



Akıllı Kampüs Model Önerisi

Emine Elif Nebati^{a1,*}, Zehra Altun^{a2}, Büşra Bilici^{a3}, Sena Atalay^{a4},

^a İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (2023) 5 (1): 32-45

<https://doi.org/10.47769/izufbed.1360200>

¹0000-0002-3950-4279; ²0009-0006-5562-5544; ³0009-0001-7748-5427, ³0009-0001-7748-5427

YAYIN BİLGİSİ

Yayın geçmişi:

Gönderilen tarih: 14 Eylül 2023

Kabul tarihi: 20 Ekim 2023

Anahtar kelimeler:

Akıllı kampüs,

Dijital dönüşüm,

Bulanık AHP,

Bulanık MAIRCA.

ÖZET

Akıllı Kampüs, kullanıcının birincil ihtiyaçlarını desteklemek, daha yüksek beceri kazanmaya zorlamak ve problem çözme için karmaşık sistem etkileşimlerinden oluşan kampüs yaşamında teknolojiyi kullanan bir kavram olarak tanımlanabilmektedir. Akıllı kampüsler, eğitim kurumlarının gelişmiş hizmetler, karar verme, kampüs sürdürülebilirliği vb. için akıllı teknolojileri fiziksel altyapıyla birleştirerek, gelişmelerine olanak tanımaktadır. Kampüs ortamındaki öğretme ve öğrenme sürecinde ve diğer hizmetlerde daha iyi deneyimi desteklemek ve geliştirmek için girişimler içerir. Bu çalışmanın amacı, üniversitelerde, dijital dönüşüm faaliyetlerinin yaygınlaştığı ortamda akıllı kampüs tasarımını etkileyen kriterleri önceliklendirmek ve akıllı kampüs performanslarını karşılaştırmaktır. Çalışma kapsamında, sekiz ana kriter, yirmi sekiz alt kriter ve 3 üniversite belirlenmiştir. Verilerin analizinde, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (B-AHP) ve Bulanık MAIRCA (B-MAIRCA), Bulanık TOPSIS (B-TOPSIS) ve Bulanık CoCoSo yöntemleri tercih edilerek değerlendirilmeler yapılmıştır. Çalışmada önerilen metodoloji ile sektöre ve yazına katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Proposal of Smart Campus Model

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 14 September 2023

Accepted: 20 October 2023

Key words:

Smart campus,

Digital transformation,

Fuzzy AHP,

Fuzzy MAIRCA.

ABSTRACT

Digital transformation activities are spreading in universities as in every field. Smart Campus can be defined as a concept that uses technology in campus life consisting of complex system interactions to support the user's primary needs, to force them to acquire higher skills and to motivate problem solving. Smart campuses enable educational institutions to develop by combining smart technologies with physical infrastructure for improved services, decision making, campus sustainability, etc. It includes initiatives to support and enhance better experience in the teaching and learning process and other services in the campus environment. The aim of this study is to prioritise the criteria affecting smart campus design in universities and to compare their smart campus performances. Within the scope of the study, eight main criteria, twenty-eight sub-criteria and three universities were identified. In the analysis of the data, Fuzzy Analytical Hierarchy Process (B-AHP) and Fuzzy MAIRCA (B-MAIRCA), Fuzzy TOPSIS (B-TOPSIS) and Fuzzy CoCoSo methods were preferred. It is hoped that the methodology proposed in the study will contribute to the sector and the literature.

1. Giriş

Teknolojinin hayatımızdaki yeri günden güne artmaktadır ve insanların hayatları teknoloji sayesinde değişmektedir. Dünyada böylesine hızlı bir değişim varken üniversiteler de bu değişime ayak uydurmak için teknolojinin kullanıldığı alanlar oluşturmada ve teknolojiye faydalanma konusunda birbirleri ile yarışır durumdadırlar.

Üretkenliği geliştiren ve birlikte çalışma yetisini kazandıran akıllı kampüs ortamı insanı da içine alan ve insandan aktif olarak faydalanan bir ortamdır. Akıllı kampüs, akıllı öğrenme ortamı

oluşturarak vatandaşları akıllı iş gücüne çevirerek akıllı şehir oluşumunun da ayrılmaz bir parçasıdır (Dong ve diğerleri, 2020). İçerisinde çeşitli işlevler ve sosyal alanlar barındıran, farklı ihtiyaçlara ve isteklere sahip insanların bulunduğu dinamik bir yapı olan üniversiteler günümüz teknolojileriyle akıllı ortam oluşturmaya müsaittirler. (Altun ve Zencirkiran, 2021). Akıllı kampüs, öğrenim akışını, araştırmayı ve öğrenci tecrübesini geliştirmek için olanaklar sağlayabilen etkin teknoloji ve yeterliliğe sahip bir kampüs alanıdır. Akıllı kampüs kavramı, akıllı teknolojiler çerçevesinde öğrenciler, çeşitli topluluklar ve çevre olarak açıklanmaktadır. (Nobrega vd,

* Sorumlu yazar:

E-mail adresi: emine.nebati@izu.edu.tr (Emine Elif Nebati)

Bu çalışmanın bir bölümü, İZÜ BAP-2023-18 no'lu proje kapsamında desteklenmektedir.

