



İzmit kent içi ulaşımda alternatif toplu taşıma sistemlerinin aksiyomlarla tasarım yöntemi ile değerlendirilmesi

Evaluation of alternative public transportation systems in Izmit urban transportation via axiomatic design method

Gülşen AKMAN^{1*}, Atakan ALKAN¹

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.

akmang@kocaeli.edu.tr, aalkan@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 22.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 23.06.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.55376

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Dünyada ve ülkemizde kent içi ulaşımın büyük bir bölümü toplu taşımacılıkla gerçekleştirilmektedir. Toplu taşıma, araçlara değil, insanlara ulaşım kolaylığı ve olanağı sağlayan bir sistemdir. Bu nedenle kent içi ulaşımın düzenlenmesinde toplu taşıma sistemlerine öncelik vermek gerekmektedir. Bu çalışmada İzmit kent içi ulaşımda trafik yoğunluğunun azaltılmasına ve yolcu taşımacılığının kolaylaştırılmasına yönelik olarak hangi toplu taşıma aracının daha uygun olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için öncelikle toplu taşıma için kullanılacak alternatifler belirlenmiştir. Bu alternatifler, metro, metrobüs, tramway, hafif raylı sistemler ve monoraydır. Devamında toplu taşıma konusunda karar vermeyi etkileyen değişkenler belirlenmiştir. Bu değişkenler; maliyet, ulaşım hattı özellikleri, araç özellikleri, çevreye duyarlılık ve müşteri memnuniyetidir. Son olarak aksiyomlarla tasarım yöntemi kullanılarak, en uygun toplu taşıma sistemi konusunda öneride bulunulmuştur. Yöntemin uygulanması sonucunda Hafif Raylı Sistemler ve Metrobüs, İzmit Toplu Taşıma sistemi yapısı için en uygun alternatifler olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kent içi ulaşım, Çok kriterli karar verme, Aksiyomlarla tasarım

Abstract

In the world and in our country, most of urban transportation is performed by public transportation. Public transportation is a system which provides transportation easiness and opportunity to people, not to vehicles. Therefore, giving priority to public transportation system is necessary in organizing urban transportation. In this study, in order to reduce traffic intensity and to facilitate passenger transportation in Izmit urban transportation, It is tried to determine appropriate public transportation system. For this, firstly, alternatives which could be used for public transportation were determined. These alternatives are metro, metrobüs, tram, light rail system and monorail. Afterwards, the variables affecting decision making about public transportation were determined. These variables are cost, transportation line features, vehicle characteristics, sensitivity to environment and customer satisfaction. Lastly, most appropriate public transportation system is proposed by using the axiomatic design method. As a result, light rail system and metrobüs are determined as the most appropriate alternatives for Izmit public transportation system.

Keywords: Urban transportation, Multi criteria decision making, Axiomatic design

1 Giriş

Günümüzde toplu ulaşım/taşıma şehir yaşamının en önemli unsurlarından biri olmuştur. Toplu taşıma hem toplumların modern anlamda gelişmesinin hem de ekonomik büyümesinin temel göstergelerinden biridir [1]. Şehirlerdeki nüfus artışı ile birlikte hareketlilik ihtiyacı da artmaktadır. Örneğin İstanbul'da bir günde yaklaşık 13 milyon yolculuk yapılmaktadır. Ankara da ise 2010 yılında bir günde gerçekleştirilen yolculuk sayısı 6 milyon iken, bu sayının 2020 yılında 9 milyona ulaşması beklenmektedir [2]. Kocaeli'nde ise bir günde yaklaşık 2.20 milyon yolculuk yapılmaktadır. Bunun sonucunda ulaşım günümüzde gelişmiş ya da gelişmekte olan şehirlerde en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Şehirlerin hızlı büyümesi ve gelişmesi, şehirlerin daha yaşanabilir hale getirilmesinde şehir içi toplu ulaşımın geliştirilmesini bir zorunluluk haline getirmektedir. Ayrıca kentlerdeki nüfus yoğunluğu ve özel araç sayısının artması trafik tıkanıklığı, hava kirliliği, gürültü, fazla enerji tüketimi, vb. olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu yüzden kent içi ulaşımın temel amaçları, bu gibi sorunların çözümü, ulaşım ihtiyacının karşılanması ve kentsel gelişimin sağlanması olmalıdır. Bu amaçlara ulaşmak için en uygun çözüm yolu toplu taşıma sistemlerine öncelik verilmesidir [3]. Gelişmiş ülkelerde kentsel yönetimler hem trafik sorununa

çözüm getirmek, hem de verimli yolcu taşımacılığını sağlamak amacıyla toplu taşımacılığı ön plana çıkarmışlardır [4].

Kocaeli ilinde Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığı bünyesinde Kocaeli genelinde ulaşım probleminin çözülmesine yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu amaçla Kocaeli Ulaşım Ana planı 2025 hazırlanmasına yönelik çeşitli araştırmalar ve uygulamalar gerçekleştirilmiş ve çeşitli çözüm önerileri geliştirilmiştir. Bu makalede Kocaeli ili İzmit merkez ilçesi için toplu taşıma yöntemleri değerlendirilerek hangi yöntemin İzmit için daha uygun olduğunu belirlemeye yönelik bir öneri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle Kocaeli ili ve İzmit ilçesinde ulaşım ile ilgili çeşitli istatistikler verilmiştir. Devamında toplu taşıma sistemi alternatifleri hakkında kısa bilgi verilmiştir. Daha sonra karar vermede kullanılacak olan Aksiyomlarla Tasarım yöntemi açıklanmıştır. Son olarak Aksiyomlarla Tasarım yöntemi ile alternatifler değerlendirilerek en uygun alternatifler belirlenmiştir.

2 Kent içi ulaşım ve toplu taşıma

Ülke nüfusundaki artış, kentsel nüfus oranının hızla büyümesi ve gelişen ekonomik faaliyetler sonucunda kişi başına yapılan günlük yolculuk oranlarının giderek artması, toplam kentsel yolculuk sayılarında büyük artışlara neden olmaktadır. Bunun sonucunda kent içi ulaşım boyutları hızla artarken kapsamı

genişlemekte, her geçen gün biraz daha yayılan ve sayıları artan kentsel alanlardaki yolculukların uzunlukları da artmakta ve daha çok yaya yolculuğu motorlu taşıt yolculuğuna dönüşmektedir [5].

Ulaşım insanların yer değiştirme ihtiyacı veya gerekliliği sonucunda araçlı veya araçsız olarak yer küre üzerinde veya uzay düzleminde bireysel hareketlilik halleri olarak tanımlanabilir [6]. Diğer bir tanıma göre ulaşım; insanların ve nesnelerin belirli bir amaca yönelik olarak bir yerden başka bir yere yer değiştirmeleridir [7]. Ulaştırma ise, insanların yer değiştirme ve haber veya mal gönderme ihtiyaçlarını gidermek için belirli bir taşıt, teknik veya teknoloji aracı kullanılarak bir kurum (kamu veya özel) tarafından bu hizmetin verilmesidir [6]. Ulaştırmanın amacı, insanların ve eşyaların yer değiştirmesini sağlamaktır. İnsanlar çeşitli nedenlerle ile seyahat ederler. Eşyalar ise bir fayda katkısı elde etmek için yer değiştirirler. Bu yer değiştirme ulaşım sistemleri ile gerçekleştirilir. Ulaşım sistemleri toplumlar için vazgeçilmez sistemlerdir ve bir kent için en önemli alt yapıyı oluştururlar [8].

Toplu taşıma, bir şehir halkının ulaşım ihtiyaçlarının, çok sayıda insan taşımaya elverişli büyük taşıma araçlarıyla karşılanmasını sağlayan ulaşım sistemidir. Gelişmiş ülkelerde kentsel yönetimler gerek trafik sıkışıklığı sorununa çözüm getirmek, gerekse verimli yolcu taşımacılığını gerçekleştirebilmek için toplu taşımacılığı ön plana çıkarmışlardır [4]. Toplu taşıma araçları ile yapılan yolculuk sayısı kent içi yapılan toplam yolculuk sayısında önemli bir yer tutmaktadır. Bu oran ülkeden ülkeye toplu taşıma politikalarına göre farklılık göstermektedir. Toplu taşımacılık, ulaşım literatürünün belki de en çok araştırılan ve tartışılan konularından biridir. Araba ile bireysel yolculuk yöntemine karşı savunulan toplu taşıma, hava kirliliği, düşük yoğunluklu kentsel büyüme, trafik sıkışıklığı, gençlerin ve yaşlıların hareketliliğindeki sorunlar gibi bilinen kentsel problemlere çözüm olarak görülmektedir [3].

