanları ve kullanıcı hizmetleri (devamı)

5. Yol yönetiminde verimliliğin artırılması	Bakım işlemlerinin iyileştirilmesi Özel olarak izin verilen ticari araçların yönetimi Karayolu tehlike bilgilerinin sağlanması
6. Toplu taşımanın desteklenmesi	Toplu taşıma bilgilerinin sağlanması Toplu taşıma işletimi ve yönetimi için yardım
7. Ticari araç işletiminde verimliliğin artırılması	Ticari araç işlemleri yönetimi için yardım Ticari araçların kümeleştirilmesi
8. Yaya desteği	Yaya rota rehberi Araç-yaya kazalarından kaçınma Acil durum araç işlemlerinin desteklenmesi
9. Acil durum araç işlemlerinin desteklenmesi	Acil durum araçları için rota rehberliği ve imdat faaliyetleri için destek
10. Tanımlı değil	Gelişmiş bilgi ve telekomünikasyon toplumunda gelişmiş bilgidен yararlanmayı mümkün kılma

Japonya'nın ikinci AUS mimarisi ise Avrupa AUS çerçeve mimarisine dayanmaktadır ve Japonya Evrensel Trafik Yönetimi Derneği tarafından üretilmiştir, ancak halen kullanılıp kullanılmadığı bilinmemektedir (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021). Bu nedenle, Japonya AUS referans sistem mimarisi geliştirildiği dönemde örnek gösterilen mimarilerden birisi olmasına rağmen, açık kaynak erişilebilen güncel AUS mimarisi geliştirme çalışmaları bulunmamaktadır.

3.3.2. Güney Kore

Paydaşların AUS sistemlerini bağlantılı olmadan uyguladığı durumlarda, genel AUS kurulumları ve ulusal düzeydeki işlemler, verimsiz ve birlikte çalışabilirlikten yoksun olduğundan, tutarlı ve organize AUS uygulaması için tüm çerçeveyi sağlamak üzere Güney Kore hükümeti tarafından ulusal AUS mimarisi oluşturulmasına ihtiyaç duyulmuştur (MOLIT, n.d.). Hükümet, ulusal AUS mimarisinin ilk versiyonunu, Güney Kore tarafından yayımlanan Ulusal Ulaşım Sistemi Verimliliği Kanunu ile 1999 yılında yayınlamış ve bunu AUS planlama, tasarım ve standardizasyon çerçevesi olarak kullanmıştır (Lee, 2009; MOLIT, 2016). Mimari, her kullanıcı hizmeti için fonksiyonelliği ve uyumluluğu sağlamak için ana gövdeyi yapılandırarak ulusal düzeyde genel çerçeveyi sağlayan bir plan (MOLIT, n.d.) olarak değerlendirilmiştir.

AUS mimarisinin kullanıcılar tarafından farklı yorumlanması nedeniyle Güney Kore ulusal AUS mimarisinin ikinci sürümü için 2010 yılında güncelleme planları yayınlanmış ve ABD AUS mimarisine bazı benzerlikler görülmüştür (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021). Bu versiyonda kurumlar arası anlaşmazlıkları ortadan kaldırmak ve yasal düzeyde yaşanabilecek sorunları engellemek amacıyla proje çerçevesi katmanı eklenmiştir. Geliştirilen yeni AUS mimarisinde, aşağıda kısaca özetlenen üç temel esas dikkate alınmıştır (MOLIT, n.d.):

1. Birlikte Çalışabilirliğin ve Uyumluluğun Sağlanması: Bilgi bağlantısı için kullanılacak nesnelerin ve izlenecek yöntemlerin tanımlanması, birlikte çalışabilirlik için standardizasyon çerçevesinin belirlenmesi,
2. AUS Planlama ve Tasarımının Desteklenmesi: AUS hizmetlerinin detaylı tanımlanması (uygulama birimi tarafından kurulmuş ve işletilen sistemlerin fiziksel bileşenlerinin sağlanması), bağlantı kurulacak ve bilgi paylaşılacak sistemlerin tanımlanması,
3. Mükerrer Yatırımların Önlenmesi ve Gerekli Tüm Hizmetlerin Tanımlanması: Bağlantılı bilgiler için paylaşılan unsurların tanımlanması ve ilgili kurumlar arasında rollerin ve kooperatif ilişkinin tanımlanması.

Güney Kore ulusal AUS mimarisi, aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır (Chang, 2017):

1. Hizmet: Akıllı ulaşım sistemlerinin ulusal planında tanımlanan hizmet tanımı doğrultusunda, kullanıcı bakış açısıyla sistem tarafından sağlanan hizmetleri tanımlamaktadır.

2. Mantıksal Mimari: Birim hizmet uygulaması için fonksiyonları ve veri akışını tanımlamaktadır. Fonksiyon tanımları, fonksiyonlar arasındaki veri akışı tanımları, veri akışı özellikleri ve veri akış şemalarından oluşmaktadır.
3. Fiziksel Mimari: Birim hizmet uygulaması için mantıksal mimaride tanımlanan fonksiyon, fiziksel bileşene atanmakta ve veri akışından fiziksel bileşene bilgi akışı tanımlanmaktadır. Fiziksel bileşenler arasındaki bilgi akışının ortamını ve iletişim sistemini tanımlamaktadır.
4. İş Mimarisi: Hizmet sunumu için kurulacak ve işletilecek birimleri (sistemleri) tanımlamakta, yasaları, sistemleri, proje uygulama çerçevelerini ve yönetim alanlarını düzenlemektedir. Bilgi akışından sistemler arasındaki bilgi bağlantısı (mesaj akışı) türetilerek mimari akış şeması olarak gösterilmektedir. Mimari akış şeması üzerinde ilgili AUS standartları belirtilerek AUS standartlarıyla ilişkilendirme sağlanmaktadır. Birim hizmetler, iş uygulama çerçeveleri ve yönetim alanları arasındaki işlevsel ve fiziksel bileşenlerin paylaşım derecesi incelenerek iş birimi (sistem inşası, operasyon birimi) oluşturulmaktadır.

Güney Kore hükümeti kurumsal yapısı tarafından oluşturulan AUS mimari uygulamaları genel olarak aşağıdaki yedi grupta toplanmıştır (Berdyorova, 2022):

1. Trafik akışı, olay ve otomatik trafik yönetimi sistemlerine ilişkin uygulamaların yer aldığı gelişmiş trafik yönetim hizmeti (Advanced Traffic Management Services-ATMS),
2. Taşıma bilgi sistemi ve toplu taşıma yönetim sistemini içeren gelişmiş toplu taşıma hizmeti (Advanced Public Transport Service-APTS),
3. Temel bilgi taşıma ve trafik bilgi yönetimi koordinasyon sistemlerinin oluşturduğu gelişmiş trafik bilgi hizmeti (Advanced Traffic Information Service-ATIS),
4. Elektronik ödeme sistemi ve elektronik biletleri içerir elektronik ücret toplama hizmeti (Electronic Toll Collection Service-ETCS),
5. Araç içi ve araç dışı yolcu bilgilendirme sistemleri grubunun oluşturduğu gelişmiş bilgi hizmeti (Advanced Information Service AIS),
6. Lojistik bilgi yönetim ve tehlikeli madde araç yönetim sistemlerinden oluşan ticari taşımacılık operasyonları (Commercial Transport Operations-CTO),
7. Güvenli sürüş destek ve otomatik sürüş destek sistemlerine ilişkin uygulamaların oluşturduğu gelişmiş araç ve otoyol hizmeti (Advanced Vehicle and Highway Service-AVHS).

Birlikte çalışabilirlik ve uyumluluğu sağlama temellerine dayanan Güney Kore ulusal AUS mimarisinde, hizmetler detaylı olarak tanımlanmıştır. Yedi ana kategori altında sınıflandırılan Güney Kore AUS mimarisinde yer alan AUS hizmet kategorileri (MOLIT, n.d.), Tablo 4'te listelenerek Şekil 6'da şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. Güney Kore AUS mimarisi hizmet kategorileri ve kullanıcı hizmetleri

Hizmet Kategorileri	Kullanıcı Hizmetleri
1. Trafik Yönetimi	Trafik kontrolü ve trafik bilgisi sağlama Trafik olaylarını yönetme Elektronik denetleme sistemi Gerçek zamanlı adaptif sinyal kontrolü
2. Toplu Taşıma	Otobüs işletme yönetimi Otobüs öncelikli yollar Metrobüs (Bus Rapid Transit-BRT) sistemi
3. Trafik Bilgi Merkezi	AUS entegrasyonu ve yönetimi Gerçek zamanlı trafik durumu izleme Trafik bilgisi sağlama Trafik bilgisini ilgili merkezlere aktarma/paylaşma

Tablo 4. Güney Kore AUS mimarisi hizmet kategorileri ve kullanıcı hizmetleri (devamı)

4. Elektronik Ücret Ödeme	Hi-Pass (ETCS) Otomatik ücret toplama (Automatic Fare Collection, AFC)
5. Akıllı Araç & Yol	K-AUS Otonom sürüş
6. Ticari Araç İşlemleri	Nakliye araçlarının yönetimi Tehlikeli madde taşıyan araçların yönetimi
7. Yolcu Bilgilendirme	Araç navigasyonu

**Şekil 6.** Güney Kore AUS mimarisi AUS hizmet kategorileri

3.4. ISO AUS referans mimarisi

Sistem mimarisi, ilgili herkesin hizmetler ve sistemler hakkında ortak bir anlayışa sahip olmasını sağlamada ve sistemlerin genişletilebilirliğini, birlikte çalışabilirliğini ve uyumluluğunu garanti etmede önemli bir rol oynadığından, ISO AUS referans mimarisi (ISO 14813 serisi), gelişen mimarilerde referans olmak ve farklı ülkelerdeki mimarileri karşılaştırmak amacıyla bir model olarak oluşturulmuştur. Teknolojik gelişmelerden kaynaklanan yeni hizmetleri ve sistemleri ele almak için sürekli bakım gerektiğinden, periyodik AUS hizmetlerini belirleyen Bölüm 1'in gözden geçirilmesi, her bir çalışma grubunun (WG) iş birliği ile yürütülmektedir. Kalan kısımlar da periyodik incelemeden yararlanarak, açıklama dilleri ve 14817 serisindeki revizyonlar doğrultusunda sırayla revize edilmekte veya kaldırılmaktadır. WG 1, AUS sektöründe paylaşılan terminoloji, veri temsil formatlarının standartlaştırılması, hizmet ve sistem kavramlarının paylaşılması için mimariler ve ayrıca risk değerlendirme yöntemleri ve hizmetlerin faydaları dahil olmak üzere ortak bilgi ve yöntemler için standartlar geliştirmektedir (JSAE, 2022).