2022).

Akıllı kampüslerde nesnelere interneti kullanılır. Makine, nesne ve robotların birbiriyle iletişim kurmasıyla oluşturulan sistemler sayesinde öğrencilerin öğretim görevlilerinin ve kampüs personelinin günlük yaşamı kolaylaşmış olur. Akıllı kampüs, üniversite yerleşkelerinin ve alanda bulunan binaların daha akıllı, verimli ve güvenli şekilde işletilmesine fayda sağlar. Bu bağlamda kampüs içi organizasyonel yapılar birbirleriyle etkileşim sağlayarak alt öğeleri tek merkezden bütünlük şeklinde yöneterek hizmet sunar. Akıllı kampüsler küreselleşen dünyada gelişen teknoloji ile üniversitelerde olması ve geliştirilmesi gereken sistemlerdir. (Nobrega vd., 2022). Yenilikçi bir yaşam stiline oluşturulmasında üniversiteler, sürdürülebilir ve teknolojik çalışmalar ile gelişim sürecine en fazla katkı sağlayan alanlardır. Bu nedenle akıllı eğitim sisteminin üst düzey biçimi ve akıllı şehirlerin ise küçük uygulama alanları olarak akıllı kampüs kavramı dünya çapında giderek daha fazla ilgi görmektedir. (Kostepen vd., 2020; Çelebi vd., 2020). Akıllı kampüs uygulamaları verilerden elde edilen bilgileri kullanarak varlıkları ve kaynakları daha verimli şekilde yönetir. Böylelikle kampüsteki yaşam kalitesi artırılarak daha etkin ve sürdürülebilir bir ortam oluşturulur.

Bu çalışmanın amacı, akıllı şehirlerin küçük ölçekli yerleşkeleri olan akıllı kampüslerin tasarımında kriter önceliklerini belirlemek ve akıllı kampüs performanslarını karşılaştırmaktır. Önerilen modelde, öncelikle literatür kaynakları göz önünde bulundurulmuş ardından teknolojinin güncellik, popülerlik ve kampüs içi ihtiyaç düzeyi ve uygulanabilirliği gözetilerek 8 ana ve 28 alt kriter belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, akıllı kampüslere ilişkin kriterlerin önem ağırlıklarının elde edilmesi Bulanık AHP yöntemi ile yapılmıştır. Ardından akıllı kampüs alanında faaliyetler yürütmekte olan 3 üniversite ele alınarak Bulanık MAIRCA yöntemi ile en iyi akıllı kampüs seçimi yapılmıştır. Çalışmanın güvenilirliği için, duyarlılık analizi ve Bulanık TOPSIS, Bulanık CoCoSo yöntemleri ile karşılaştırmalı analiz yapılmış elde edilen sonuçlar ve öneriler paylaşılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde akıllı kampüs uygulamalarına ait literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, akıllı kampüs tanımı yapılarak akıllı kampüs teknolojileri ve uygulamalarına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, kullanılmış yöntemlere ilişkin teorik bilgilere yer verilmiştir. Beşinci bölümde, uygulama yer almaktadır. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen sonuç ile öneriler paylaşılmıştır.

2. Literatür Taraması

Çalışma kapsamında Akıllı kampüs uygulamaları için, 2016-2022 yılları arasında "Akıllı Kampüs, Bulanık AHP, Bulanık MAIRCA, Bulanık TOPSIS" anahtar kelimelerinin kullanıldığı araştırmalar incelenmiştir. Anagnostopoulos, 2022 yılındaki çalışmada, kampüsteki her yerin merkezi Wi-Fi kontrol ünitesine bağlı olduğu bir akıllı kampüs sistemi önermektedir. Çalışma kampüs güvenliğini ve raporlamasını iyileştirmek için bir mobil kitle kaynak sistemini anlamak ve tasarlamak için hesaplamalı bir bilişsel modelleme yaklaşımı önermektedir (Anagnostopoulos, 2022).