5216 Sayılı Büyükşehir Belediyeler ile 5393 sayılı Belediye Kanunu'na göre toplu taşıma hizmeti yapma görev yetki ve sorumluluğu belediyelere aittir. Gerek yasalarda, gerekse halkın zihninde toplu taşımacılıkla ilgili tüm yetki ve sorumluluk belediyelere aittir [10].

Kent içinde etkin, sağlıklı ve ekonomik bir ulaştırma sisteminin kurulması gerekir. Bu amaçla taşıtlara değil insana öncelik veren, yatırım ve işletmecilikte kaynakların verimli ve etkin kullanımını sağlayan, mevcut ulaşım altyapısının kapasitesini en üst düzeyde kullanan, çevresel, kentsel, insani ve tarihi değerleri bozmayan aksine koruyan ve destekleyen, toplumun farklı kesimleri arasındaki eşitliği sağlamada katkıda bulunan ve modern teknolojileri kullanan ulaşım türlerinin kullanılmasına öncelik verilmelidir [10].

Bu konuda literatürde yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. Çelik, Aydın ve Gümüş [11] raylı taşıma sistemlerinde müşteri memnuniyetini etkileyen faktörleri incelemişler, bulanık kümeler ve VIKOR yardımıyla İstanbul'da beş raylı taşıma hattında müşteri memnuniyetini ölçmüşlerdir. Çelik ve diğ. [12] ise TOPSIS ve GRA tabanlı aralık Tip 2 çok kriterli karar verme metodunu kullanarak İstanbul'da toplu taşımacılıkta müşteri memnuniyetini ve tercihlerini [IETT, özel halk otobüsü, metrobüs, otobüs şirketi] değerlendirmişlerdir.

Cirit [13] doruk tek yön yolculuk talebini esas alarak ürettiği dört farklı senaryoya göre ve CO2 emisyonları açısından toplu taşıma sistemlerini (otobüs, metrobüs, tramvay, HRS ve

metro) karşılaştırmıştır. Farklı yolculuk taleplerine ve güzergâh uzunluklarına göre toplu taşıma sistemlerinin seçimine yönelik bir analiz yapmıştır. Saatçioğlu ve Yaşarlar [14] İstanbul'da ulaşım sorununun temel nedenlerini ve etkilerini ele almışlar ve karayolu, raylı ulaşım ve denizyolu ulaşımına ilişkin çeşitli çözüm ortaya koymuşlardır. Tanış ve Ögüt [15] ilk olarak; küçük, orta ve büyük ölçekli kent kavramları üzerinde durmuşlar, nüfus-toplu taşıma ilişkisi inceleyerek ve toplu taşıma türlerini (normal otobüs, özel, otobüs, tramvay, HRS ve metro) çeşitli yönlerden (kapasite, yatırım maliyeti ve işletme maliyeti) karşılaştırmışlardır. Şenlik [16] Kent içi toplu taşıma sistemlerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan ölçütleri teknolojik, ekonomik ve çevresel özellikler olarak üç ana başlıkta toplayarak toplu taşıma sistemlerini (normal otobüs, özel, otobüs, tramvay, HRS ve metro) değerlendirmiştir. Gümüş ve Yılmaz [17] İstanbul Boğazında yüksek hızlı toplu taşıma için deniz taşıtı seçimi problemini VAHP ve ANP yöntemlerini entegre ederek incelemişlerdir. Aydın ve Kahraman [18] hibrit çok kriterli karar verme yaklaşımını kullanarak Ankara'da toplu taşıma için araç seçimi problemini incelemişlerdir. Değerlendirme kriteri olarak ekonomik, sosyal ve teknolojik faktörleri kullanmışlardır. Yılmaz [19] kent içi ulaşımında en önemli aktörlerden birisi olan kent içi otobüs taşımacılığına odaklanarak ve aksiyomlarla tasarım yöntemini kullanarak, kent içi otobüs taşımacılığı hat planlaması probleminin çözümü için yeni bir yol haritası önerisi geliştirmeye çalışılmıştır.

2.1 Toplu taşıma sistemleri

Toplu taşıma sistemleri karayolu, raylı sistem ve deniz yolu olmak üzere üç alt türde sınıflandırılmaktadır. Türkiye'de kent içi ulaşımın belkemiğini karayolu sağlamaktadır. Örneğin İstanbul'un kent içi ulaşımında karayolu ulaşımı %88.25 gibi büyük bir yüzdeye sahipken, raylı taşıma %8.52 ve deniz taşıması da yaklaşık %2.56'lık bir orana sahiptir [12],[20]. Karayolu toplu taşıma türleri otobüs, dolmuş-minübüs, son dönemlerde yaygın olarak kullanılan metrobüstür [14]. Raylı sistemler ise HRS, tramvaylar, metrolar, banliyö trenleri, manyetik yataklı sistemler ve üst yollu elektrikli, toplu taşıma sistemi olan monoray'dan oluşmaktadır [16].

Otobüsler kent içi yolcu taşımacılığında en çok kullanılan toplu taşıma araçlarıdır. Otobüsler diğer toplu taşıma araçlarına göre daha az altyapı yatırımları gerektirdiğinden ve tek bir hat üzerinde yolcu taşıma zorunluluğu bulunmadığından dolayı yollarda daha rahat hareket olanağı bulabildiğinden tercih edilmektedirler [14]. Dolmuş ve minibüs ise ara yolcu taşıma sistemleri olarak kullanılmakta ve taşıma sisteminin yeterli olmadığı ülkelerde geniş insan kitlelerinin otobüs duraklarında beklemelerini önlemek amacıyla tercih edilmektedirler [4].

Türkiye'deki adı ile Metrobüs, dünyada yaygın olarak kullanılan adı ile Bus Rapid Transit (BRT) yüksek standartlı bir toplu taşıma sistemidir. En önemli özelliği hızlı, rahat, konforlu ve altyapı maliyeti düşük bir toplu taşıma sistemi olmasıdır [21]. Metrobüs, lastik tekerlekli kendisine ayrılmış özel bir yolda hareket eden, elektrik enerjisiyle çalışan, boş ağırlığı 21 tonu bulan, hibrit motoruyla saatte 96 km hıza ulaşan, çevreyle dost, metro ile otobüsün birleşimi ile ortaya çıkmış bir toplu taşıma aracıdır [22].

HRS, tek araba ya da kısa dizi halinde işletilebilen yer seviyesinde ya da yükseltilmiş yollarda, diğer kullanıcılardan ayrılmış kendine ait özel bir yolu olan, kent içi elektrikli

ulaşım sistemidir. Bir sürücü tarafından sinyalizasyon sistemine uygun olarak kumanda edilen, her 600-1000 m mesafede durağı olan, 300 yolcu kapasiteli vagonlara sahip, ortalama 60-80 km/saat hızla kendine ait hatlarda işletilen, saatlik yolcu kapasiteleri 10.000-20.000 kişi arasında değişen raylı toplu taşıma sistemleridir [16]. Tramvaylar, mevcut kent yolları üzerinde dōřenen hatlarda elektrikle çalışan, yol ve trafik durumuna göre bir sürücü tarafından kumanda edilen, daha çok bir adım atılarak binilebilen alçak zeminli araçların kullanıldığı toplu taşıma sistemleridir. Yolcu taşıma kapasiteleri en çok saatte 10.000 kişidir. Ortalama hızları saatte 14-16 km'dir. Durak aralıkları 400-600 m'dir. Kent içinde çevre kirlenmesi ve enerji tasarrufu açısından avantajlıdır [16].