ISO AUS referans mimarisinde yer alan hizmet alanları ve hizmet gruplamaları, Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. ISO AUS mimarisi hizmet alanları ve hizmet gruplamaları (Yokota & Weiland, 2004)

Hizmet Alanları	Hizmet Gruplamaları
1. Yolcu bilgileri	1.1 Seyahat öncesi bilgiler 1.2 Seyahat bilgileri 1.3 Seyahat hizmetleri bilgileri 1.4 Güzergâh rehberi ve seyahat öncesi navigasyon 1.5 Güzergâh rehberi ve yolculukta navigasyon 1.6 Seyahat planlama desteği
2. Trafik yönetimi ve işlemleri	2.1 Trafik kontrolü 2.2 Ulaşım ile ilgili olay yönetimi 2.3 Talep yönetimi 2.4 Ulaşım altyapısı bakım yönetimi
3. Araç	3.1 Ulaşım ile ilgili görüş geliştirme 3.2 Otonom araç kullanımı 3.3 Çarpışmadan kaçınma 3.4 Emniyet hazırlığı 3.5 Çarpışma öncesi kısıtlamanın devreye alınması
4. Yük taşımacılığı	4.1 Ticari araç ön izni 4.2 Ticari araç idari işlemleri 4.3 Otomatik yol kenarı emniyet denetimi 4.4 Ticari araçta emniyet izleme 4.5 Yük taşımacılığı filo yönetimi 4.6 Modlar arası bilgi yönetimi 4.7 İntermodal merkezlerin yönetimi ve kontrolü 4.8 Tehlikeli yük yönetimi
5. Toplu taşıma	5.1 Toplu taşıma yönetimi 5.2 Talebe duyarlı ve paylaşımlı toplu taşıma
6. Acil durum	6.1 Ulaşım ile ilgili acil durum bildirim ve kişisel güvenlik 6.2 Acil durum aracı yönetimi 6.3 Tehlikeli maddeler ve olay bildirim
7. Ulaşım ile ilgili elektronik ödeme	7.1 Ulaşım ile ilgili elektronik mali işlemler 7.2 Ulaşım ile ilgili elektronik ödeme hizmetlerinin entegrasyonu
8. Karayolu taşımacılığı ile ilgili kişisel emniyet	8.1 Kamu seyahat güvenliği 8.2 Savunmasız yol kullanıcıları için emniyet geliştirmeleri 8.3 Engelli yol kullanıcıları için emniyet geliştirmeleri 8.4 Akıllı kavşaklar ve Bağlantılar
9. Hava ve çevre koşullarının izlenmesi	9.1 Hava durumu izleme 9.2 Çevre koşullarının izlenmesi
10. Afet müdahale yönetimi ve koordinasyonu	10.1 Afet veri yönetimi 10.2 Afet müdahale yönetimi 10.3 Acil durum kurumlarıyla koordinasyon
11. Ulusal güvenlik	11.1 Şüpheli araçların izlenmesi ve kontrolü 11.2 Hizmet veya boru hattı izleme

3.5. AUS mimarisi platformları ve geliştirme araçları

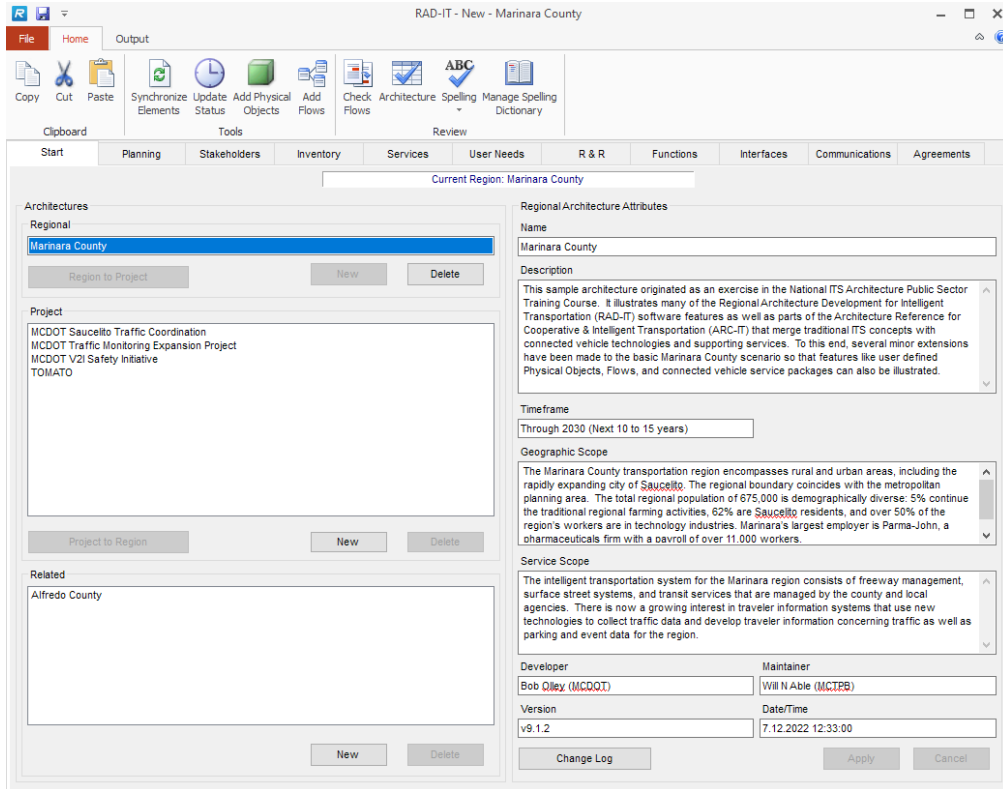
AUS mimarisinin geliştirilmesinde prosedürlerin standartlaştırılması, mimarinin çeşitli geliştirme ekiplerinin katılımını gerektiren doğal karmaşıklığı nedeniyle elzemdir (Liu vd., 2005). Bu nedenle, literatürde ulusal AUS mimarilerini oluşturmak için ülkelerin yazılım araçları geliştirdikleri ve kullandıkları gözlenmektedir. Aşağıdaki bölümlerde, ABD ulusal AUS mimarisinin ve FRAME mimarisinin geliştirilmesinde kullanılan platformlar ve geliştirme araçları hakkında bilgi verilmiştir.

3.5.1. ARC-IT

ARC-IT, ABD'nin AUS mimarisinin bilgi paylaşım platformu ve aynı zamanda referans mimarisi olup "<https://www.arc-it.net/index.html>" adresinden erişilebilen ARC-IT internet sitesinde hem AUS mimarisinin görünümü açıklanmış hem mimarinin öğeleri ayrıntılı olarak tanımlanmış hem de mimari yazılımlarının indirilmesi ve öğrenilmesi için gerekli olan bilgiler ve bağlantılar paylaşılmıştır. Açık, anlaşılır ve güçlü bir internet platformuna sahip olan ARC-IT, bölgesel mimarilerin hazırlanması ve projelerin yürütülmesinde kullanılan RAD-IT (The Regional Architecture Development for Intelligent Transportation-Akıllı Ulaşım İçin Bölgesel Mimari Geliştirme) ve SET-IT (The Systems Engineering Tool for Intelligent Transportation-Akıllı Ulaşım İçin Sistem Mühendisliği Aracı) adlı masaüstü yazılımlarını da içermektedir. Bu araçlar, bölgesel ve proje mimarlarının ARC-IT içeriğini yönetmesini ve bölgeleri ve projeleri için sistem mühendisliği faaliyetlerinde bulunmalarını sağlamaktadır.

3.5.2. RAD-IT

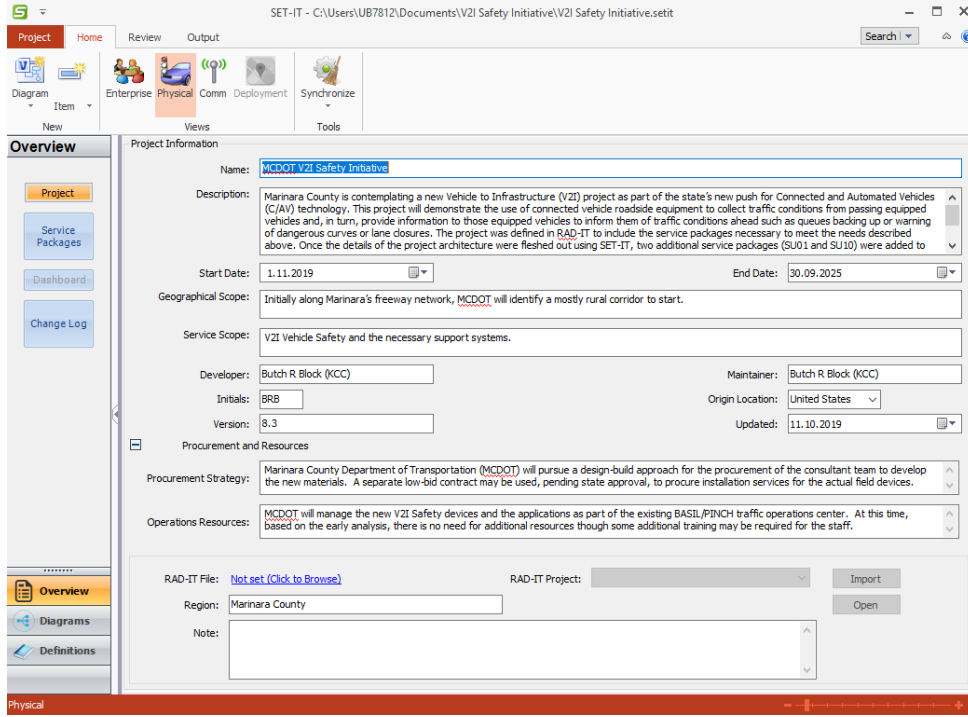
RAD-IT, başlangıç noktası olarak ARC-IT kullanılarak bölgesel ve proje AUS mimarilerinin geliştirilmesini destekleyen bir yazılım uygulamasıdır. RAD-IT hem kamu hem de özel sektördeki ulaşım planlamacılarına ve sistem entegratörlerine yardımcı olmaktadır. RAD-IT, bölgesel planlamaya ve İşlem Kavramlarının (Operation Concepts) geliştirilmesine, üst düzey kurumsal ve fiziksel görüşlere odaklanmaktadır. Paydaş topluluğunun, bölgede sağlanan ve planlanan AUS hizmetlerinin anlaşılmasını gerektirmektedir. Kullanıcıya, seçtiği hizmet paketlerinin her biri için önceden yapılandırılmış bir fiziksel görünüme erişim sağlanmakta ve bunlar daha sonra, seçilen hizmet paketleri için temel olarak AUS mimarisi olan tek bir görünümde birleştirilmektedir (ARC-IT RAD-IT, 2023). RAD-IT yazılım aracından örnek bir görüntü, Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. RAD-IT yazılımından örnek bir görüntü