Lu ve Wu, 2022 yılında yaptıkları çalışmada, blockchain teknolojisine dayanan akıllı kampüs mimarisini önermiştir. (Lu ve Wu, 2021). Gao, 2022 yılında yapılan çalışmada, ZigBee sensör ağ teknolojisine dayalı akıllı kampüs öğretim sistemini analiz etmiş, akıllı kampüste kullanılacak bir ağ sistemi yapısı oluşturmuş ve analizler doğrultusunda sistemin iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir (Gao, 2022). Chen, 2022 yılında yapılan çalışmada, akıllı kampüs

fikirlerinin teknolojiye dayandığını vurgulayarak önerilen optimum depolama bilgi işlem performansı olan kampüsün gelecekteki gelişimi için akıllı tavsiyeler vermesini önermiştir (Chen, 2022). Doğan ve diğerleri, 2021 yılındaki çalışmada, sürdürülebilir ve akıllı bir kampüs için sistematik olarak bir yazılım geliştirmiştir (Doğan vd., 2021). Altun ve Zencirkıran, 2021 yılındaki çalışmada, "akıllı (smart)" ifadesi, akıllı şehirlerin özellik ve bileşenlerini incelemiş, akıllı kentlerin akıllı kampüslerin mini bir versiyonu olduğu kavramından yola çıkarak, Türkiye ve dünyadaki teknolojileri ve uygulamalı örneklerini incelemiştir (Altun ve Zencirkıran, 2021). Hidayat ve diğerleri, 2021 yılındaki çalışmada Pagliaro'nun akıllı kampüs modelini, akıllı şehir konseyinin akıllı şehre hazırlık çerçevesi ile birleştirilerek bir akıllı kampüs modeli geliştirmişlerdir. (Hidayat vd., 2021). Adenle ve diğerleri, 2021 yılındaki çalışmada, Nijerya'daki benzer ortamlara sahip başka yerlerdeki yükseköğretim kurumlarının akıllı kampüslerinin planlanmasında ulaşımı en önemli sürdürülebilirlik özelliği olarak önceliklendirerek, Afrika akıllı şehir gündemine ulaşmak için mekansal veri altyapısının geliştirilmesini önermişlerdir. (Adenle vd., 2021). Kourgiouzou ve diğerleri, 2021 yılındaki çalışmada, akıllı enerji kampüslerinin bütünsel değerini bir araya getirmeyi amaçlayarak akıllı enerji kampüsünün alımını yönlendirmek için kapsamlı bir inceleme gerçekleştirmişlerdir (Kourgiouzou vd., 2021). Fudzee ve diğerleri, 2021 yılındaki çalışmada, akıllı kampüs alanını takiben uygulanan akıllı kampüs girişimlerini belirlemek için Malezya'daki üniversitelerden gelen literatür ve kaynaklar incelenmiştir (Fudzee vd., 2021).

Çelebi ve Bahadır, 2020 yılındaki çalışmada, Aksaray Üniversitesi Kampüsünde akıllı kampüs ve akıllı kent kavramları arasındaki bağlantıyı inceleyerek geri dönüşüm sistemleri, sürdürülebilirlik ve verimlilik uygulamaları hakkında incelemeler gerçekleştirmiştir (Çelebi ve Bahadır, 2020).

Şimşek ve Keskenler 2020 yılında yapılan çalışmada, akıllı kampüs uygulamalarının yükseköğretimde kampüslerin dijitalleşmesi konusunda önemli faydalar sağladığını belirtilmiştir (Şimşek ve Keskenler, 2020). Min Allah ve Alrashed, 2020 yılındaki çalışmada, yükseköğretim kurumlarının yönetimlerine, mevcut altyapılarını akıllı kampüs konseptine göre değerlendirme ve konumlandırma konusunda bir anlayış sağlanması ve yaygınlaştırılması belirtilmiştir. (Min Allah ve Alrashed, 2020). Alrashed, 2020 yılında yapılan çalışmada, akıllı şehirleri, akıllı mikro şebekeleri, şehir sıralama sistemlerini ve akıllı kampüslerle ilgili literatürü incelemiş ayrıca bir üniversite kampüsünün ana iş sürecini desteklemek için KPI'lar önermiştir (Alrashed, 2020). Ahmed ve diğerleri, 2020 yılında yapılan araştırmada, geleneksel bir kampüsü akıllı kampüse dönüştürmek için yapılması gerekenleri sunmuştur (Ahmed vd., 2020). Kostepen ve diğerleri, 2020 yılında yaptıkları araştırmada, akıllı ve sürdürülebilir bir kampüs oluşturmak için bir yol haritası sunmuştur. Çalışmada akıllı kampüs geliştirilmesi için mimari yapı ve uygulama sürecini içeren bir çerçeve ortaya koymuştur (Kostepen vd., 2020). Fraga-Lamas ve diğerleri, 2019 yılında yapılan araştırmada, yeni nesil akıllı kampüslerin ve üniversitelerin geliştirilmesinde rol oynayan üniversite planlayıcılarına, IoT satıcılarına ve geliştiricilere faydalı olabilecek içerikte bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. (Fraga-Lamas vd., 2019). Wang ve diğerleri, 2018 yılındaki çalışmada akıllı kampüsün göze çarpan özelliklerini teknoloji, iş ve inşaat modu perspektifinden incelemiş ve akıllı bir kampüs mimarisi modeli önermiştir. Çalışmada kolejlerde ve üniversitelerde akıllı kampüs inşası için referans modeli sağlayan akıllı kampüs eğitimi veri toplama ve depolama platformunun çerçeve modeli oluşturulmuştur. Nachandiya ve diğerleri, 2018 yılındaki çalışmada, akıllı bir kampüsün geliştirilmesinde büyük