Metro sistemleri ise diğer türlerin ulaşamadığı hızlara ulaşabilir ve genellikle 2-10 vagondan oluşurlar. Diğer toplu taşıma türlerine göre en yüksek kapasiteye sahip (60.000 kişi/saat) sistemdir. Yüksek düzeyde otomasyon gerektirmektedir ve yüksek yatırım maliyetlerine karşılık en düşük işletme giderleriyle çalışmaktadır [16].

Açıklanan toplu taşıma alternatifleri örnekleri şekil 1'de görülmektedir



Metrobüs



Hafif Raylı Sistem



Tramvay



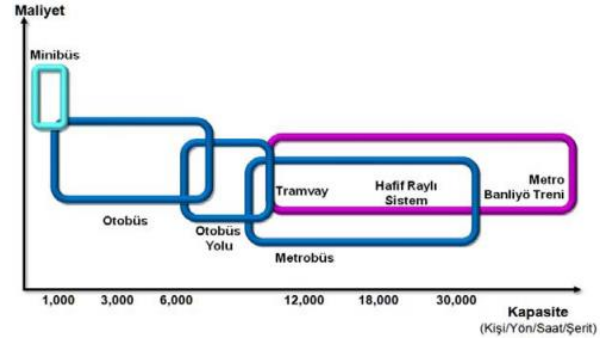
Monoray



Metro

şekil 1: Toplu taşıma alternatifleri.

Toplu ulaşım türlerinin kapasite ve maliyetleri şekil 2'de gösterilmektedir. Buna göre herhangi bir yöndeki en yüksek saatlik yolculuk talep düzeyi 10-12 bin yolcu düzeyine kadar otobüs sistemleri, saatte bir yönde 10-12 bin yolcu düzeylerinde tramvaylar etkin olarak kullanılabilir, talep düzeyleri 18-20 bin yolcu düzeylerine ulaştığında HRS öne çıkmakta, talep düzeyleri 30 bin yolcu düzeylerini aştığında söz konusu koridorun özelliklerine göre metro veya banliyö demiryolu sistemleri optimum ulaşım türleri olmaktadır [23]. Metrobüs lastik tekerlekli taşımacılıkta bir yönde saatte 48 bin yolcu taşıma düzeylerine ulaştığında ve yüksek talep düzeylerinde raylı sistemlere kıyasla daha düşük maliyetlidir.



şekil 2: Kent içi ulaşım türlerinin kapasite ve maliyet ilişkisi [23],[18].

3 Kocaeli'nde toplu taşıma

3.1 Temel bilgiler

Kocaeli, 1,5 milyonu aşkın nüfusu, 12 ilçesi, 1'i büyükşehir, 12'si ilçe belediyesi olmak üzere toplam 13 belediyesi, 243 köyü ve km²'ye düşen 445 kişilik nüfus yoğunluğu ile ülkemizin önemli illerinden biridir [24]. Kocaeli ilinin nüfusu, 2012 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt sistemi sonuçlarına göre 1.634.691 kişidir. Nüfusun 1.527.407 kişisi şehirlerde yaşarken, 107.284 kişisi belde ve köylerde yaşamaktadır. Şehirde yaşayanların oranı %93.4 köyde yaşayanların oranı %6.6'dır [25]. İzmit ilçesinin nüfusu 324.535 kişidir. Bu nüfusun 302.960'ı şehir merkezinde yaşarken 21.575 kişi köylerde yaşamaktadır. İzmit ilçesinde şehirde yaşayanların oranı %93.3 köyde yaşayanların oranı %6.4'tür [25].

3.2 Kocaeli ilinde ulaşım istatistikleri

Kocaeli ili, Türkiye'nin önemli sanayi kuruluşlarının yer aldığı, çalışan nüfusun ve ekonomik faaliyetlerin yoğunlaştığı bölgesel bir merkezdir ve hızlı bir kentsel gelişim göstermektedir. Bu durum kentteki hareketlilik oranlarını artırmakta, gelişen sanayi ve hizmetler sonucunda yolculuk talebi ve araç sahipliğinde artışa neden olmaktadır [26]. Ağustos 2013 verilerine göre bir önceki yıla göre Türkiye'de toplam taşıt sayısı %5.38 artarken, bu oran Kocaeli ilinde %6.72 olarak gerçekleşmiştir [27]. Kocaeli'nin İstanbul ile sınırını oluşturan Gebze ilçesi ve çevresinde önemli sanayi bölgeleri bulunmaktadır. İzmit içinde ise, ilin tüm kentsel merkezini oluşturan bir merkez alanı bulunmaktadır [28].

İzmit ilçesi ulaşım ağı yapısı merkez bölümünde D-100 karayolu ile topografya arasında sıkışmış ve D-100 ile paralel olarak doğu ve batı yönlerinde uzanarak sanayi ve ticari cazibe merkezleri ile kuzey ve güney dağılımları gösterdiği şekil 3'te görülmektedir [29].

Özellikle kent merkezinde ve ana koridorlarda önemli trafik sıkışıkları olmaktadır. Toplu ulaşım sistemi kentte hızla gelişen toplu konut alanlarına paralel olarak geliştirilememektedir. Bu durum konutlar ve merkez arasındaki erişimi zorlaştırmaktadır. Ayrıca, kent merkezindeki toplu taşıma planlaması ve trafik düzenlemelerinin yetersizliğinden dolayı merkez zaten yetersiz olan ana koridorları düşük kapasiteli ara-toplu taşıma türlerinin durakları ve hatta bekleme alanları olarak kullanıldığı görülmektedir [26]. Tüm yolculukların ulaşım türlerine göre dağılımı Tablo 1'de görülmektedir. Kocaeli sınırları içinde günde 2.218.495 kişi yolculuk etmektedir. Bu yolculukların 957.610'u yaya olarak yapılmaktadır. Yaya

yolculukları toplam yolculukların %43.2'sini oluşturmaktadır. Araçlı yolculuklar ise %56.8'ini Yolculukların %21.47'si ise toplu taşıma araçları ile gerçekleştirilmektedir. İzmit ilçesinde ise yolculukların %61'inin araçlı, %39'unun yaya yolculuğu olarak yapıldığı görülmektedir [30].



Şekil 3: İzmit ilçesi ulaşım ağı kademelenmesi [29].

Tablo 1: Tüm yolculukların ulaşım türlerine göre dağılımı.

Ulaşım Türü	Toplam	%
Yaya	957610	43.16
Özel araç	419354	18.90
Servis	323399	14.58
Toplu Taşıma	476416	21.47
Deniz yolu	3115	0.14
Banliyö/tren	15833	0.71
Diğer	47287	2.13
Toplam	2218495	100.00

Tablo 2'de yaya yolculuğu hariç tüm yolculukların ulaşım türlerine ve amaçlarına göre dağılımı görülmektedir. Araçlı yolculuklarda ise en fazla payı %37'lik oranla toplu taşıma almaktadır, bunu %33'lük oranla özel araç ve %25'lik oranla servis kullanımı takip etmektedir [28].

Tablo 2: Kocaeli İlinde araçlı ulaşım türlerinin yolculuk amaçlarına göre dağılımı.

	Ev-İş	Ev-okul	Ev-diğer	Ev bazlı olmayan	Toplam	%
Özel araç	145410	16208	189771	67965	419354	32.6
Servis	228698	73346	11021	10334	323399	25.2
Toplu Taşıma	138239	92563	218832	26782	476416	37.1
Deniz yolu	1425	467	1172	51	3115	0.2
Banliyö/tren	8978	1973	4625	257	15833	1.2
Diğer	16305	1216	12269	17497	47287	3.7
Toplam	539055	185773	437690	122886	1260885	100.0

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin sorumluluk alanında; toplu taşıma araçları farklı işletme yapılarında (kooperatif, meslek odaları denetiminde, özel işletmeci), farklı statülerle (M plaka, ihaleli, kiralık ve hiçbir statüye tabi olmayan), farklı türlerde (midibüs, minibüs, dolmuş), farklı hizmet alanlarında (çevre ve köy yerleşmelerinden ilçe merkezine, sektör içi ve İzmit kent merkezine) faaliyet göstermektedir [28]. Özel taşımacılığın toplu taşımadaki payı %93'tür. Belediye otobüslerinin toplu taşımadaki payı %7'dir [30]. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde 137 adet belediye otobüsü, 1660 adet özel halk otobüsü, 377 adet minibüs ve 32 adet taksi dolmuş çalışmaktadır [29],[30]. Bu araçların taşıdıkları yolcu sayısı ise 476.415 kişi/gün'dür. Servis araçlarının toplamı 5.340 (toplu taşıma araçlarının 2.5 katı), taşıdıkları yolcu sayısı 328.398 kişi/gün'dür (toplu taşımanın %68'i) [30]. Toplu taşıma türleri kullanım durumları Tablo 3'te görülmektedir. Toplu taşıma araçları içerisinde en yoğun kullanılan toplu ulaşım araç türünün özel halk

otobüsleri (Kocaeli Geneli %78.9, İzmit'te %81.6) olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Kocaeli geneli ve izmit ilçesi toplu taşıma türleri kullanım durumları.