3.5.3. SET-IT

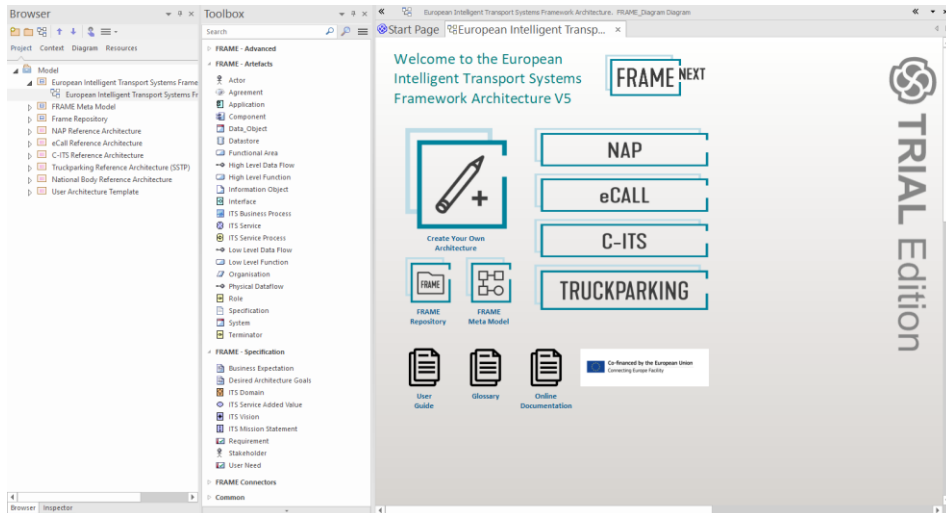
SET-IT, çizim ve veri tabanı araçlarını ARC-IT ile entegre eden tek bir yazılım aracı sağlamaktadır; böylece kullanıcılar, pilotlar, test ortamları ve erken uygulamalar için proje mimarileri geliştirebilmektedir. SET-IT, proje odaklıdır ve kapsamı bölgesel mimaride belirtilen proje tanımlarıyla sınırlandırılmış bireysel projeler için ideal olarak uygulanmaktadır. SET-IT, kullanıcıya görsel geri bildirim sunmak, hizmet paketi fiziksel ve kurumsal diyagramlarını işlemek, haberleşme yığını şablonları geliştirmek, tüm protokol katmanlarında standartları belirlemek ve bu bilgileri çeşitli form ve formatlarda dışa aktarmak için gerekli araçları sağlayan grafiksel bir araçtır (ARC-IT SET-IT, 2023). RAD-IT yazılım aracından örnek bir görüntü, Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8. SET-IT yazılım aracından örnek bir görüntü

3.5.4. Kurumsal mimari (Enterprise Architect)

FRAME mimarisine uygun mimari modellerinin geliştirilmesi amacıyla ticari bir ürün olan Enterprise Architect isimli yazılım kullanılmaktadır. FRAME NEXT projesi kapsamında, mimarinin 5.1.1 sürümü için modeller hazırlanmış ve bu yazılımı kullananların hizmetine sunulmuştur (FRAME Architecture, 2023). FRAME mimarisi geliştirme aracından örnek bir görüntü, Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. FRAME mimarisi geliştirme aracından örnek bir görüntü

FRAME mimarisinde, bir mimarinin geliştirilmesi, AUS hizmetinin kavramsal tanımıyla başlamaktadır. Ana hizmetler tanımlandıktan sonra bunlar mevcut kullanıcı ihtiyaçları kümesi içinden uygun görülenlerle eşleştirilmektedir. Kullanıcı ihtiyaçları belirlendikten sonra, bunlara karşılık gelen fonksiyonlar ve veri akışları, Enterprise Architect yazılımı üzerinde tanımlanmakta, ardından fonksiyonel mimariyi daha ayrıntılı hale getirmek için sonlandırıcılar ve veri depoları belirlenmektedir. Fiziksel katmanın modellenmesine geçilmesi, bu aşamadan sonra olmaktadır. İlgili bileşenler ve modüller tasarlandıktan sonra, Fonksiyonel görünümde tanımlanan fonksiyonlar ve veri depoları fiziksel bileşenlere atanmaktadır. Bunun akabinde fiziksel veri akışları tanımlanmakta ve ara yüzlerin tanımlanmasıyla fiziksel katman tamamlanmaktadır. Tüm bu süreçler, kurumsal mimari (Enterprise Architect) yazılımı kullanılarak yürütülebilmektedir.

4. Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması

Türkiye’de AUS’a ilişkin görev ve sorumluluklar, “*Akıllı ulaşım sistemlerine yönelik ulusal stratejileri, hedefleri, mimarileri, ulusal ölçekte uyulması gereken teknik kriterleri belirlemek, eylem planlarını hazırlamak ve izlemek, yenilikçi akıllı ulaşım sistemleri projeleri geliştirmek, kamu kurum ve kuruluşları, belediyeler, il özel idareleri, gerçek ve tüzel kişilerce akıllı ulaşım sistemleri kapsamında üretilen verilerin kullanılmasını ve değerlendirilmesini sağlamak amacıyla veri yönetim merkezi kurmak, kurdurmak, işletmek, işlettirmek, bu görevlerle ilgili uygulama usul ve esaslarını belirlemek*” (Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi, 2018) hükmü ile T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB)’na verilmiştir.

4.1. Mevcut durum

Türkiye’de AUS’un politika belgelerine girmesi ilk kez e-Türkiye Girişimi I. Ara Raporu ile başlamış, Türkiye katkısı ve e-Türkiye girişimi bölümlerinde internet kullanımının özendirilmesi başlığı altında, “akıllı ulaşım sistemlerinin oluşturulması” şeklinde ifade edilmiştir (T.C. Başbakanlık, 2002). Akabinde pek çok politika belgesinde, etkili, verimli ve emniyetli bir ulaşım ağının sağlanması için yenilikçi ve güçlü bir alternatif olarak yer almıştır. AUS, ulaşım kaynaklı birçok sorunun çözümü için yeni altyapı inşa etmenin yerine, ulaşım ağlarının doğru planlanması, işletilmesi ve yönetilmesi prensibine dayanarak kaynakların etkin kullanımında da uygun bir tercih olarak değerlendirilmiştir.

AUS alanını doğrudan ilgilendiren ilk strateji ve politika belgeleri ise UAB tarafından hazırlanmıştır. Bu alanda yol haritası olma özelliği taşıyan ilk belge 2014 yılında (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014), ikincisi ise 2020 yılında (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020) yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Talih & Tektaş, 2023). AUS mimarisinin bahsinin geçtiği politika belgeleri ve çalışmalar, Tablo 6’da sunulmuştur.

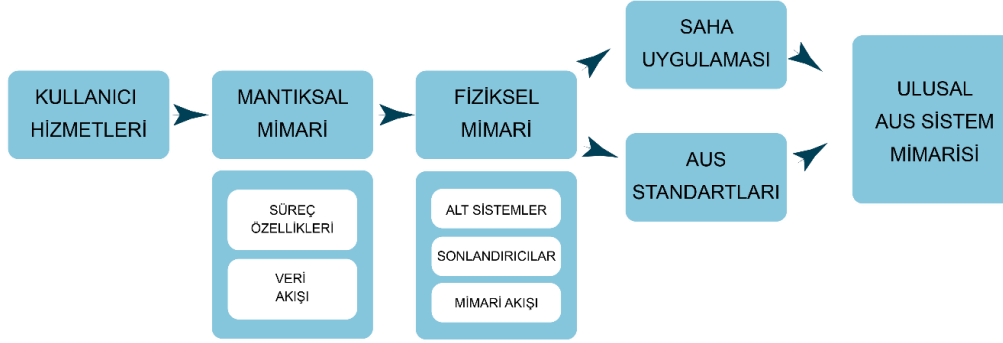
Tablo 6. Türkiye politika belgelerinde ve çalışmalarda AUS mimarisi

Politika Belgesi	AUS Mimarisi
e-Türkiye Girişim Eylem Planı (Taslak) (T.C. Başbakanlık, 2002)	Akıllı ulaşım hizmetleri başlığı altındaki bölümünde, <i>Türkiye Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisi ve Tasarım Kuralları Dokümanı</i> oluşturulması, yapılacak işlemler arasında sayılmıştır. Burada AB AUS mimarisinin referans alınması, ancak Türkiye’nin ihtiyaçlarının önceliklendirilmesi tavsiye edilmiştir. AUS gelişim planı hazırlanması da yapılması gereken bir diğer işlem olarak yer almıştır.
Ulusal AUS Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016) (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014)	Ulusal düzeyde bir AUS mimarisi oluşturulması hedefine yer verilmiştir.
2017-2020 Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2017)	AUS mimarisinin tanımı; akıllı ulaşım ile ilgili uygulamalar kapsamında, hangi hizmetlerin nerelerde, ne şekilde ve hangi standartlarda verileceğini içeren çerçeve şeklinde yapılmıştır.

Tablo 6. Türkiye politika belgelerinde ve çalışmalarda AUS mimarisi

2017-2020 Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2017)	AUS'un geliştirilmesine ilişkin tanımlanan eylemde ise ulusal düzeyde bir AUS mimarisinin oluşturulması çalışmalarının sonuçlandırılması eylem adımına yer verilmiştir.
On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2019)	Lojistik ve Ulaşım 511.5 ve Kentsel Altyapı 704.2 politika tedbirleri altında, AUS mimarisinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmaların tamamlanması ve yaygınlaştırılması hedeflenmiştir.
Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)	AUS'un planlanması, tanımlanması, entegrasyonu ve uygulanması amacıyla ortak bir çatı oluşturulması şeklinde tanımlanan mimari için belirli terminolojiye ve standartlara uygun olarak oluşturulacağına vurgu yapılmıştır. Akıllı ulaşım sistemlerinin özel bir madde olarak yer aldığı belgede, ulaşım ve haberleşmenin etkin, hızlı, akıllı, güvenli ve entegre yönetim sisteminin, çağın gereklerine uygun bir şekilde kurabilmesi için UAB tarafından yapılacak işler sıralanmıştır.
Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)	Ulusal AUS mimarisinin geliştirilerek yayınlanmasına ilişkin bir eyleme yer verilmiştir. AUS standartların belirlenmesi kapsamında da ayrı bir eylem adımı bulunmaktadır.
2023 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2022)	Ulusal AUS mimarisinin yerel yönetimleri de kapsayacak şekilde tamamlanarak uygulamaya koyulması hedeflenmiştir.
1 Nolu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2022)	<i>“Akıllı ulaşım sistemlerine yönelik ulusal stratejileri, hedefleri, mimarileri, ulusal ölçekte uyulması gereken teknik kriterleri belirlemek, eylem planlarını hazırlamak ve izlemek, yenilikçi akıllı ulaşım sistemleri projeleri geliştirmek, kamu kurum ve kuruluşları, belediyeler, il özel idareleri, gerçek ve tüzel kişilerce akıllı ulaşım sistemleri kapsamında üretilen verilerin kullanılmasını ve değerlendirilmesini sağlamak amacıyla veri yönetim merkezi kurmak, kurdurmak, işletmek, işlettiirmek, bu görevlerle ilgili uygulama usul ve esaslarını belirlemek.”</i> hükmü yer almıştır. Bu doğrultuda, AUS mimarisinin hazırlanması ve sonrasında tüm süreçlerin takibi, UAB Haberleşme Genel Müdürlüğü (HGM)'nün görev ve sorumlulukları arasına girmiştir.
T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Plan 2019-2023 (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022a)	Can ve mal emniyetinin en üst seviyede sağlandığı, toplumun tüm kesimlerini kapsayan, sürdürülebilir, kesintisiz ulaşım hizmetlerinin sunulmasını sağlamak hedefi altında, AUS mimarisinin geliştirilmesine yönelik projenin tamamlanması, performans göstergesi olarak yer almıştır.