veri, bulut bilişim, mobil bilişim, ağ altyapısı gibi akıllı teknolojilerin rollerini incelemiştir. Akıllı kampüs sistemi için konsept tasarım yapısı akıllı cihaz, akıllı uygulama, büyük veri, ağ iletişimi ve sistem güvenliği katmanlarına ayrıştırılarak yorumlanmıştır (Nachandiya vd, 2018). Alghamdi, 2016 yılındaki çalışmada, bu alanda yürütülen araştırmaları incelemiş, aynı zamanda akıllı kampüs ile ilgili zorlukları araştırarak olası araştırma fırsatları sunmuştur. (Alghamdi, 2016). İncelen çalışmalar değerlendirildiğinde, bildiğimiz kadarıyla sunulan modeli önerilen metodoloji ile ele alan çalışmaya rastlanmamıştır. Dijital dönüşüm uygulamalarının her geçen gün yaygınlaştığı bu süreçte, çalışmada önerilen modelin hem eğitim sektörüne hem de yazına katkı sağlayacağı umulmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, önerilen metodoloji kapsamında, kriterlerin önem ağırlıklarının elde edilmesinde Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) yönteminden faydalanılırken, üniversitelerin sıralanmasında Bulanık MAIRCA yönteminden faydalanılmıştır. Öncelikle, çalışmada kullanılan yöntemlere ilişkin teorik bilgiler paylaşılmıştır. İlerleyen bölümlerde, çalışmanın güvenilirliğini ve sonuçların tutarlılığını göstermek için duyarlılık analizi ve karşılaştırma analizine yer verilmiştir.

3.1. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) Yöntemi

Bulanık AHP, belirli kriterlere göre en iyi seçeneği belirlemek için bulanık küme teorisini AHP algoritmasına uygulayan bir tekniktir. Bu yöntem Chang'ın (1996) rank analizine dayanmaktadır. Birçok araştırmacı bu yöntemin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur (Karakul, 2019). Özellikle problemlerin tam olarak tanımlanmadığı veya bu problemlerin çözülmesinin belirsizlik durumunda karar vermeye tam uygun olmadığı durumlarda AHP' nin bulanık mantıkla birleştirilmesiyle Bulanık Analitik Hiyerarşik Süreci (Fuzzy AHP) ortaya çıkarılmıştır (Kiraz vd., 2018). Bu yöntem, karar vermede nicel ve nitel kriterleri değerlendirebilen matematiksel bir yöntemdir. Karar verme sürecinde grup veya birey tercihlerini, deneyimleri, sezgileri, bilgileri, yargıları ve düşünceleri sürece dahil eder ve karmaşık sorunların hiyerarşik yapı içinde ele alarak çözümlenmesini sağlar. Genel olarak karar vericiler, sabit olandan daha aralıklı kararlar vermeyi daha güvenli bulurlar. Bu şekilde 'bulanık AHP', belirsiz 'bulanık' problemleri çözebilir ve faktörleri ağırlık oranlarına göre sıralayabilir. Bulanık AHP, karar vericilerin bulanıklığı düşünüldüğünde klasik AHP yönteminin sentetik bir uzantısıdır. Bulanık AHP, ikili karşılaştırma prosedüründeki belirsizliği ve özneliği belirtmek için AHP'nin yetersiz kaldığı durumları iyileştirmiştir. (Söyler ve Pirim, 2014). Bulanık AHP kriter ve alternatif ağırlıklarının belirlenmesinde yapısal bir yaklaşım sağlayarak karar vericilerin tercihlerini makul bir aralıkta değerlendirmelerine olanak tanır. Yazında çeşitli alanlarda uygulamaları mevcuttur. (Ballı ve Karasulu, 2013; Kara vd., 2022; Kılıç vd., 2014; Onat ve Kaçtıoğlu, 2019). Çok kriterli karar verme problemlerinin Bulanık AHP metodu ile modellenmesinde Tablo 1'deki aşamalar sırasıyla takip edilmiştir (Kahraman vd., 2004; Tayyar 2012).