	Araç sayısı (adet/gün)	Kişi sayısı (kişi/gün)	Kişi %
KOCAELİ			
Özel halk otobüsü	42587	515231	78.9
Belediye otobüsü	7482	95205	14.6
Dolmuş-minibüs-midibüs	8833	42482	6.5
Toplam	58902	652918	100.0
İZMİT			
Özel halk otobüsü	25897	292451	81.6
Belediye otobüsü	4371	52615	14.7
Dolmuş-minibüs-midibüs	3960	13454	3.8
Toplam	34228	358520	100.0

Kocaeli kentinde toplu taşıma sistemlerinden en baskın olanı karayolu toplu taşıma türüdür. Toplu taşıma içinde özel halk otobüsleri en yüksek yolcu taşıma hizmeti veren toplu taşıma sistemidir. Bu türün gerek araç yapısı, gerekse durak ve yolcu indirme-bindirme sistemleri incelendiğinde, aslında sistemin bir toplu taşıma felsefesini barındırmadığı ve toplu taşıma tanımına uymadığı görülmektedir. Bu tür ulaşım aktivitelerine toplu ulaşım denmektedir [28]. Böyle bir ulaşım şeklini Kocaeli gibi nüfus ve yoğunluğun yüksek rakamlara ulaştığı şehirlerde uygulamak beraberinde ulaşım problemleri getirmektedir.

4 İzmit ilçesi için uygun toplu taşıma yönteminin aksiyomlarla tasarım ile belirlenmesi

Bu bölümde Kocaeli ili merkez ilçesi İzmit için en uygun toplu taşıma yönteminin seçimi için alternatifler değerlendirilecektir. Bunun için aksiyomlarla tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu bölümde öncelikle Aksiyomlarla Tasarım yöntemi anlatılacaktır. Devamında yöntemin uygulaması gerçekleştirilecektir.

4.1 Aksiyomlarla tasarım

Aksiyomlarla Tasarım; tasarımcılara tasarım problemlerinin yapısının oluşturulmasında ve anlaşılmasında yardım eden; bu sayede uygun tasarım ihtiyaçlarının, çözümlerinin ve süreçlerinin sentezlenmesini ve analizlerinin yapılmasını sağlayan yılında Suh tarafından ortaya koyulmuş bir tasarım metodudur [31]. Yöntemin temel amacı bilimsel bir temel dahilinde tasarımların ortaya konulmasını ve bu doğrultuda tasarım faaliyetlerinin sürdürülmesini desteklemektir.

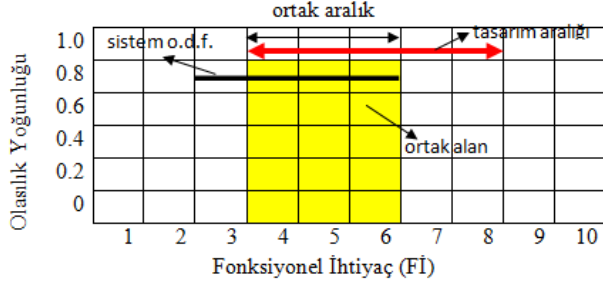
Aksiyomlarla Tasarım yöntemine göre iyi bir tasarım "Bağımsızlık Aksiyomu" ve "Bilgi Aksiyomu" olarak adlandırılan iki aksiyom tarafından yönlendirilir. Bağımsızlık Aksiyomu, en uygun tasarımın fonksiyonel ihtiyaçlar kümesinin bağımsızlığını sağladığını savunur. Bilgi Aksiyomu ise en uygun tasarımın minimum bilgi içeriğine sahip olmasını gerektirir.

Bağımsızlık Aksiyomu, tasarım amaçlarını karakterize eden bağımsız fonksiyonel ihtiyaçların minimum sayısı olarak tanımlanan fonksiyonel ihtiyaçların bağımsızlığının sürekli korunması gerektiğini savunur. Bilgi Aksiyomu, bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarımlar arasından minimum bilgi içeriğine sahip tasarımın en iyi tasarım olduğunu savunur [32].

Bilgi içeriği I , verilen bir fonksiyonel ihtiyaç (F_i)'yi sağlama olasılığı ile tanımlanır. Eğer verilen bir F_i 'yi sağlama başarısının olasılığı p ise, olasılıkla ilgili bilgi içeriği I , Denklem (1) ile ifade edilir [33].

$$I_i = \log_2 \frac{1}{P_i} = -\log_2 P_i \quad (1)$$

Karşlanması gereken çok sayıda fonksiyonel ihtiyaç olduğunda, bilgi içeriğinin eklenebilmesi için logaritmik fonksiyon seçilmiştir. n tane F_i olduğundan toplam bilgi içeriği tüm bu olasılıkların toplamıdır. Tüm olasılıklar toplamı 1'e eşit olduğunda bilgi içeriği sıfırdır. Bir ya da daha fazla olasılık sıfıra eşit olduğunda ise gerekli bilgi sonsuzdur. Bu olasılık düşük ise, fonksiyonel ihtiyaçları karşılamak için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir [32]. Gerçekleşme olasılığı, F_i için tasarım aralığı (d_r) belirterek ve F_i 'yi sağlayacak tasarım için sistem aralığını (s_r) belirleyerek hesaplanabilir. Şekil 4'te bir F_i 'nin sistem olasılık dağılım fonksiyonu uniform olduğunda, tasarımcının belirlediği "tasarım aralığı" ve sistemin gerçekleştirdiği "sistem aralığı"nın keşiştiği bölgenin kabul edilebilir çözümün bulunduğu alan olduğu görülmektedir [33].



Şekil 4: Tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve F_i 'nin sistem olasılık dağılım fonksiyonu [33].

Sistem olasılık dağılım fonksiyonu uniform olduğu durumda F_i 'nin gerçekleşme olasılığı Denklem (2) ile hesaplanır:

$$p_i = \text{ortak aralık} / \text{sistem aralığı} \quad (2)$$

Denklem (2)'den, bilgi içeriği şu şekilde hesaplanır:

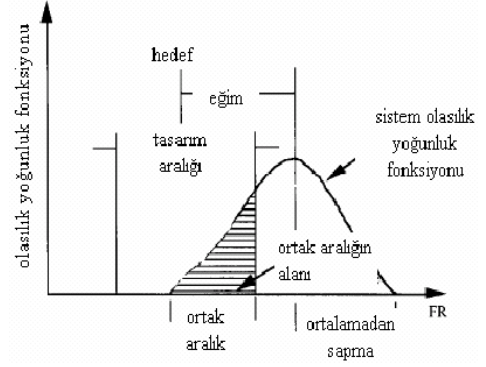
$$I_i = \log_2 (\text{sistem aralığı} / \text{ortak aralık}) \quad (3)$$

Eğer F_i sürekli tesadüfi değişken ise, $p_s (F_i)$ her F_i için sistem olasılık yoğunluk fonksiyonu iken, tasarım aralığındaki F_i 'yi gerçekleştirme olasılığı Denklem (4) ile hesaplanır:

$$p_i = \int_{dr1}^{dru} p_s(F_i) dF_i \quad (4)$$

Denklem (4), sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonunun integralini alarak bütün sistemin aralığının gerçekleşme olasılığını verir.