AUS mimarisine ilişkin olarak (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014)'da “AUS'nin ülke genelinde planlama ve entegrasyonu için idari ve teknik mevzuatın ulusal ve uluslararası ihtiyaçlara göre geliştirilmesi” stratejik amacı altında, “Ulusal düzeyde bir AUS mimarisinin oluşturulması” hedefi belirlenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, AUS'a ilişkin ortak bir terminoloji oluşturulması ve mimarinin hazırlanmasına ilişkin iki adet eylem yer almıştır. Söz konusu dokümanda, AUS mimarisinin hazırlanmasına ilişkin Şekil 10'da yer alan adımlar öneri olarak sunulmuştur.



Şekil 10. AUS mimarisi tasarım adımları (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014)

Türkiye’de ilk AUS mimarisi geliştirme çalışmaları, ulusal düzeyde bir AUS mimarisi oluşturmak hedefi kapsamında, “AUS kullanıcı hizmetlerinin, mantıksal çerçevesinin ve fiziksel birimlerinin belirlenmesi” eylemi doğrultusunda, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) koordinasyonunda, UAB Strateji Geliştirme Başkanlığı ile İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü’nün sorumluluğuna verilmiştir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014). Bu doğrultuda ülke ihtiyaçlarını dikkate alan ulusal AUS mimarisi hazırlanmasına, ilk olarak 2014 yılında KGM öncülüğünde bir proje ile başlanmıştır. Bu kapsamda dünya örneklerinin incelenmesi ile kamu ve özel sektör paydaşları ile yapılan çalıştay faaliyetleri sonucunda, “Ulusal Karayolları Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisi” çerçeve olarak hazırlanmış ve Antalya bölgesinde uygulamaya koyulmuştur. Ulusal ölçek dikkate alınarak tasarlanmış olan bu taslağın uygulanmasına ilişkin dikkat edilmesi gereken hususlar, görev ve yetkiler konusunda kurumların mutabakatı, bakım ve destek iş süreçleri gibi birçok hususta, belirsizlikler oluşmuştur (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020). Sorumlu kurum, kuruluşlar ve diğer paydaşlar da dahil edilerek yürütülen bu ilk AUS mimarisi çalışması girişimi sonucunda, karayolu ağı genelinde birlikte çalışabilen ve entegre bir sistem içerisinde yaygınlaştırılması ihtiyacı doğrultusunda hazırlanan muhtelif teknik şartname dokümanları, Taslak Ulusal AUS Mimarisi, AUS Uygulama Planı ve Teknik Raporlarını içeren kapsamlı bir taslak doküman hazırlanmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). Ancak söz konusu taslağın Türkiye’de tüm ulaşım modları ile kent içi ve şehirler arası yol ağını içine alan, ayrıca kullanıcı ihtiyaçlarının doğru analizinin yapıldığı bir model olup olmadığı hususunda görüş birliğine varılamamıştır.

KGM koordinasyonunda hazırlanan taslak AUS mimarisi çalışmasında ilk olarak trafik yönetimi, yolcu bilgilendirme, toplu taşıma yönetimi, taşıt güvenlik ve kontrol, yük ve filo yönetimi, afet ve acil durum yönetimi, yol bakım ve yapım yönetimi, veri arşiv yönetimi, elektronik ücret toplama yönetimi, yaya ve trafik güvenliğinden oluşan 10 adet hizmet paketi yer almıştır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020).

Ulusal AUS mimarisi geliştirilmesi, UAB’nin Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planında da AUS altyapısının iyileştirilmesi kapsamında önemli bir eylem başlığı olmuştur. Ulusal AUS mimarisi ile AUS’un organizasyon ve koordinasyonu için bir çerçeve sunulması, böylece uygulamaya koyulacak kullanıcı hizmetlerinin belirlenmesi, paydaş kuruluş faaliyetleri ve kurumsal iş birliği ile bilgi ve veri akışlarının sağlanabilmesi hedeflenmiştir. Eylem ile 2022 yılı sonuna kadar AUS mimarisinin, 2023 yılı sonuna kadar kullanım kılavuzunun hazırlanarak uygulamaya koyulması planlanmıştır. Aynı bir eylem olarak belirlenen AUS standartlarının belirlenerek sınıflandırılması da mimari için tamamlayıcı bir unsur olarak görülmüştür. Her iki eylemin sorumlusu olarak UAB HGM belirlenmiştir. Ayrıca il ve karayolu trafik kontrol merkezleri için belirlenen eylemlerde kurulacak olan ya da mevcut trafik kontrol merkezlerinin ulusal AUS mimarisi ile uyumlu hale getirilmesi, veri alışverişlerinin de bu doğrultuda yapılması gerektiği vurgulanmıştır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Eylem

planında zikredilen doğrultuda, ulusal AUS mimarisi hazırlanması ile ilgili projelendirme süreçleri tamamlanarak ilgili çalışmalara 2020 yılının son çeyreğinde HGM tarafından başlanmıştır ve 2023 yılı son çeyreğinde tamamlanarak yayınlanması planlanmaktadır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2021).

4.2. Ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi süreci

AUS mimarisi, temelde ulaşım güvenliğinin ve performansın artırılması, seyahat sürelerinin kısaltılması ve çevresel etkilerin azaltılması için kurulan sistemlerin birlikte çalışmasını sağlayan bir çerçevedir. Sahada kullanılan akıllı ulaşım sistemlerinin planlanması, tanımlanması ve entegrasyonu için ortak bir çerçeve sunan “*sistemler sistemi*” olarak ifade edilebilen bir kavramdır. Bununla birlikte tüm AUS paydaşlarının birlikte çalışmasına olanak tanıyan teknik, idari, hukuki, yasal konuları da kapsayan sistemler bütünüdür (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020). AUS mimarisi çerçevesi belirlendiğinde ve uygulanmaya başladığında, etkin ve verimli olması için tüm ilgili paydaşlar tarafından sahiplenilmesi ve kabul görmesi büyük önem arz etmektedir. Ancak AUS ile ilgili konularda bugüne kadar Türkiye’de benimsenen yaklaşım, öncelikle uygulamaların geliştirilmesi, kullanımı esnasında ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda mevzuat ve düzenlemelerle desteklenmesi şeklinde olmuştur (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2017).

Amerika, Avrupa ve Asya’daki gelişmeler, ulusal AUS mimarisin hazırlanması ve akabinde geliştirilme süreçlerinin, öncelikle tüm paydaşları içine alan ve ihtiyaçların ortaya koyulduğu aşamalardan geçtiğini göstermektedir. Bunların yanı sıra, (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)’de ulusal AUS mimarisinin; mevzuata uygun olarak teknik ihtiyaçları karşılması, bölgesel ya da yerel anlamda ihtiyaç doğrultusunda ölçeklenebilir esnek bir yapıda olması, mevcut ve yenilikçi tasarım ile uygulamalar için gereklilikleri tanımlaması, teknoloji bağımsız bir yaklaşıma sahip olması, sistemi oluşturan süreçler dahil tüm bileşenleri tanımlaması ya da tarif etmesi, uyumluluk ve uygulanabilirlik için önlemler barındırması ve tüm AUS kullanıcıları için bir kılavuz görevi üstelenmesi gerektiği hususları, genel bir AUS mimarisinin taşıması gereken özellikler olarak belirtilmiştir.

Bir ulusal AUS mimarisinin gelişimi için örnek araştırılırken, ulaşımla ilgili konulara odaklanmanın yanında, farklı alanlardaki gelişmeleri de dikkate almak, bakış açısının kapsayıcılığı açısından iyi bir yaklaşım ya da tercih olabilir. Örneğin Açık Sistemler Ara Bağlantısı (OSI) mimarisi modeli için belirtildiği üzere genel olarak, bir mimari yapıyı geliştirmek ve kurmak için koordinasyon, basitlik ya da kolaylık, ekonomik/politik ve eğitimden oluşan dört argüman ileri sürülebilir. Koordinasyon kapsamında sistemlerin birlikte çalışması için kurallar geliştirerek bunların birlikte çalışmasını sağlamak, mükerrerliği önlemek, teknik tanımlamaların tutarlılığını artırarak geliştirmeye olanak tanımak için bir dizi ilke ve sözleşmeye sahip olmak yararlı olacaktır. Mimari üzerinde çalışmak, geliştirme ve değişimi kolaylaştıracak bir modül yapısı ortaya koymaktadır. Seçilen teknolojik çözümler her ne olursa olsun ekonomik ya da politik açıdan tarafsızlık içermelidir. Referans model ile somutlaştırılan yapı, geliştirmeye rehberlik edebilmekte, tutarlılığı sağlayabilmekte ve kapsamlı bir bütün oluşturmayı kolaylaştırarak eğitici ve öğretici olabilmektedir (Day & Zimmermann, 1984). Bilgisayar ağlarının birbiriyle uyumlu, birlikte çalışabilen ve standartları olan bir yapıya ihtiyaç duyulduğu sırada ortaya çıkan yedi katmanlı bu mimari model, yaşanan sorunların çözümünde genel kabul gören evrensel bir model haline gelmiştir. Uygulama, sunum, oturma, taşıma, ağ, veri bağlantısı ve fiziksel katmanlardan oluşan bu referans mimari, her ülkenin ihtiyaçları doğrultusunda, ancak protokollere bağlı kalmak suretiyle geliştirilmiş ve geniş kitlelere yayılmıştır. Benzer şekilde, Türkiye’deki mevcut AUS uygulamaları ile gelecekteki gelişmelerin uyumu, birlikte çalışabilirliğin, paydaşlar arasında koordinasyonun sağlanması gibi hususlarda, AUS ekosisteminde de bir çerçeveye, yani ulusal AUS mimarisine ihtiyaç bulunmaktadır.

Birçok farklı alana ilişkin çalışmalarda olduğu gibi ulusal AUS mimarisi geliştirilmesi sürecinde de dünya ölçeğinde elde edilen kazanımların yerel koşullara uyarlanması, uygulamalardan verimli ve pratik sonuçlar elde edilmesini sağlarken, ulusal çözümler ya da özgün uygulamalar oluşturulmasına da yardımcı olmaktadır. Bu uyarılama; tercüme edilmiş tanımlar ve belirlenen terminolojiyi, standartlar dahil mevcut yasal altyapıya uygunluğu, politik faktörler ve kalkınma stratejilerini dikkate almayı, başta bilgi ve haberleşme ile ulaşım teknolojileri olmak üzere altyapının mevcut ve öngörülen durumunu gözetmeyi, ekonomik faaliyetler ile sistemlerin geliştirilmesi, tasarlanması, yaygınlaştırılması ve

işletilmesi için gereken insan kaynağı unsurunu dikkate alarak hedeflerin önceliklendirildiği bir tasarımı içermektedir (Chojnacki vd., 2014).