Tablo 1. Bulanık AHP akış şeması (Onat ve Kaçtıoğlu, 2019)



Elemanların kümesinin $X = x_1, x_2 \dots x_n$ ve amaç kümesinin de $U = u_1, u_2 \dots u_n$ olduğu kabul edilsin. Chang'ın (1996) mertebeli analizi yöntemine göre, M_{gi}^j ($j = 1, 2, 3, \dots, m$) üçgensel bulanık sayılardır. İkili karşılaştırma matrislerinin ağırlıklarının hesaplanması için adımlar uygulanır.

1. Adım: Her bir eleman için aşağıda gösterildiği gibi m derece analizi değeri elde edilir: Bulanık sentetik derecenin değeri i. değere göre eşitlik (1)'de verildiği şekliyle hesaplanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ İfadelerini elde etmek için m dereceden analiz değerlerinin bulanık ilave matrisinde özel bir matris kullanılır. Bu matrisin matematiksel ifadesi gösterildiği gibidir:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{i=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2)$$

Burada çarpımın ikinci kısmı olan $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ matematiksel ifadesini elde etmek için M_{gi}^j ($j=1, 2, \dots, m$) değerlerinin bulanık ilave işlemi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{i=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3)$$

Eşitlik 4'de ki vektörün tersi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (4)$$

2. Adım: Karşılaştırılması yapılacak M1 ve M2 olmak üzere iki küme olsun. $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ eşitliğinin olabilirlik derecesi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (5)$$

Bu ifade eşitlik 6'ya eşittir:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{eğer } m_2 \geq m_1, \\ 0, & \text{eğer } l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (6)$$

Burada d değeri, μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim değerine sahip noktanın ordinatıdır. M_1 ve M_2 'nin karşılaştırılabilmesinde $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerine ihtiyaç duyulur.

3. Adım: Konveks bulanık bir sayının, k tane konveks bulanık sayı M_i ($i=1,2,\dots,k$)'den büyük olmasının olası derecesi aşağıda gösterildiği gibi tanımlanır:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \quad (7)$$

$$= \min V(M \geq M_i), i=1, 2, 3, \dots, k. \text{ Varsayalım, } k=1,2,3, \dots, n; k \neq i$$

$$\text{için: } d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (8)$$

Bu durumda ağırlık vektörü aşağıdaki gibi olur:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$$

A_i ($i=1,2,\dots,n$) n elemanlıdır.

4. Adım: Normalizasyon yapılarak normalize edilen ağırlık vektörü:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T W \text{ bulanık olmayan bir sayıdır} \quad (9)$$

3.2 Bulanık MAIRCA Yöntemi

MAIRCA, Pamucar ve diğ. tarafından 2014 yılında geliştirilmiştir (Pamucar ve diğ., 2018). Bulanık MAIRCA yöntemi ise, MAIRCA metodundaki belirsizliklerden yola çıkarak 2020 yılında geliştirilmiştir (Boral vd., 2020). Karar vericilerin kriterlerin fayda ya da maliyet gibi nitelikleri hakkında bilgi aranmamaktadır. Yöntem yeni olmakla beraber kısıtlı alanda örnekleri bulunmaktadır [Ayadi vd.,2021; Gül ve Ak,2020: 1231; Gül vd., 2021; Yıldızbaşı vd., 2021]. Bulanık Maırca adımları sırasıyla verilmiştir [Boral vd.,2020: Yıldızbaşı vd.,2021).

Adım 1: Öncelikle, alternatiflerin dilsel ifadelerle değerlendirilmesi sonucu olarak dilsel karar matrisi (D_L) Eşitlik 10'da oluşturulmuştur. L_{mn}^k m kadar alternatifin n kadar kriter altında k kadar değerlendirildiğini ifade eder.

$$D_L = \begin{pmatrix} L_{11}^1 & \dots & L_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{m1}^1 & \dots & L_{mn}^k \end{pmatrix} \quad (10)$$