Şekil 5'te sistem aralığı belirlenmiş F_i 'ye karşı bir olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir. Tasarım aralığı ve sistem aralığı arasındaki keşişim bölgesi ortak alan (C_r) olarak gösterilir ve bu alan sadece fonksiyonel ihtiyaçların sağlandığı bölgedir. Sonuç olarak, sistem aralığının altındaki alanın, ortak aralığın altındaki alana bölümü, tasarımın belirlenmiş hedefinin gerçekleşme derecesinin olasılığına eşittir [33].



Şekil 5: Tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve F_i 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu [33]

$$I = \log_2 (A_{sr} / A_{cr}) \quad (5)$$

Denklem (5)'te A_{sr} sistem aralığının altındaki alanı, A_{cr} ortak aralığın altındaki taralı alanı ifade eder. Sistem alanı, sistemin sahip olduğu özelliği, keşişim alanı ise sistemin sahip olduğu özelliklerin sistemden bekleneni ne oranda sağladığını göstermektedir. Genellikle $A_{sr} = 1.0$ olduğundan sağlanacak n tane F_i olduğu için bilgi içeriği Denklem (6) ile ifade edilir:

$$I = \log_2 (1 / A_{cr}) \quad (6)$$

Aksiyomlarla Tasarım yöntemi ile bilgi içerikleri hesaplanırken, ölçüt değerlerinin farklı ağırlık değerine sahip olduğu durumlarda bilgi içeriklerini hesaplamak için mevcut formülasyonlara ek olarak Denklem (7) kullanılır [34].

$$I_{ij} = \begin{cases} \left[\log_2 \left(\frac{1}{P_{ij}} \right) \right]^{1/w_j}, & 0 \leq I_{ij} < 1 \\ \left[\log_2 \left(\frac{1}{P_{ij}} \right) \right]^{w_j}, & I_{ij} > 1 \\ w_j, & I_{ij} = 1 \end{cases} \quad (7)$$

Literatür incelendiğinde, Aksiyomlarla Tasarım yöntemi ve ilkeleri kullanılarak, ergonomi [35],[36], sistem tasarımı [33], ürün tasarımı [38],[39], üretim sistemleri tasarımı [40],[41], karar verme [42],[43],[34], yazılım [45] vb. birçok alanda çalışmalara rastlanmaktadır. Aksiyomlarla tasarım yöntemi hakkında daha detaylı bilgi için [22],[37],[40],[44],[45]'nolu kaynaklar incelenebilir.

Kent içi ulaşımda kullanılabilecek alternatif taşıma araçlarının belirlenmesi sürecini etkileyecek kriterlerin; birbirinden bağımsız olması, diğer bir ifadeyle birbirleri üzerinde etkilerinin olmaması aksiyomlarla tasarımın bağımsızlık aksiyomunu sağlamaktadır. Bu nedenle aksiyomlarla tasarım yönteminin çalışmada kullanılması uygun olmuştur. Bununla birlikte, alternatiflerin değerlendirme kriterlerine göre değerlerinin bir aralık olarak ifade edilmesi, yine aksiyomlarla tasarım yönteminin değerlendirme sürecindeki sistem aralığı değerleri ile benzerlik gösterdiğinden aksiyomlarla tasarım yönteminin karar probleminin çözümünde kullanılması uygundur. Ayrıca karar probleminde çoklu kriterler kullanılarak alternatifler arasından bir seçim yapılmak istendiğinden, birçok kriterli karar verme tekniği olarak aksiyomlarla tasarım yönteminin problemi bu yönüyle de desteklediği söylenebilir. Bahsedilen sebeplerden dolayı

aksiyonlarla tasarım kent içi ulaşımında kullanılacak toplu taşıma yönteminin belirlenmesi problemi için uygun bir yöntemdir.

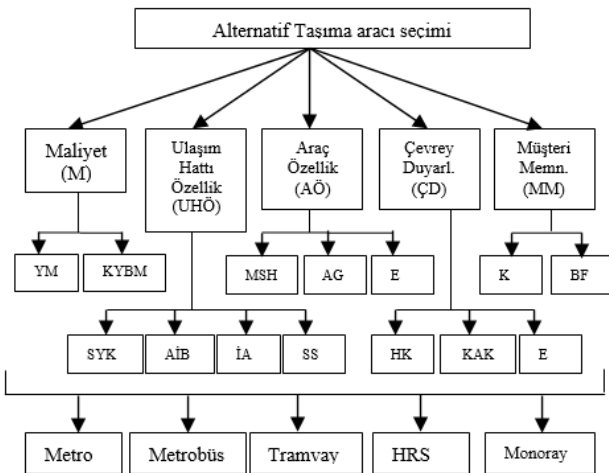
4.2 Uygulama

Bu çalışmada İzmit Belediyesi sınırları içerisinde toplu taşımada yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu bir güzergah için alternatif taşıma araçları arasından seçim problemi ele alınmış ve Ağırlıklı Aksiyonlarla Tasarım yöntemi ile alternatif taşıma aracı seçimi modeli geliştirilmiştir. Ağırlıklı aksiyonlar ile tasarım yöntemi ile gerçekleştirilen çalışmada da alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler ve bu kriterlere ait alt kriterler için ağırlık değerleri ayrı ayrı Saaty tarafından önerilen özvektör yöntemi (AHP yönteminde de kullanılan yöntem) ile hesaplanmıştır. Tüm kriter ve alt kriterler için hesaplanan bu ağırlıklar ile Aksiyonlar ile Tasarım Yöntemi'nin bilgi aksiyomu değerleri ayrı ayrı kriter bazında hesaplanmıştır. Yani bütünleşik kriter ağırlıkları elde edilerek bu değerler yöntem içerisinde kullanılmamıştır. Bu ayrıntı çalışmanın uygulama kısmında Tablo 16'da da görülmektedir. Kahraman ve Çebi [46] tarafından yapılan çalışma da incelenmiş, burada kullanılan yöntem ile alternatifler için bilgi içeriklerinin hesaplanmasında aynı işlem adımları ile mevcut çalışma gerçekleştirilmiştir. Kahraman ve Çebi'nin çalışmasında kullandıkları yöntemden bu makalede kullanılan yöntemin tek farkı, Kahraman ve Çebi'nin çalışmasında bazı kriterlerin bulanık olarak ifade edilmesi ve dolayısıyla hesaplamalarının belirli bölümünde bulanık işlemlerin olmasıdır.

Çalışmayı gerçekleştirmek üzere ulaşım konusunda çalışan akademisyenlerden ve uzmanlardan oluşan 6 kişilik bir çalışma grubu oluşturulmuştur.

4.2.1 Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi

Çalışmada ilk olarak, alternatif taşıma aracı seçim sürecini etkileyecek olan kriterler çalışma grubu tarafından belirlenmiştir. Yapılan beyin fırtınası çalışması sonucunda alternatif taşıma aracı seçimini etkileyecek olan 4 ana kriter ve bunların alt kriterleri Tablo 4'te görüldüğü gibi belirlenmiştir. Bu kriterler çalışma grubu tarafından [12],[16],[17]'nolu yayınlar incelenerek belirlenmiştir. Karar modeli ise Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6: Problemin karar modeli.

Belirlenen bu kriterler doğrultusunda, en uygun taşıma aracını belirlemek için Ağırlıklı Aksiyonlarla Tasarım yaklaşımı kullanılmıştır.

Tablo 4: Alternatif taşıma aracı seçimi için kriterler.

Maliyet (M)	Yatırım Maliyeti (YM)
	Kişi Başına Yıllık Bakım Maliyeti (KYBM)
Ulaşım Hattı Özellikleri (UHÖ)	Saatte Yolcu Kapasitesi (SYK)
	Ana İstasyon Büyüklüğü (AİB)
	İstasyon Aralıkları (İA)
	Sefer Sıklığı (SS)
Araç Özellikleri (AÖ)	Maksimum Seyir Hızı (MSH)
	Araç Genişlikleri (AG)
	Km Başına Enerji (E)
Çevreye Duyarlılık (ÇD)	Hava Kirliliği (HK)
	Kentsel Alan Kullanımı (KAK)
	Gürültü (G)
Müşteri Memnuniyeti (MM)	Konfor (K)
	Bilet Fiyatı (BF)

4.2.2 Ağırlıklı aksiyonlarla tasarım uygulaması

Karar verme aşamasında kullanılacak kriterlerin birbirinden farklı önemlerde olduğu durumlarda Ağırlıklı Aksiyonlarla Tasarım yaklaşımı kullanılabilir. Bu yaklaşımın uygulanma aşamasında yapılacak ilk şey kriterlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesidir. Bu sebeple bu çalışmada kriterlerin ağırlıklandırılması için Saaty tarafından önerilen 1-9 önem skalası kullanılmıştır (Tablo 5) [41]. Bu skala yardımıyla kriterlerin ikili karşılaştırmaları çalışma grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma grubunun yaptığı ikili karşılaştırmaların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Tablo 5: Önem skalası.