Dünyada birçok ülke tarafından gerçekleştirilen AUS ile ilgili teknik ve idari düzenleme içeren mimari de dahil tüm çalışmalar, genel olarak bu alanda küresel ölçekte öncü deneyimlere ve en iyi uygulama örneklerine dayanmaktadır. AUS ile ilgili gelişmeler ve teknolojik gelişmelere ilişkin bilgilere ise bilimsel ve akademik çalışmalardan, uluslararası standartlardan, bu alandaki çalışmalarda ileri düzeyde olan ülke ve kuruluşların açık erişimli mevzuat, direktif gibi düzenlemelerinden ulaşılabilmektedir. Türkiye’de ulusal AUS mimarisi hazırlanması sürecinde, ABD, AB, Güney Kore, Japonya ve benzeri ülkelerin AUS mimarilerinin incelenmesi, mevcut durum analizi ve envanter çalışması yapılması, referans alınacak mimari tasarımın belirlenmesi, mimari kullanım kılavuzunun hazırlanması adımlarına yer verilmiştir. Referans olarak seçilecek tasarım için AUS kullanıcı hizmetlerinin doğru ve eksiksiz tanımlanması, tüm kullanıcı hizmetlerinin detaylandırılması, fiziksel birimlerin alt elemanlarına kadar tarif edilerek veri alışverişi sağlayacak gerekli önlemlerin alınması, rol ve sorumlulukların belirlenmesi gibi hususlar belirtilmiştir. AUS mimarisi için gerekli mevzuat ihtiyacının karşılanması, AUS standartlarının mimari ile uyumu ise ayrıca vurgulanmıştır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Bu doğrultuda, UAB Ar-Ge projeleri destekleri çerçevesinde ulusal AUS mimarisinin hazırlanmasını da içeren “Uydu Destekli Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Otomasyon Projesi”, 28.09.2021 tarihli protokol ile resmi olarak başlamış ve proje için 24 aylık bir süre öngörülmüştür. Proje kapsamında, kullanıcı gereksinimlerini dikkate alarak AUS uygulamalarının yerine getireceği görevler ile kullanım alanlarını belirleyen bir ulusal AUS mimarisinin oluşturulması çalışmalarında sona yaklaşmıştır. Türkiye’de AUS alanında kullanılan ve ihtiyaç duyulacak standartlar tespit edilerek sınıflandırılması yapılmış, yıkıcı yenilikçi teknolojiler ile etkilerinin AUS alanına yansımaları araştırılmıştır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022b) (AUS TÜRKİYE, 2022). Ulusal AUS mimarisi geliştirme süreçlerinde UAB tarafından da uluslararası kaynaklardan yararlanıldığı görülmektedir.

Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı doğrultusunda çalışmaları devam eden ulusal AUS mimarisi hazırlama projesinin (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023) temel amacı, Türkiye’de AUS standartlarının, teknolojilerin, uygulamaların, hizmetlerin ve veriler arasındaki akışların belirlenmesi, AUS uygulamalarında entegrasyon ve birlikte çalışabilirliğin sağlanması, mükerrer yatırımların önüne geçilerek maliyet ve zaman kaybının önlenmesidir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Bu doğrultuda teknik isterler dokümanı oluşturulurken eylem planında yer alan uygulama adımları dikkate alınmıştır. Proje ile (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)’de belirtilen AUS standartlarının tespit edilmesi ve sınıflandırılması, AUS alanında yıkıcı yenilikçi teknolojiler ile etkilerinin araştırılması ve ulusal AUS mimarisinin geliştirilerek kullanıma sunulması eylemleri doğrultusunda çalışmalar yürütülmektedir. Bu kapsamda mevcut durum analizi, envanter çalışması, dünya literatürünün taranması, iyi uygulama örneği ülkelerin incelenerek raporlanması, ulusal AUS mimarisinin oluşturulması için uygulama ve hizmet paketlerinin belirlenmesi süreçleri tamamlanmış olup mimari yazılımının geliştirilmesi ve ulusal AUS mimarisinin de yayınlanacağı ulusal AUS platformunun hazırlanması faaliyetlerinde son aşamaya gelinmiştir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2021).

Ulusal bir AUS sistem mimarisi geliştirme süreci, bir mimariyi oluşturmak ve ortaya koymak kadar önemlidir. Bu süreç, planlamacıların ve karar vericilerin, ülkenin AUS’una dahil edilecek varlıklar hakkında dikkatli ve sistematik bir şekilde düşüncelerini gerektirmektedir. Etkili bir süreç, ülkenin her yerinden çok çeşitli ulaşım paydaşlarının görüş ve gereksinimlerinin alınmasını içermekte ve bu durum, her zaman daha güçlü ve daha kullanışlı bir mimari (ve dolayısıyla daha güçlü ve daha kullanışlı bir AUS) ile sonuçlanmaktadır (Yokota & Weiland, 2004). Ayrıca, daha büyük bir siyasi destek ve potansiyel olarak finansal destek sağlaması, bu paydaşların AUS’u uygulamaya koymanın genel sürecine katılmasını sağlamaya yardımcı olabilecektir. Bu nedenle, Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi süreci, UAB tarafından katılımcı bir yaklaşımla yürütülmektedir.

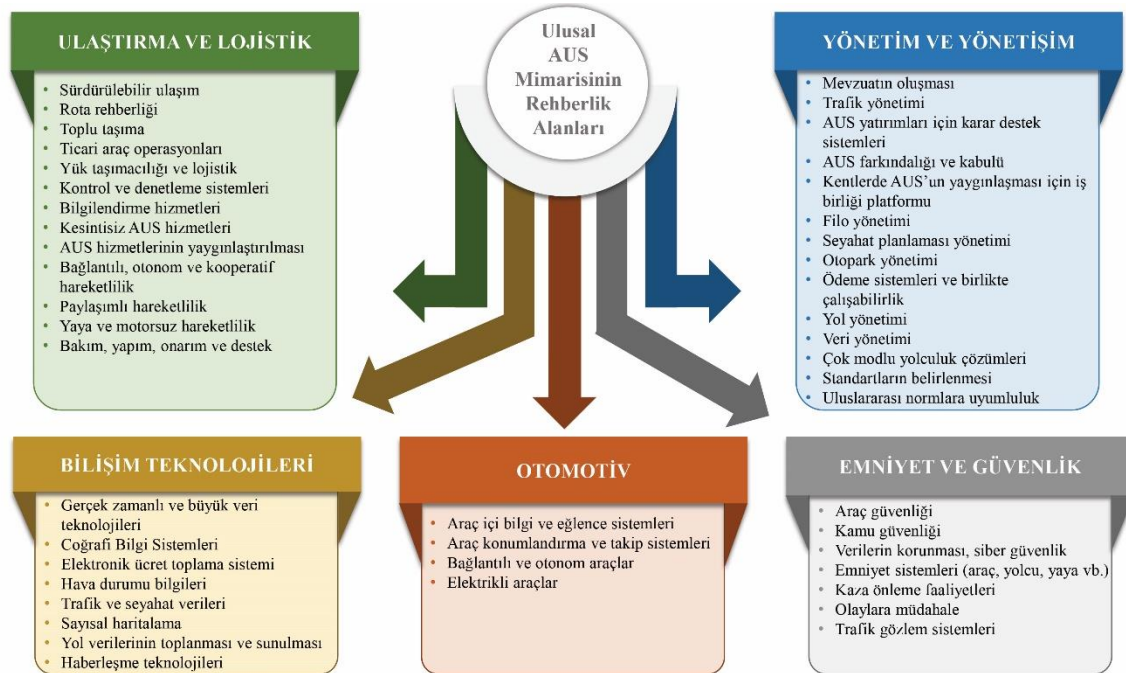
4.3. Ulusal AUS mimarisinin rehberlik alanları

Ulusal AUS mimarisinin öncelikle ulusal düzeyde entegre bir “akıllı ulaşım ağı” oluşturmak için kuralları ortaya koyan bir tasarım olması beklenmektedir. AUS mimarisi, kendi içindeki alt sistemlerin

mimarilerini de ayrıca barındırma özelliği taşımaktadır, yani birbiriyle ilişkili birçok sistemin mimarisinin bir araya geldiği bir bütünü temsil etmektedir.

Ulusal AUS mimarisinin temel paydaşlarını kamu kurumları, yerel yönetimler, üniversiteler, STK'lar, AUS sektöründe faaliyet gösteren gerçek ve tüzel kişiler ile özel kuruluşlar, yani AUS ekosisteminde yer alan seyahat edenler, toplu taşıma şirketleri ve sağlayıcıları, ulaştırma şirketleri, planlama kuruluşları, kamu güvenliğinden sorumlu kurumlar, filo işletmecileri, lojistik şirketleri, akademisyenler, belediyeler gibi birçok paydaş oluşturmaktadır. AUS, çok çeşitli teknolojiler, özellikler ve bileşenler içerdiğinden, tüm bunlar, etkili planlama, haberleşme ve paydaşlar arasında koordinasyonu gerektirmektedir. Haberleşme, coğrafi konumlama, coğrafi bilgi sistemleri, veriyi toplama, saklama ve paylaşma gibi tüm faaliyetler, görüntüleme sistemleri, algılama ve sınıflandırma teknolojileri, araç navigasyon sistemleri, dijital haritalama gibi uygulamalar akıllı ulaşımın öne çıkan unsurlarından bazılarıdır (Sejdini & Nechoska, 2022). Birbirinden çok farklı süreçler içeren bu kavramların koordinasyonunda, ulusal AUS mimarisinin rehber edeceği bir sistematığe ihtiyaç duymaktadır.

Türkiye için tasarlanacak ulusal AUS mimarisi; yol ağının optimum kullanımı, etkin trafik ve seyahat yönetimi çözümleri, trafik ve yük yönetiminin bütünlüğü, yol emniyeti ve güvenliğinin sağlanması, farklı AUS çözümlerinin entegrasyonu, veri güvenliği ve korunması ve buna ilişkin yasal sorumluluklar ile öncelikle Avrupa Birliği olmak üzere uluslararası uyumluluk gibi konuları temel alarak bu alanlarda rehberlik etmelidir. Bu doğrultuda ulusal AUS mimarisinin rehberlik edeceği alanlar geniş bir çerçeveye arz etmekle birlikte öne çıkanları, Şekil 11'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 11. Ulusal AUS mimarisi rehberlik alanları

Ulusal AUS mimarisi, ekonomi, sanayi, sağlık, eğitim, tarım ve bilişim gibi alanlarda, ulaşım çözümlerine ihtiyaç duyan pek çok sektöre hitap eden çözümler sağlayabilir. Özellikle kent içi ulaşımın planlaması ve yatırımlarda etkinliğin sağlanması, merkezi yönetim ile yerel yönetimler arasında koordinasyon için önemli bir adımdır. Aynı zamanda şehirler arası yol ağına yönelik etkin planlama ve çözümler için de rehberlik etmesi mümkündür. Ulusal AUS mimarisi, esnek ve gelişmelere açık yapısı ile faaliyetlerinde ulaşımı etkileyen ya da ulaşımdan etkilenen tüm alanlarda kaynakların doğru kullanıldığı verimli çözümlerin sunulmasında yol gösterici olabilir.