Adım 2: İlk adımdaki, dilsel karar matrisi kullanılarak bulanık sayılar ile değiştirilir

$$\tilde{D}^{(1)} = \begin{pmatrix} \tilde{A}_{11}^{(1)} & \tilde{A}_{12}^{(1)} & \dots & \tilde{A}_{1n}^{(1)} \\ \tilde{A}_{21}^{(1)} & \tilde{A}_{22}^{(1)} & \dots & \tilde{A}_{2n}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1}^{(1)} & \tilde{A}_{m2}^{(1)} & \dots & \tilde{A}_{mn}^{(1)} \end{pmatrix}, \dots,$$

$$\tilde{D}^{(k)} = \begin{pmatrix} \tilde{A}_{11}^{(k)} & \tilde{A}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{A}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{A}_{21}^{(k)} & \tilde{A}_{22}^{(k)} & \dots & \tilde{A}_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1}^{(k)} & \tilde{A}_{m2}^{(k)} & \dots & \tilde{A}_{mn}^{(k)} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Adım 3: Ağırlıklar kullanılarak Eşitlik 3'teki bütünleşik karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \dots & \tilde{A}_{1m} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & \dots & \tilde{A}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & \dots & \tilde{A}_{mm} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Böylece, $\tilde{A}_{11} = (\tilde{A}_{11}^{(1)} + \tilde{A}_{11}^{(2)} + \dots + \tilde{A}_{11}^{(k)}) / k$ şeklinde hesaplanır.

Adım 4: P_{A_i} seçimine göre tercih belirlenir. Herhangi bir tercih eşit olasılıkla seçilebildiğinden, alternatiflerin her biri için tercihler Eşitlik 13 ile gösterilir.

$$P_{A_i} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{A_i} = 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

Adım 5: Bulanık teorik değerlendirme matrisi (\tilde{T}_{PA}) tanımlı ağırlıklar ve P_{A_i} çarpılması ile elde edilir.

$$\tilde{T}_{PA} = \begin{pmatrix} \frac{1}{m} \tilde{w}_1 & \frac{1}{m} \tilde{w}_2 & \dots & \frac{1}{m} \tilde{w}_n \\ \frac{1}{m} \tilde{w}_1 & \frac{1}{m} \tilde{w}_2 & \dots & \frac{1}{m} \tilde{w}_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{m} \tilde{w}_1 & \frac{1}{m} \tilde{w}_2 & \dots & \frac{1}{m} \tilde{w}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{t}_{p11} & \tilde{t}_{p12} & \dots & \tilde{t}_{pn1} \\ \tilde{t}_{p21} & \tilde{t}_{p22} & \dots & \tilde{t}_{pn2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{pm1} & \tilde{t}_{pm2} & \dots & \tilde{t}_{pmn} \end{pmatrix} \quad (14)$$

Adım 6: Hesaplamalarda sayısal gösterimin güvenilirliğini arttırmak için Eşitlik 15'de denklemler ile normalizasyon yapılır.

$$n_{ij}^l = \frac{a_{ij}^l}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^l)^2]}} \quad (15)$$

$$n_{ij}^m = \frac{a_{ij}^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^m)^2]}}$$

$$n_{ij}^u = \frac{a_{ij}^u}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^u)^2]}}$$

Adım 7: Teorik hesaplama matrisinin bulanık ögeleri hesaplanır. Eşitlik 7'de normalize karar matris ögeleri ve teorik hesaplama matris ögeleri çarpılır.

$$\tilde{T}_{rA} = \begin{pmatrix} \tilde{t}_{r11} & \tilde{t}_{r12} & \dots & \tilde{t}_{rn1} \\ \tilde{t}_{r21} & \tilde{t}_{r22} & \dots & \tilde{t}_{rn2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{rm1} & \tilde{t}_{rm2} & \dots & \tilde{t}_{rnm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{n}_{11} \otimes \tilde{t}_{p11} & \tilde{n}_{11} \otimes \tilde{t}_{p12} & \dots & \tilde{n}_{11} \otimes \tilde{t}_{pn1} \\ n_{21} \otimes \tilde{t}_{p21} & n_{22} \otimes \tilde{t}_{p22} & \dots & \tilde{n}_{12} \otimes \tilde{t}_{pn2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} \otimes \tilde{t}_{pm1} & n_{m2} \otimes \tilde{t}_{p22} & \dots & \tilde{n}_{nm} \otimes \tilde{t}_{pn2} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Adım 8: Her kritere göre her alternatifin değerlendirmesi arasındaki boşluk hesaplanır. Toplam boşluk matrisi Eşitlik 17 ile oluşturulur.