Önem Değerleri	Tanımları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahiptir
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemlidir
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemlidir
7	1. Faktörün 2. faktöre göre çok güçlü bir öneme sahiptir
9	1. Faktörün 2. faktöre göre mutlak üstün bir öneme sahiptir
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Düzenlenen ikili karşılaştırma matrisleri yine Saaty tarafından önerilen öz vektör yöntemi ile değerlendirilerek kriterlerin ağırlık değerleri elde edilmiştir. Düzenlenen ikili karşılaştırma matrisleri ve elde edilen ağırlık değerleri Tablo 6-12'de verilmiştir.

Tablo 6: Ana kriterler için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

Ana Kriterler	M	UHÖ	AÖ	ÇD	MM	Ağırlıklar (w_i)
M	1	3	4	2	2	0.38
UHÖ	0.33	1	1	0.5	0.5	0.11
AÖ	0.25	1	1	0.33	0.5	0.09
ÇD	0.5	2	3	1	1	0.22
MM	0.5	2	2	1	1	0.20

Tablo 7: Maliyet alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

Maliyet (M)	YM	KYBM	Ağırlıklar (w_i)
YM	1	2.25	0.69
KYBM	0.44	1	0.31

Tablo 8: Ulaşım hattı özellikleri alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

Ulaşım Hattı Özellikleri (UHÖ)	SYK	AİB	İA	SS	Ağırlıklar (w_i)
SYK	1	1.4	1.4	1.667	0.30
AİB	0.714	1	1	0.83	0.22
İA	0.714	1	1	0.83	0.22
SS	0.857	1.2	1.2	1	0.26

Tablo 9: Araç özellikleri alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

Araç Özellikleri (AÖ)	MSH	AG	E	Ağırlıklar (w_i)
MSH	1	0.667	0.5	0.22
AG	1.5	1	0.75	0.33
E	2	1.33	1	0.45

Tablo 10: Çevreye duyarlılık alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

Çevreye Duyarlılık (ÇD)	HK	KAK	G	Ağırlıklar (w_i)
HK	1	1.667	1.25	0.42
KAK	0.6	1	0.75	0.25
G	0.8	1.33	1	0.33

Tablo 11: Müşteri memnuniyeti alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

Müşteri Memnuniyeti (MM)	K	BF	Ağırlıklar (w_i)
K	1	0.83	0.45
BF	1.2	1	0.55

Tablo 12: Tüm kriterlerin birleşik ağırlık değerleri.

Ana Kriterler	Ağırlık	Alt Kriterler	Ağırlık	Birleşik Ağırlık
Maliyet (M)	0.38	YM	0.69	0.26
		KYBM	0.31	0.12
Ulaşım Hattı Özellikleri (UHÖ)	0.11	SYK	0.30	0.033
		AİB	0.22	0.024
		İA	0.22	0.024
		SS	0.26	0.029
Araç Özellikleri (AÖ)	0.09	MSH	0.22	0.02
		AG	0.33	0.03
		E	0.45	0.04
Çevreye Duyarlılık (ÇD)	0.22	HK	0.42	0.092
		KAK	0.25	0.055
		G	0.33	0.073
Müşteri Memnuniyeti (MM)	0.20	K	0.45	0.09
		BF	0.55	0.11

Çalışma kapsamında kullanılacak olan tüm kriterlerin ağırlık değerleri Tablo 12'de görüldüğü şekilde elde edilmiştir.

Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu yardımıyla alternatiflerin sahip olduğu bilgi içeriklerinin hesaplanabilmesi için fonksiyonel ihtiyaçların (kriterlerin) tasarım aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla çalışma grubu ile yapılan çalışma sonucunda kriterler için belirlenmiş olan tasarım aralıkları değerleri Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13: Kriterler için belirlenmiş tasarım aralıkları değerleri.

Kriterler (Fonksiyonel İhtiyaçlar)	Tasarım Aralığı
YM	40,000,000 \$'dan fazla olamaz.
KYBM	0.001-0.005 \$ aralığında olmalıdır.
SYK	8000-13000 kişi aralığında olmalıdır.
AİB	30-45 m. aralığında olmalıdır.
İA	300-1500 m. aralığında olmalıdır.
SS	3.5-7 dk. aralığında olmalıdır.
MSH	40-70 km/h aralığında olmalıdır.
AG	2-3 m. aralığında olmalıdır.
E	10000-40000 kwh. aralığında olmalıdır.
HK	8 br.'den fazla olamaz.
KAK	4-15 m. aralığında olmalıdır.
G	65 - 85 dB aralığında olmalıdır.
K	2-5 aralığında olmalıdır.
BF	1-1.80 TL aralığında olmalıdır.

Alternatif taşıma araçlarının, çalışma grubu tarafından belirlenmiş olan kriterler için ortaya koydukları sistem aralıkları değerleri Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14: Alternatif taşıma araçları için sistem aralıkları değerleri.

Kriterler	Metro	Metrobüs	Tramvay	Hafif Raylı Sistem	Monoray
YM (*1,000,000)	15-45 \$	0.625-8	2.5-3	12-35	38-50
KYBM	0.0019-0.0021	0.001-0.012	0.023-0.025	0.0048-0.0072	0.002-0.0025
SYK(*1000)	40-70	10-42	6-12	12-2	0.5-22
AİB	60-80	15-80	30-50	30-50	10-35
İA	1000-1500	400-3200	300-500	600-1000	1200-1800
SS	4-6	2.5-5	5-8	4-8	3-6
MSH	4-120	40-100	18-40	42-85	55-90
AG	2.6-3.05	2.4-2.6	2.2-2.65	2.2-2.65	1.8-2.2
E (*1000)	93.5-220	10-15	27-32	31-70	190-210
HK	0-1	6-12	0-1	0-1	0-1
KAK	3-5	6-20	3-5	3-5	3-5
G	8-95	75-90	64-85	65-80	70-90
K	2-5	3-5	2-4	2-5	1-4
BF	0.85-1.5	0.85-2	0.85-1.5	0.85-1.5	1.5-4.5

Öncelikle her alternatif taşıma aracı seçeneği için Denklem (3) kullanılarak bilgi içerikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bilgi içeriklerine bağlı olarak ise kriter ağırlıkları da göz önünde bulundurularak Denklem (7) yardımıyla ağırlıklı bilgi içeriği değerleri elde edilmiştir. Örneğin, "Metro" seçeneği için "Maksimum Seyir Hızı" kriterinin bilgi içeriği Tablo 9 ve 10'da

verilmiş değerler dikkate alınarak Denklem (3) yardımıyla şu şekilde hesaplanmıştır:

$$I_{MetroMSH} = \log_2 \frac{(120 - 42)}{(70 - 42)} \cong 1.479$$

Diğer kriterler ve alternatif seçenekler için benzer hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen bilgi içeriği değerleri Tablo 16'da verilmiştir. Tablo 12'de verilen kriterlerin ağırlık değerlerinden ve Tablo 16'da elde edilen bilgi içeriği değerlerinden hareketle Denklem (7) kullanılarak her bir alternatif taşıma aracı seçeneğinin ağırlıklı bilgi içeriği değerleri hesaplanmıştır.