4.4. Ulusal AUS mimarisinin yaygınlaştırılması için öneriler

AUS mimarisi, AUS uygulamaları ve hizmetlerinin entegrasyonu için planlar yapılmasını sağlayan bir dizi üst düzey bakış açısı sunmakta, teknik hususların yanı sıra, ilgili kurumsal yasal ve ticari konuları da kapsamaktadır. AUS mimarisi; mantıklı bir şekilde planlama, diğer sistemlerle başarılı bir şekilde

entegrasyon, istenen performans seviyelerini karşılama, istenen davranışa sahip olma, yönetilmesinin kolay olması, bakımının kolaylığı, genişletilmesinin mümkün olması, kullanıcıların beklentilerini karşılama gibi özellikleriyle AUS'un yaygınlaşmasına yardımcı olmaktadır (Chojnacki vd., 2014).

AUS, dağıtık bir yapı ile ihtiyaçlar doğrultusunda çeşitli şekillerde ortaya çıkarken bir mimari yaklaşımla tasarlanmamış olabilir. AUS'un henüz fark edilmeye başlandığında ya da yaygınlaşması hızlandıkça sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç duyması ise muhtemel bir sonuçtur. Türkiye'de birçok şehirde, aynı zamanda karayolu ağında birbirinden farklı şekillerde oluşturulan akıllı ulaşım sistemlerinin; ulusal düzeyde birlikte çalışabilirlik, kaynakların etkin kullanımı, mükerrer yatırımlardan kaçınma, altyapıların sürdürülebilirliği gibi amaçlar doğrultusunda bir sistematik çerçevesinde yönetilmesi gerekmektedir. Bu sistematik ise bir orkestra şefi gibi AUS'un zorlu uygulama süreçlerini sistematik hale getirecek olan ulusal AUS mimarisidir. Türkiye'de AUS uygulamaları ve çözümleriyle ilgili birçok çalışma ve deneyim bulunmaktadır. Ulusal AUS mimarisi ve benimsenen standartlar sayesinde, bu uygulamalardan ve hizmetlerden maksimum fayda sağlanabilecektir.

Türkiye için oluşturulan ulusal AUS mimarisinin; AUS'un planlanması, analizi, tanımı, kurulumu, işletilmesi, yaygınlaştırılması ve entegrasyonu gibi hususlar için ortak bir yapıyı yani çerçeveyi belirlemesi beklenmektedir. Ulusal AUS mimarisi, akıllı ulaşımın ülke genelinde kabulünde kapsayıcı ve etkili bir itici güç olmasının yanında, yaygınlaşmasında da iyi bir araç olacaktır. Ancak, AUS'un yaygınlaşmasına potansiyel etkisi olacağı düşünülen AUS mimarinin geliştirilmesinin yanında uygulanması ve yaygın bir şekilde kullanımının sağlanması da çözüm bekleyen önemli bir husustur. Bu nedenle, AUS yaygınlaşırken mimarinin ülke genelinde ilgili tüm paydaşlar tarafından öncelikle gönüllülük esasıyla kabul görmesi önemlidir.

Dünyadaki iyi örneklerden ve deneyimlerden yararlanarak geliştirilmekte olan ulusal AUS mimarisinin kabulünü ve yaygınlaştırılabilmesini sağlayacak önemli bir husus, öncelikle uygulanmasının kolay olması ve verimli bir şekilde yerel koşullara uyarlanabilmesidir. Ulusal AUS mimarisinin kabulü için dikkate alınması ve süreç içerisinde tasarıma dahil edilmesi önerilen hususlar aşağıda özetlenmiştir:

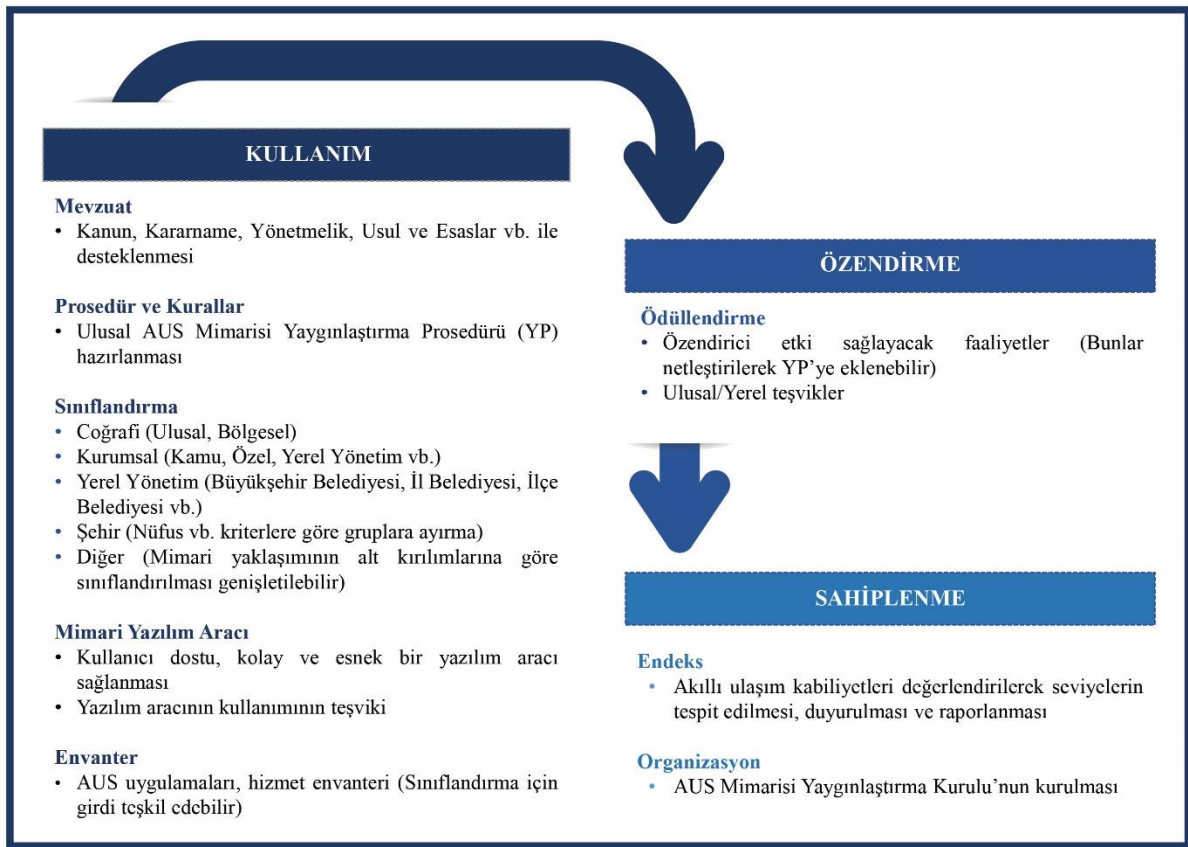
- İlgili tüm paydaşların görüşleri alınmalı ve geliştirilen tasarım, buna uygun olmalıdır.
- Ulusal AUS mimarisi için tanımlar ve terminoloji açık, net ve anlaşılır hale getirilmeli yani bir kılavuz hazırlanmalıdır.
- AUS standartları, Türkiye'nin mer'î mevzuatına ve yasal ihtiyaçlarına uygun olmalıdır.
- Ulusal kalkınma planları ve stratejik planlardaki hedefler ile uyumu sağlanmalıdır.
- Öncelikle ulaşım, bilgi ve haberleşme alanlarına ilişkin altyapının mevcut ve öngörülen durumunu dikkate alınmalıdır.
- Yerel/bölgesel mimarilerin geliştirilmesi, tasarlanması, kurulması ve işletilmesi için gereken insan kaynağı ihtiyacını öngörmelidir.
- Ekonomik koşulları önemseyerek siyasi, sosyal ve kültürel faktörlere göre hedefler hiyerarşisine sahip yazılı bir yaygınlaştırma planı hazırlanmalıdır.

Ulusal AUS mimarisi, yayınlanmadan önce ya da hemen akabinde ülkede kabulünün sağlanması, etkinliğinin artırılması ve yaygınlaşmasının hızlanması için mevzuat ile desteklenmesi gerekmektedir. Türkiye'nin tüm coğrafi alanını ve ulaşımın tüm modlarını içine alan bir yaklaşımla ulusal AUS mimarisinin kullanımına ilişkin mevzuat altyapısının güçlendirilmesi, öncelikli ve önemli gereklilikler arasındadır. AUS'un ülke genelinde kurulumu ve yaygınlaşmasında ulusal AUS mimarisini benimseyecek paydaşların tanımlanarak sınıflandırılması, sorumlulukların çerçevelerinin belirlenmesi ise olası organizasyonel sorunların önlenmesi açısından önemli bir husus olacaktır.

AUS mimarisinin oluşturulabilmesi için belirli bir hizmetten başlayarak diğer farklı hizmetleri sisteme dahil etmek gerektiğinden, standart bir yaklaşım ile teknik şartnameler oluşturarak mevcut ve gelecekte ortaya çıkması muhtemel teknolojileri de dahil edecek bir planlamaya ihtiyaç vardır (Çapalı, 2022). Ulusal AUS mimarisinin gelişen teknolojilere uyuma açık olması, ulusal AUS mimarisine uygun şekilde Türkiye MaaS mimarisinin belirlenmesi (Talih & Tektaş, 2023), ayrıca K-AUS uygulamaları için gelişmelere açık olması (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2018), yaygınlaşması ve kabulü için artı değer katacaktır. Bu durum, yayınlanacak mimarinin güncellemelere izin veren esneklikler içermesini gerektirmektedir. Esnek yapıdaki bir mimarinin ise yaygınlaşması ve uyarlanması daha kolay olacaktır.

İnsanlar, arazi kullanımı, faaliyetler, yol ve çevresel parametreler, bir AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yaygınlaşmasının ayrılmaz birer parçasıdır. Bu nedenle, sürdürülebilir bir ulaşım altyapısı tesis etmek için bu parametreleri dikkate alan, bilgi ve haberleşme teknolojilerini kullanarak entegre eden, geleceğin ulaşım trendlerini dahil eden AUS mimarisi iyi bir öngörüdür (Das vd., 2016). Böyle bir mimari tasarımın, tüm parametrelerinin aynı zamanda paydaş gereksinimlerini de içeriyor olması dolayısıyla hızlı ve kolay kabulü mümkün olabilecektir.