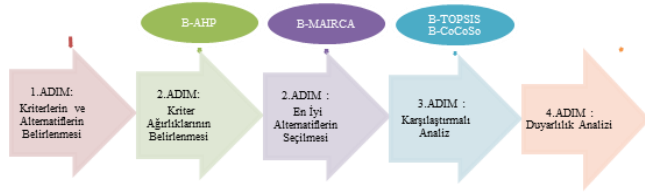
$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \dots & \tilde{A}_{1m} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & \dots & \tilde{A}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & \dots & \tilde{A}_{mn} \end{pmatrix} \quad (17)$$

Adım 9: Son adımda, her kritere göre her alternatifin boşluk değerleri toplanarak kriter fonksiyonlarının nihai değeri hesaplanır. Değerler büyükten küçüğe sıralanır.

$$P_{Ai} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{Ai} = 1 \quad (18)$$

4. Uygulama

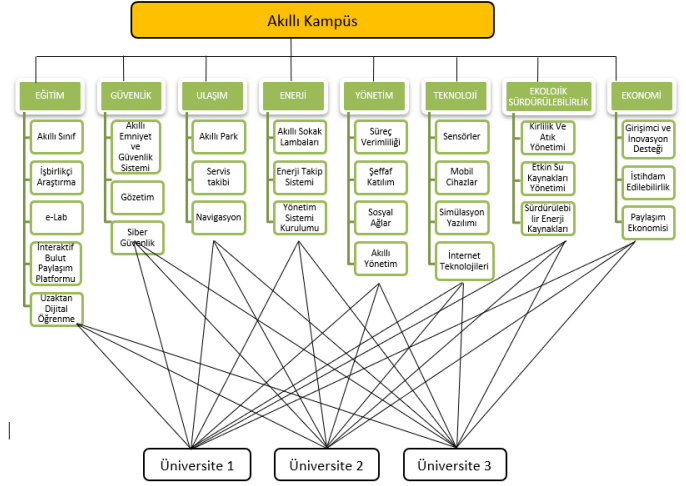
Bu çalışmada, üniversiteler için bir akıllı kampüs modeli önerilmiş ve karşılaştırmalı analiz sonuçları paylaşılmıştır. Öncelikle, akıllı kampüs tasarımında kriter öncelikleri B-AHP yöntemi ile belirlenmiş, ikinci adımda, B-MAIRCA yöntemi ile 3 üniversitenin akıllı kampüs performansları sıralanmıştır. Sonuçlar Bulanık TOPSIS ve Bulanık COCOSO yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Son adımda ise, duyarlılık analizi ile çalışmanın güvenilirliği test edilmiştir. Önerilen metodoloji Şekil 1’de paylaşılmıştır.



Şekil 1. Önerilen metodoloji

4.1. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) Yöntemi

Adım 1: Üniversitelerdeki akıllı kampüs kriter seçimi için alternatifler ve seçim kriterleri belirlenmiştir. Kriterler belirlenirken literatür, akademisyen ve üniversitelerdeki idari personel görüşlerinden faydalanılmıştır. Ulaşım, güvenlik, eğitim, enerji, yönetim, teknoloji, ekolojik sürdürülebilirlik, ekonomi olmak üzere 8 ana kriter ve 28 alt kriter belirlenmiştir. Hiyerarşik yapı Şekil 2’de gösterilmiştir. Kriter açıklamaları Tablo 2’de ve kriterlerin referans tablosu ise EK A1’de verilmiştir.



Şekil 2. Hiyerarşik yapı

Adım 2: Kriterlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesi Kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesinde 5 karar verici görüşünden faydalanılmıştır. İkili karşılaştırma matrisi Tablo 2’de ki dilsel ölçek kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 2. Bulanık analitik hiyerarşi süreci önem ölçeği (Onat, 2019)

Dilsel İfade	Bulanık Sayı	Üçgensel Bulanık Ölçek	Karşılıklı Bulanık Ölçek
Eşit Önem	1	(1,1,1)	(1,1,1)
Ara Değer	2	(1,2,4)	(1/4,1/2,1)
Biraz Daha Fazla Önemli	3	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)
Ara Değer	4	(2,4,6)	(1/6,1/4,1/2)
Kuvvetli Derecede Önemli	5	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Ara Değer	6	(4,6,8)	(1/8,1/6,1/4)
Çok Kuvvetli Derecede Önemli	7	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Ara Değer	8	(6,8,9)	(1/9,1/8,1/6)
Tamamıyla Önemli	9	(7,9,9)	(1/9,1/7,1/7)

Ana kriterler için ikili karşılaştırma sonucu 5 karar verici değerlendirmesinin bulanık sayı karşılıklarının geometrik ortalamaları hesaplanmış ve Tablo 4’te bulanık değerlendirme matrisi verilmiştir.