Örneğin, "Metro" seçeneği için tüm kriterlerin bilgi içerikleri Tablo 15'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 15: Metro Seçeneği için Bilgi İçerikleri

I_{YM}	= 0.263 < 1 olduğu için, $I_{YM} = (0.263)^{(1/0.26)} \cong 0.006$
I_{KYEM}	= 0
I_{SYK}	= sonsuz
I_{AIB}	= sonsuz
I_{IA}	= 0
I_{SS}	= 0
I_{MSH}	= 1.478 > 1 olduğu için, $I_{MSH} = (1.478)^{(0.02)} \cong 1.008$
I_{AG}	= 0.193 < 1 olduğu için, $I_{AG} = (0.193)^{(1/0.03)} \cong 0$
I_E	= sonsuz
I_{HK}	= 0
I_{KAK}	= 1 olduğu için, $I_{KAK} = w_{KAK} = 0.055$
I_G	= 2.115 > 1 olduğu için, $I_G = (2.115)^{(0.073)} \cong 1.056$
I_K	= 0
I_{BF}	= 0.379 < 1 olduğu için, $I_{BF} = (0.379)^{(1/0.11)} \cong 0$

Tablo 16: Alternatif taşıma araçları için bilgi içeriği değerleri.

Bilgi içeriği	Metro	Metrobüs	Tramvay	HRS	Monoray
I_{YM}	0.263	0	0	0	2.585
I_{KYEM}	0	1.459	sonsuz	3.585	0
I_{SYK}	sonsuz	3.415	0.585	3.322	2.104
I_{AIB}	sonsuz	2.115	0.415	0.415	2.322
I_{IA}	0	1.348	0	0	1
I_{SS}	0	0.737	0.585	0.415	0.263
I_{MSH}	1.478	1	sonsuz	0.619	1.222
I_{AG}	0.193	0	0	0	1
I_E	sonsuz	0	0	2.115	sonsuz
I_{HK}	0	1.585	0	0	0
I_{KAK}	1	0.637	1	1	1
I_G	2.115	0.585	0.070	0	0.415
I_K	0	0	0	0	0.585
I_{BF}	0.379	0.524	0.379	0.379	3.322
$\sum I$	sonsuz	13.405	sonsuz	11.85	sonsuz

Diğer alternatif seçenekler için de benzer hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen ağırlıklı bilgi içeriği değerleri Tablo 17'de verilmiştir. Tablo 17'deki sonuçlar incelendiğinde son satırda yer alan bilgi içerikleri toplamlarından en düşük değere sahip olan "Hafif Raylı Sistem" alternatifi en uygun taşıma aracı olarak belirlenmiştir.

5 Sonuçlar

Aksiyomlarla Tasarım yaklaşımı kriterler için karar vericiler tarafından belirlenen tasarım aralıkları değerlerini kullanmaktadır. Bir alternatifi seçilebilmesi için öncelikle

kriter bazında kendi sistem aralığı değerinin belirlenen tasarım aralığı değeri içerisinde olması gerekmektedir. Bu koşulu sağlamayan alternatif yaklaşımın doğası gereği reddedilmektedir.

Tablo 17: Alternatif Taşıma Araçları için Ağırlıklı Aksiyomlarla Tasarım Yaklaşımı Sonuçları

Bilgi içeriği	Metro	Metrobüs	Tramvay	Hafif Raylı Sistem	Monoray
I_{YM}	0.006	0	0	0	1.280
I_{KYEM}	0	1.046	sonsuz	1.166	0
I_{SYK}	sonsuz	1.041	0	1.040	1.025
I_{AIB}	sonsuz	1.018	0	0	1.020
I_{IA}	0	1.007	0	0	0.024
I_{SS}	0	0	0	0	0
I_{MSH}	1.008	0.02	sonsuz	0	1.004
I_{AG}	0	0	0	0	0.03
I_E	sonsuz	0	0	1.030	sonsuz
I_{HK}	0	1.043	0	0	0
I_{KAK}	0.055	0	0.055	0.055	0.055
I_G	1.056	0	0	0	0
I_K	0	0	0	0	0.003
I_{BF}	0	0.002	0	0	1.141
$\sum I$	sonsuz		sonsuz		sonsuz

Yine Tablo 17'ye bu anlamda bakıldığında "Metro" seçeneği "Saatte Yolcu Kapasitesi", "Ana İstasyon Büyüklüğü" ve "Enerji" kriterlerinin tasarım aralığı değerleri dışında olduğundan, "Tramvay" seçeneği "Kişi Başına Yıllık Bakım Maliyeti" ve "Maksimum Seyir Hızı" kriterlerinin tasarım aralığı değerleri dışında olduğundan ve "Monoray" seçeneği ise "Enerji" kriterinin tasarım aralığı değerleri dışında olduğundan reddedilmiştir.

Raylı sistemler, küçük ölçekli şehirlerden metropollere kadar bir çok değişik nüfus yoğunluklarına ve ulaşım taleplerine de kademeli büyüyeblen yapısı ile toplu taşımaya modern, hızlı, konforlu, emniyetli ve çevreci çözümler getirmektedir [8]. Raylı sistemler incelendiğinde, saatte bir yönde 10-12 bin yolcu düzeylerinde tramvaylar etkin olarak uygulanabilmekte, talep düzeyleri 18-20 bin düzeylerine ulaştığında Hafif Raylı Sistemler öne çıkmakta, talepler 30 bin yolcu düzeylerini aştığında ulaşım talebinin özelliklerine göre metro veya banliyö demiryolu uygun seçenekler olarak karşımıza çıkmaktadır [23].

Dünyada son yıllarda hızla gelişen ve yaygınlaşan, ülkemizde ve Avrupa ülkelerinde Metrobüs olarak adlandırılan lastik tekerlekli taşımacılıkta bir yönde saatte 48 bin yolcu taşıma düzeylerine ulaşılmış olması yüksek talep düzeylerinde raylı sistemlere kıyasla daha düşük maliyetli bir seçeneği ortaya çıkarmıştır [23].

İzmit ilçesi ve Kocaeli ilindeki ulaşım taleplerine ve yoğunluğuna bakıldığında hafif raylı sistemlerin ve metrobüsün uygun bir toplu taşıma aracı olduğu görülebilir. Burada mevcut durumun doğru ve bir şekilde değerlendirilerek ihtiyacın belirlenmesi ve ulaşım probleminin özelliklerine göre iki araçtan hangisinin en uygun olduğuna karar verilmesi gerekmektedir.

6 Teşekkür

Kocaeli ve İzmit ile ilgili ulaşım istatistiklerini paylaştıkları için Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Planlama Etüd Proje Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