AUS çözümlerinin ve uygulamalarının Türkiye’deki mevcut durumu, ulusal bir AUS mimarisinin geliştirilmesine, ülkenin gereksinimlerine göre uyarlanmasına, ardından uygulanmasına ve yaygın bir şekilde kullanımına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, yayınlanacak olan ulusal AUS mimarisinin, Türkiye genelinde kullanımına ve yaygınlaşmasına yönelik bir model, Şekil 12’de gösterildiği gibi önerilmektedir. Önerilen model, gönüllülük esaslı kullanım, özendirme ve sahiplenme politikaları ile uygulamaları çerçevesinde yaygınlaştırmaya dayanmaktadır. Aynı zamanda kullanıcı dostu, kolay ve pratik bir yazılım aracının tüm paydaşlara sunulması da mimarinin kabulünü ve yaygınlaştırılmasını destekleyecektir.



Şekil 12. Ulusal AUS mimarisi yaygınlaştırma model önerisi

Ulusal AUS mimarisi, izlenebilir, kolay uygulanabilir ve aynı zamanda gelişen teknoloji ile süreçlerdeki yenilikleri entegre etmeye imkân sağlayan esnekliğiyle süreklilik arz ederek tanımlamaların net bir şekilde ifade edildiği bir yapıda olmalıdır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2018). Bu doğrultuda, tüm paydaşları içine alan bir mevzuat ile desteklenen, “Ulusal AUS Mimarisi Yaygınlaştırma Prosedürü” dokümanının şeffaf, açık, ayrıntılı ve çok boyutlu bir projeksiyon içerecek şekilde hazırlanması, önerilen modelin uygulanmasını kolaylaştıracaktır.

Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi sonrasında yaygınlaştırılarak etkin ve verimli kullanımının sağlanması için dünyadaki iyi örneklerin dikkate alınması, ancak Türkiye koşullarının analizinin dikkatle yapılması ve buna göre uyarlanarak yaygınlaştırma yönteminin tercih edilmesinin, uygun bir seçenek olduğu değerlendirilmektedir. Ulusal AUS mimarisi, çok katmanlı, çok paydaşlı ve birbirinden farklı birçok sürece sahip yapının kısa bir ifadesidir. Bu çok katmanlı yapı için üzerinde çalışılan tasarımın esneklik içermesi ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda, gelecekteki değişim ve

dönüşüme uyum sağlayabilmesi gerekmektedir. Değişim ve dönüşüme hazır olan tüm plan ve projelerin, sürdürülebilir olması kolay ve mümkün olacaktır. Yeni AUS gereksinimleri ortaya çıktıkça ve yeni çözümler kullanılabilir hale geldikçe, mimari aşamalı olarak geliştirilebileceği için Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülke için adım adım bir AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması faydalı olacaktır.

5. Sonuç ve Değerlendirmeler

AUS, ulaşım sistemlerinin performansını iyileştirmeyi ve etkin bir şekilde yönetilmesine yardımcı olmayı, karar verme sistemleri aracılığıyla ulaşım altyapılarının verimli kullanımını sağlamayı ve ulaşım sistemlerinden genel olarak memnuniyet elde edilmesini amaçlayan, araç, altyapı ve kullanıcı bileşenlerinden oluşan, planlama ve uygulama süreçleri için sistematik bir temel gerektiren karmaşık sistemlerdir. Bilgileri toplamaktan, işlemekten ve entegre etmekten sorumlu olan sistemler ile son kullanıcılara elde edilen sonuçları ve bilgileri sağlamaktan sorumlu olan sistemlerden oluşan AUS, ulaşım alanında telematik kavramlarının uygulanmasından kaynaklanan farklı araçları ve hizmetleri içermektedir (Perallos vd., 2015).

AUS'un planlanması ve uygulanması için sistematik bir yaklaşım gerektiren karmaşık sistemlerden oluşması ve yoğun bir şekilde bilgi teknolojilerini içermesi dolayısıyla, başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için etkin ve sistematik bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. AUS'un bir ülkede nasıl çalışacağını açıklamak ve ana yapı taşlarını tanımlamak için değerli bir araç olan AUS sistem mimarisi, bu süreçte yardımcı olmakta ve uzun yıllardır dünya genelinde ele alınan bir konu olma özelliğini korumaktadır.

AUS hizmetleri yelpazesini ele almaya yönelik kapsamlı bir sistem mühendisliği çabasının sonucu geliştirilen AUS sistem mimarisi, sistem yönetimi ve planlaması için veri paylaşım yaklaşımını ortaya koyması, ortak fonksiyonlar ve fonksiyonel entegrasyon sağlaması, ortak teknoloji ve açık arayüz standartlarını tarif etmesi dolayısıyla Türkiye gibi büyük ülkelerde, AUS'un ülke genelinde uyumlu ve etkileşimli olarak geliştirilerek devreye alınmasını sağlamakta, uygulamalar arasında etkileşimin ve veri alışverişinin kolayca ve bütünlük olarak yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Ulusal AUS mimarisi, birlikte çalışabilirlik, işlevsel gereksinimler ve mantıksal mimari gibi sistem mühendisliği kavramlarını ortaya koymakta, mimarinin genişleyebilir, güncellenebilir olmasıyla, geliştirilmekte olan veya bugün var olmayan sistemler için standartlar ekleyerek gelecek AUS için çerçeve çizmektedir. Şehirlerdeki AUS mimarisi gelişimi, sürdürülebilir bir şekilde hareketliliği geliştiren hizmetlerin kademeli olarak iyileştirilmesinde rol oynadığından, ülkelerin ulusal AUS mimarilerinin yaygınlaşmasını sağlayacak tedbirleri ortaya koyması, yürütülen çalışmaları desteklemesi gerekmektedir.

Dünyada AUS sistem mimarisi oluşturmak ve uygulamak için FRAME mimarisi ve ABD ulusal AUS mimarisi olarak temelde iki farklı yaklaşımın bulunduğu görülmektedir. FRAME mimarisi, Avrupa Birliği ülkelerine mimarilerini hazırlamada esneklik sunarken ABD eyaletlerinde AUS uygulamalarında federal fonlardan yararlanabilmek için ABD ulusal AUS mimarisine uyumlu olma zorunluluğu bulunmaktadır. ABD, oluşturduğu ARC-IT mimarisinin bölgelere uyarlanmasını merkezi fonlardan yararlanma koşulu haline getirmiş, ancak Avrupa'da FRAME mimarisinin özelleştirilmesi yerellik ilkesi gereği ülkelerin inisiyatifine bırakılmıştır. Bu nedenle, FRAME mimarisi kavramsal altyapısının sağlamlığına ve güçlü teknik özelliklerine rağmen, ARC-IT'ye kıyasla yaygınlaşmamış bir mimaridir. FRAME'in detaylı ve kapsayıcı bir internet platformunun bulunmaması da AUS mimari çerçevesi olarak ülkeler tarafından adaptasyonunu zorlaştıran unsurlar arasındadır.

Ulusal AUS mimarisini yaygınlaştırmak ve AUS uygulamalarında yol gösterici olmak ise tatmin edici bir sistem tasarımının elde edilebilmesine yönelik devletin politikalar üretmesi, yerel yönetimlerin ulusal AUS mimarisini uyarlamasına yardımcı olacak güvenilir bir metodoloji geliştirilmesi gereklidir. AUS'ta kullanılacak ortak bir veri modelinin geliştirilmesi ve kullanımının benimsenmesi, verilerin değiş-tokuşu ve birlikte çalışabilirliğin temini için standartlarının belirlenerek uygulanması, AUS uygulamalarının sistematik çerçevesinde yaygınlaştırılması için ulusal AUS mimarisinin kullanımının teşvik edilmesi, Türkiye'de ulusal AUS mimarisinin yaygınlaştırılmasında etkili olacak unsurlar arasındadır. Bu çalışmada önerilen model doğrultusunda, ulusal AUS mimarisinin gönüllü kullanımı, AUS paydaşları tarafından sahiplenilmesi ve devlet tarafından ortaya koyulacak özendirme politikaları ve uygulamaları da mimarinin yaygınlaştırılmasına katkı sunacaktır. Mimarinin kullanıcı dostu, kolay

ve pratik bir yazılım aracı ile geliştirilebilmesi ve tüm ilgili paydaşlara sunulması da mimarinin kabulünü ve yaygınlaştırılmasını hızlandıracaktır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Sorumlu yazar ve ikinci yazar tarafından araştırmanın ilk versiyonu hazırlanmış, tüm yazarlar tarafından düzenlenerek gözden geçirilmiştir.

Destek ve teşekkür beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

ARC-IT Architecture Overview. (2023). USDoT. <https://www.arc-it.net/html/architecture/architecture.html>

ARC-IT RAD-IT. (2023). USDoT. <https://www.arc-it.net/html/resources/radit.html>

ARC-IT Service Packages. (2023). USDoT. <https://www.arc-it.net/html/servicepackages/servicepackages-areasort.html>

ARC-IT SET-IT. (2023). USDoT. <https://www.arc-it.net/html/resources/setit.html>

AUS TÜRKİYE. (2022). Uydu Destekli Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Otomasyon Projesi. In *AUS TÜRKİYE* (Vol. 7). https://austurkiye.org.tr/uploads/blog/file_8-07-numarali-bulten-474.pdf

2010/40/EU Sayılı Direktif, (2010). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0040>

Belinova, Z., Bures, P., & Barta, D. (2011). Evolving ITS architecture—the Czech experience. *Modern Transport Telematics: 11th International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2011, Katowice-Ustroń, Poland, October 19-22, 2011. Selected Papers 11*, 94–101.

Bělinová, Z., Bureš, P., & Jesty, P. (2010). Intelligent transport system architecture different approaches and future trends. *Data and Mobility: Transforming Information into Intelligent Traffic and Transportation Services Proceedings of the Lakeside Conference 2010*, 115–125.

Berdyorova, I. (2022). *Intelligent Transport Systems Apps in South Korea. 1*(6). <http://innosci.org/>

Bodur, M. A. (2013). *Akıllı Ulaşım Sistemleri* [Yüksek Lisans]. T.C. Bahçeşehir Üniversitesi.

Borges, H., Knapp, G., Eisenhart, B. (2001). Development of Canadian Architecture for Intelligent Transportation Systems. *Transportation Research Record 1774, 1*, 80–89.

Bossom, R. (2021). *FRAME Architecture- D4.5 Theory of Operations Part 1 – Introduction and Terminology.*

Cabrera, R. S., & de la Cruz, A. P. (2018). Public transport vehicle tracking service for intermediate cities of developing countries, based on ITS architecture using Internet of Things (IoT). *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2784–2789.

Çapalı, B. (2022). Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisi: K-AUS için Öneri. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 9(4), 1249–1254. <https://doi.org/10.31202/ecjse.1132804>

Chang, Y. (2017, November). *Introduction of Korean ITS.* MOLIT. <https://www.slideshare.net/juan71596355/1-molit>

Chen, X., Yu, L., Guo, J., Quan, Y., Geng, Y., & Gao, Y. (2003). Development of Beijing Regional Intelligent Transportation System Architecture. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 1*, 560–565. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1252015>

Chojnacki, B., Kowalewski, M., & Pekalski, A. (2014). *National ITS Architecture Objectives. 7.*

Chowdhury, M. R. A., Pol, J., Franklin, C., & Robinson, J. R. (1998). National Intelligent Transportation Systems (ITS) Architecture Tailoring: An Object-Oriented Approach. *Computing in Civil Engineering*, 782–791.

Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi. (2018). *CUMHURBAŞKANLIĞI TEŞKİLATI HAKKINDA CUMHURBAŞKANLIĞI KARARNAMESİ* (Vol. 30474, pp. 1–301). Cumhurbaşkanlığı. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/19.5.1.pdf>

Das, D., Tom, S., & Honiball, J. (2016). *Futuristic Intelligent Transportation System Architecture for Sustainable Road Transportation in Developing Countries*. <https://core.ac.uk/download/pdf/222967362.pdf>

Day, J., & Zimmermann, H. (1984). The OSI reference model. *Proceedings of the IEEE*, 71, 1334–1340. <https://doi.org/10.1109/PROC.1983.12775>

Fernández González, M. I. (2006). *Development of the Regional Intelligent Transportation Systems Architecture for the San Juan Metropolitan Area* [Master of Engineering]. University of Puerto Rico.

FRAME Architecture. (2023). <https://frame-online.eu>

FRAME NEXT. (2021). <https://frame-next.eu>

Frotscher, A., & Scheider, T. (2008). Coopers Project: Development of An Its Architecture FOR CO-Operative Systems on Motorways. *15th World Congress on Intelligent Transport Systems and ITS America's 2008 Annual Meeting/ITS America/ERTICO/ITS Japan/TransCore*.

Fünfroeken, M., Otte, A., Vogt, J., Wolniak, N., & Wieker, H. (2018). Assessment of ITS architectures. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(9), 1096–1102. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5310>

Graf von Malotky, N. T., & Martens, A. (2019). Analyzing the usage of the classical ITS software architecture and refining it. *Intelligent Tutoring Systems: 15th International Conference, ITS 2019, Kingston, Jamaica, June 3–7, 2019, Proceedings 15*, 40–46.

Hall, R. W., & Thakker, V. (1998). *California System Architecture for Intelligent Transportation: Models for Transportation Systems Management*. <https://escholarship.org/content/qt6660p0zj/qt6660p0zj.pdf>

HARTS. (2017). *Harmonized Architecture Reference for Technical Standards*. Erişim tarihi 18 Nisan 2023, <http://htg7.org/index.html>

Hickman, M., Weissenberger, S., & Dahlgren, J. (1996). Assessing The Benefits Of A National ITS Architecture. In *The Third World Congress on Intelligent Transportation Systems*. <https://escholarship.org/uc/item/36d5q0sc>

ITS Handbook Japan 2002-2003. (2002). <https://www.mlit.go.jp/road/ITS/2002HBook/section5/5-2e.html>

JSAE. (2022). *ITS Standardization Activities of ISO/TC 204*. https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its_2022_en.pdf

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2016). *2017-2021 Stratejik Plan*. http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/AePTs+KGM_2017-2021_Planı.pdf

Karkhanis, P., Van Den Brand, M. G. J., & Rajkarnikar, S. (2018). Defining the C-ITS Reference Architecture. *Proceedings - 2018 IEEE 15th International Conference on Software Architecture Companion, ICSA-C 2018*, 148–151. <https://doi.org/10.1109/ICSA-C.2018.00044>

Karoń, G., & Mikulski, J. (2012). Problems of ITS architecture development and its implementation in upper-silesian conurbation in Poland. *Telematics in the Transport Environment: 12th International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2012, Katowice-Ustroń, Poland, October 10–13, 2012. Selected Papers 12*, 183–198.

- Ke, Z., Tong-Yan, Q. I., Dong-mei, L. I. U., Chun-yan, W., Rui-Hua, H. E., & Hao, L. I. U.** (2005). The latest achievements of Chinese national ITS architecture. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 5(5), 6.
- Lee, S.** (2009). A Study on Revising the National ITS Architecture. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 29(2D), 175–181.
- Liu, H., Zhang, K., Wang, X., Qi, T., Wang, C., Liu, H., Zhang, K., Wang, X., Qi, T., & Wang, C.** (2005). Effective and Sustainable Development of Chinese National Intelligent Transportation System Architecture. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 46, 46–56.
- Masaki, I., Demir, R., & Crawley, E. F.** (1996). *System Design for Intelligent Transportation Systems*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/566400>
- McGregor, R. V.** (2003). *Development of an intelligent transportation system architecture for a medium sized city* [Dissertation/Thesis]. University of Calgary (Canada).
- McQueen, B., & McQueen, J.** (1999). *Intelligent transportation systems architectures*.
- Miles, J. C.** (2014). Intelligent Transport Systems: Overview and Structure (History, Applications, and Architectures). In *Encyclopedia of Automotive Engineering* (pp. 1–16). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118354179.auto166>
- MLIT.** (2012). *System Architecture*. <https://www.mlit.go.jp/road/ITS/topindex/SystemArchitecture.pdf>
- MOLIT.** (n.d.). *Intelligent Transport Systems in Korea*. MOLIT. Erişim tarihi 12 Nisan 2023, http://www.molit.go.kr/upload/cyberJccr/pdf_file/ITS%20brochure.pdf
- MOLIT.** (2016). *ITS History and Current Status*. https://intl.its.go.kr/en/02_03
- Perallos, A., Hernandez-Jayo, U., Onieva, E., & Zuazola, I. J. G.** (2015). *Intelligent transport systems: technologies and applications*. John Wiley & Sons.
- Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities.** (2021). <https://files.austriatech.at/f/8fb29e7cf5944fe8b279/?dl=1>
- Rodríguez, D. A., Muñoz-Loustaunau, A., Pendleton, T., & Sussman, J. M.** (1998). Regional intelligent transportation systems architectures and the competitive region. *Transportation Research Record*, 1651(1), 1–7.
- Rødseth, Ø. J.** (2011). A maritime ITS architecture for e-navigation and e-maritime: Supporting environment friendly ship transport. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 1156–1161. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2011.6082963>
- Román, I., Madinabeitia, G., Jimenez, L., Molina, G. A., & Ternero, J. A.** (2013). Experiences applying RM-ODP principles and techniques to intelligent transportation system architectures. *Computer Standards and Interfaces*, 35(3), 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.12.004>
- Saffari, E., Golroo, A., Mesbah, M., & Ashna, M.** (2018). *A methodology to develop an ITS architecture for developing countries: Case study of Iran*.
- Salazar-Cabrera, R., & Pachón de la Cruz, Á.** (2018). Design of urban mobility services for an intermediate city in a developing country, based on an intelligent transportation system architecture. *Applied Computer Sciences in Engineering: 5th Workshop on Engineering Applications, WEA 2018, Medellín, Colombia, October 17-19, 2018, Proceedings, Part II* 5, 183–195.
- Sejdini, X., & Nechoska, D. K.** (2022). *Designing The National Architecture Of Intelligent Transport Systems*.
- Smith, B. L.** (1998). Supporting demand responsive transit operations: a prototype system designed using the national ITS architecture. *ITS America 8th Annual Meeting and Exposition: Transportation Technology for Tomorrow: Conference Proceedings Intelligent Transportation Society*.

- Sweeney, W., & Venz, J.** (2014a). *National ITS Architecture: Context and Vision*. www.austroroads.com.au
- Sweeney, W., & Venz, J.** (2014b). *National ITS Architecture: ITS Business Architecture*. www.austroroads.com.au
- Talih, Ö., & Tektaş, N.** (2023). Bir Hizmet Olarak Hareketlilik-MaaS Perspektifi ve Türkiye Analizi. *Journal*, 7(2), 431–463.
- T.C. Başbakanlık.** (2002). *e-Türkiye Girişim Eylem Planı (Taslak)*. http://www.bilgitoplumu.gov.tr/Documents/1/Yayinlar/020800_E-TurkiyeEylemPlani.pdf
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.** (2020). *Akıllı Ulaşım*. <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/Ulasim.pdf>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı.** (2019). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Planı-2019-2023.pdf
- T.C. Cumhurbaşkanlığı.** (2022). *2023 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı*. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/11/2023-Yili-Cumhurbaşkanlığı-Yıllık-Programı.pdf>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.** (2022). *1 Nolu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi*. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/19.5.1.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2014). *Ulusal AUS Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016)*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/aus-strateji-belgesi-eki-eylem-plani-2014-2016.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2017). *2017-2020 Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/ulusal-genisbant-stratejisi/ulusal-genis-bant-stratejisi-ve-eylem-plani-2017-2020-b9d0c25d-328c-4eda-a2aa-d374ffacd91a.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2018). *3 Ülkenin AUS Mimarisinin Karşılaştırma Raporu*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/aus-sep-mimari.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2019). Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik. In *T.C. Resmi Gazete* (Issue 30762). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190502-5.htm>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2020). *Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-plani.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2021). *Uydu Destekli Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Otomasyon Projesi*. Erişim tarihi 18 Nisan 2023, <https://hgm.uab.gov.tr/projelerimiz>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2022a). *T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Plan 2019-2023*. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejik-yonetim/uab-stratejik-plani-guncellenmis-versiyon-16-09-2021.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2022b). *2021 Yılı Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Faaliyet Raporu*. http://www.sp.gov.tr/upload/xSPRapor/files/qedG4+UAB_2021_FR.pdf
- T.C. Başbakanlık.** (2002). *e-Türkiye Girişimi I. Ara Rapor*.
- Tierolf, J. W.** (1999). The European ITS Architecture, almost there: How to Implement it. *PROCEEDINGS OF 6TH WORLD CONGRESS ON INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS (ITS), HELD TORONTO, CANADA, NOVEMBER 8-12, 1999*.
- Vahidi, H., & Sayed, T.** (2003). Using the Canadian ITS architecture for evaluating the safety benefits of intelligent transportation systems. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(6), 970–980. <https://doi.org/10.1139/l03-032>
- Yang, B., & Xie, C.** (2000). The Functional Architecture of ITS Applied to Railway. In *Traffic and Transportation Studies (2000)* (pp. 887–892).

Yang, Z., Wang, X., & Sun, H. (2013). Study on urban its architecture based on the internet of things. *LTLGB 2012: Proceedings of International Conference on Low-Carbon Transportation and Logistics, and Green Buildings*, 139–143.

Yokota, T., & Weiland, R. J. (2004). *ITS System Architectures For Developing Countries*. <https://www.ttsitalia.it/file/Libreria/Worldwide/ITS%20System%20Architectures.pdf>