7 Kaynaklar

- [1] Özer D, Kocaman S. "İstanbul'un Kent İçi Ulaşımı: Mevcut Durum, Sorunlar ve Öneriler". *Civilacademy*, 6(3), 77-89, 2008.
- [2] Özçelık S. "Şehir İçi Ulaşım ve Otomotiv Sektörü". *TAYSAD Dergi*, 13(60), 4, 2011.
- [3] Lorasokkay MA, Ağırđır L. "Konya Kentiçi Toplu Taşıım Sisteminde Otobüslerin Sorunları ve Çözüm Önerileri". *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 6(4), 1074-1085, 2011.
- [4] Abbasgil E. İstanbul'daki Toplu Taşıımacılık Kapsamında Raylı Sistemlerin Değerlendirilmesi (Esenler-Aksaray Hızlı Tramvay Örneği). Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1991.
- [5] DPT. "Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Kentiçi Ulaşım Alt Komisyonu Raporu". T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye, DPT: 2388-ÖİK: 451, 1995.
- [6] Fidan A. "Sürdürülebilir Toplu Ulaşım Sistemi ve Önemi". *Kent Akademisi Kent Kültürü ve Yönetimi / Elektronik Dergi*, 4, 2011.
- [7] Baykan N, Haldenbilen S, Murat YŞ. "Denizli İlinin Kentiçi Ulaşım Sorunları ve Çözüm Önerileri". *4. Ulaştırma Kongresi*, Denizli, Türkiye, 3-5 Haziran 1998.
- [8] Gökdağ M. "Kentsel Ulaşımında Karayolu ve Raylı Taşıım Sistemlerinin Bazı Önemli Faktörlere Göre Karşılaştırılması". *II. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi*, Ankara, Türkiye, 29 Eylül-2 Ekim 1999.
- [9] KBB Ulaşım Daire Başkanlığı. "Kocaeli Ulaşım Ana Planı Öncelikli Toplu Taşıım Sistemleri Ön Proje ve Fizibilite Etütlerinin Hazırlanması Kocaeli Ulaşım Ana Planı Sonuç Raporu". Kocaeli Belediye Başkanlığı, Ulaşım Daire Başkanlığı, Kocaeli, Türkiye, 2012.
- [10] AREM. "Kentiçi Ulaşım ve Trafik Hizmetlerinin Yeniden Yapılandırılması ve Bazı Trafik Hizmetlerinin Yerel Yönetimlere Devri Araştırması" Proje Raporu, Ankara, Türkiye, 2014.
- [11] İlıcalı M, Camkesen N, Dündar S. "Kentiçi Ulaşımında Toplu Taşımanın Önemi ve İstanbul Örneği". *İzmir Ulaşım Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 8-9 Aralık 2009.
- [12] Celik E, Aydın N, Gumus AT. "A Multiattribute Customer Satisfaction Evaluation Approach for Rail Transit Network: A Real Case Study for Istanbul, Turkey". *Transport Policy*, 36, 283-293, 2014.
- [13] Celik E, Bilisik ÖN, Erdogan M, Gumus AT, Baracılı H. "An Integrated Novel Interval Type-2 Fuzzy MCDM Method to Improve Customer Satisfaction in Public Transportation for İstanbul". *Transportation Research Part E*, 58, 28-51, 2013.
- [14] Cirit F. Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıım Sistemlerinin Karşılaştırılması. Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2014.
- [15] Saatçioğlu C, Yaşarlar Y. "Kentiçi Ulaşımında Toplu Taşıımacılık Sistemleri: İstanbul Örneği". *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(3), 117-144, 2012.
- [16] Tanış M, Öğüt KM. "Orta Ölçekli Kentler İcin Toplu Taşıım Seçeneklerinin Teknik ve Mali Karşılaştırması". *5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu*, Hatay, Türkiye, 2-3 Kasım 2007.
- [17] Şenlik İ. "Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Değerlendirilmesi". *EMO Samsun Şubesi Haber Bülteni*, 14, 23-26, 2013.
- [18] Gumus AT, Yılmaz G. "Sea Vessel Type Selection Via an Integrated VAHP-ANP Methodology for High-Speed Public Transportation in Bosphorus". *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4182-4189, 2010.
- [19] Aydın S, Kahraman C. "Vehicle Selection for Public Transportation Using an Integrated Multi Criteria Decision Making Approach: A Case of Ankara". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(5), 2467-2481, 2014.
- [20] Yılmaz E. "Aksiyomlarla Tasarım İlkeleri Yardımıyla Kentiçi Toplu Taşıım Sistemlerinin Tasarımı". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(1), 9-26, 2006.
- [21] İETT. "İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri". <http://www.iETT.gov.tr> (12.10.2012).
- [22] Kılıoğlu ME. İstanbul Metrobüs Sisteminin Kapasitesinin Artırılması İcin Alınması Gereklı Önlemler. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [23] Ayözen YE. Metro Projelerinde Boyuna Eğimin Yatırım ve İşletme Maliyetleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [24] Öncü E. "Dünyada ve Ülkemizde Kentiçi Raylı Sistem Deneyimleri Işığında İzmir Projelerinin Değerlendirilmesi". *İzmir Ulaşım Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 8-9 Aralık 2009.
- [25] Kocaeli Valiliği. "Kocaeli Emniyet Müdürlüğü". http://www.kocaeli.gov.tr/default_B0.aspx?content=1015 (10.01.2014).
- [26] TÜİK. "Seçilmiş Göstergelerle Kocaeli 2012". Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, Türkiye, 2012.
- [27] Yüksel Proje-Ulaşım Art. "İzmit Kentiçi Trafik ve Ulaşım Düzenleme Projesi Olan Toplu Taşıım Sisteminin Yeniden Yapılanması İşi Raporu". Yüksel Proje-Ulaşım Art, İzmit, 2008.
- [28] TUIK. "Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri". TUIK Kocaeli Bölge Müdürlüğü Haber Bülteni, Ankara, Türkiye, 65, 2013.
- [29] KBB Ulaşım Daire Başkanlığı. "Kocaeli Ulaşım Ana Planı Öncelikli Toplu Taşıım Sistemleri Ön Proje ve Fizibilite Etütlerinin Hazırlanması, Yeni Bilgilerin Toplanması Çalışması Raporu", KBB Ulaşım Daire Başkanlığı, Kocaeli, Türkiye, 2011.
- [30] KBB Ulaşım Daire Başkanlığı. "Kocaeli Ulaşım Ana Planı Öncelikli Toplu Taşıım Sistemleri Ön Proje ve Fizibilite Etütlerinin Hazırlanması Kocaeli Ulaşım Ana Planı Sonuç Raporu", KBB Ulaşım Daire Başkanlığı, Kocaeli, Türkiye, 2010.
- [31] KBB Ulaşım Daire Başkanlığı, "Kocaeli Ulaşım Ana Planı Öncelikli Toplu Taşıım Sistemleri Ön Proje ve Fizibilite Etütlerinin Hazırlanması Kocaeli Ulaşım Ana Planı Sonuç Raporu", KBB Ulaşım Daire Başkanlığı, Kocaeli, Türkiye, 2012.
- [32] Suh NP. *The Principles of Design*. New York, USA, Oxford University Press, 1990.
- [33] Suh NP. "Axiomatic Design Theory for Systems". *Research in Engineering Design*, 10(4), 189-209, 1998.

- [34] Özel B, Özyörük B. "Bulanık Aksiyomatik Tasarım ile Tedarikçi Firma Seçimi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 415-423, 2007.
- [35] Kulak O, Kahraman C. "Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process". *Information Sciences*, 170(2-4), 191-210, 2005.
- [36] Suh NP. "Ergonomics, Axiomatic Design and Complexity Theory". *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 8(2), 101-121, 2007.
- [37] Helander M. G. ve Lin L. "Axiomatic Design in Ergonomics and an Extension of the Information Axiom". *Journal of Engineering Design*, 13(4), 321-339, 2002.
- [38] Bang IC, Heo G. "An Axiomatic Design Approach in Development of Nanofluid Coolants". *Applied Thermal Engineering*, 29(1), 75-90, 2009.
- [39] Lee J, Shin H. "Parameter Design of Water Jet Nozzle Utilizing Independence Axiom". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 222(3), 157-169, 2008.
- [40] Tang D, Zhang G, Dai S. "Design as Integration of Axiomatic Design and Design Structure Matrix". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(3), 610-619, 2009.
- [41] Kulak O, Durmuşoğlu MB. "Hücreyel Üretim Sistemleri Tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım Prensiplerine Dayalı Bütünsel Bir Yöntem". *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 3(6), 33-46, 2004.
- [42] Schnetzler MJ, Sennheiser A, Schonsleben P. "A Decomposition-Based Approach for the Development of A Supply Chain Strategy". *International Journal of Production Economics*, 105(1), 21-42, 2007.
- [43] Celik M, Kahraman C, Cebi S, Er ID. "Fuzzy Axiomatic Design-Based Performance Evaluation Model for Docking Facilities in Shipbuilding Industry: The Case of Turkish Shipyards". *Expert Systems with Applications*, 36(1), 599-615, 2009.
- [44] Kulak O. "A Decision Support System for Fuzzy Multi-Attribute Selection of Material Handling Equipments". *Expert Systems with Applications*, 29(2), 310-319, 2005.
- [45] Kim SJ, Suh NP, Kim S. "Design of Software Systems Based on AD". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 8(4), 243-255, 1991.
- [46] Kulak O, Kahraman C. "Fuzzy Multi-Attribute Selection among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process". *Information Sciences*, 170(2-4), 191-210, 2005.
- [47] Chen D, Chu X, Sun X, Li Y, Su Y. "An Information Axiom Based Decision Making Approach Under Hybrid Uncertain Environments". *Information Sciences*, 312, 25-39, 2015.
- [48] Kahraman C, Cebi S. "A New Multi-Attribute Decision Making Method: Hierarchical Fuzzy Axiomatic Design". *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4848-4861, 2009.