Tablo 3. Kriter açıklamaları

Ana Kriter	Alt Kriter	Kodlar	Açıklama	Kaynak
Ulaşım	Akıllı Park	K1	Akıllı ulaşım hizmetleri uygulaması sürekli veri akışları sağlamak için her yerde bulunan dış mekân kapsama alanı için gereklidir. Sesli ve görsel komutlarla yönlendirme yaparak parkı kolaylaştırır.	(Alghamdi ve Shetty, 2016); (Lamas ve Caremes, 2019); (Ahmed vd., 2020);(Altun ve Zencirkıran, 2021)
	Servis Takibi	K2	Lojistik, ulaşım, akıllı otobüs durakları gibi tüm kampüs ulaşımının filo takibinin yapılmasıdır.	(Masitah vd., 2021); (Ahmed vd., 2020)
	Navigasyon	K3	Kampüs içi seyrin akıllı kiosklar, ofisler için yön bulma ve tesisler yardımıyla kolaylaştırılmasıdır.	(Ahmed vd., 2020); (Lamas ve Caremes, 2019)
Güvenlik	Akıllı Emniyet ve Güvenlik Sistemi	K4	Güvenlik ve güvenlik kriterleri, bir sorunun "temel nedenini" belirlemeye ve gelecekte oluşmasını önlemeye yönelik sistematik bir yaklaşımdır.	(Alghamdi ve Shetty, 2016); (Nóbrega vd., 2022); (Lamas ve Caremes, 2019); (Masitah vd., 2021); (Ahmed vd., 2020)
	Gözetim	K5	Akıllı güvenlik sistemleri gözetlemektir	(Nachandiya vd., 2018); (Ahmed vd., 2020)
	Siber güvenlik	K6	Sanal saldırılar ile karşılaşma durumlarında dijital tabanlı sistemleri ve bağlantıları koruma altında tutma programıdır.	(Şengün vd., 2019); (Ahmed vd., 2020)
Eğitim	Akıllı Sınıf	K7	Akıllı bir sınıf, iki farklı eğitim uygulamasını sorunsuz bir şekilde entegre ederek uzaktan eğitim ile geleneksel sınıf senaryoları arasındaki boşluğu dolduran bir teknoloji olarak düşünülebilir.	(Nóbrega vd., 2022); (Banu J vd., 2020); (Nachandiya vd., 2018); (Masitah vd., 2021); (Ahmed vd., 2020)
	İşbirlikçi Araştırma	K8	Araştırma için çeşitli üniversiteler, şirketler ve hükümetlerle bağlantı ve iletişim kurmaktır.	(Ahmed vd., 2020)
	e-Lab	K9	Kayıtlı öğrencilerin ve eğitimcilerin erişimine açık olan, bireylere mevcut eğitimlerin metin, video kayıtları ve ders materyallerine ulaşabilme imkanı sağlayan sistemdir.	(Altun ve Zencirkıran, 2021); (Masitah vd., 2021)
	İnteraktif Bulut Paylaşım Platformu	K10	Dünyanın farklı yerlerinden dijital tabanlı sağlanan hizmet, program ve verilerin paylaşımına imkan sağlayan depolama uygulamasıdır.	(Altun ve Zencirkıran, 2021); (Banu J vd., 2020)
	Uzaktan Dijital Öğrenme	K11	Uzaktan dijital öğrenme, çevrimiçi dersler, görsel röportajlar ve bulut sisteminin eğitimde kullanılmasıdır.	(Banu J vd., 2020); (Ahmed vd., 2020)
Enerji	Akıllı Sokak Lambaları	K12	Enerji yönetimi için kampüs aydınlatmasının otomasyonla yapılmasıdır.	(Masitah vd., 2021); (Ahmed vd., 2020)
	Enerji Takip Sistemi	K13	Mevcut sistemde kullanılan sensör, armatür, aydınlatma vb. tüm enerji ve elektronik cihazların yönetimini 7/24 ve detaylı şekilde izleyen uygulamadır.	(Altun ve Zencirkıran, 2021)
	Yönetim Sistemi Kurulumu	K14	Önerilen sistem, elektrik yükleri için bir optimize edici kullanarak gelecekteki Akıllı Kampüsler için enerji yönetimini geliştirmeyi amaçlamaktadır.	(Ahmed vd., 2020)

Yönetim	Akıllı Yönetim	K15	Akıllı Yönetim alanı, kampüs yönetiminin geliştirilmesine odaklanır.	(Altun ve Zencirkıran, 2021); (Banu J vd., 2020); (Masitah vd., 2021); (Ahmed vd., 2020)
	Sosyal Ağlar	K16	Akıllı Sosyal Ağ hizmetleri, paydaşlara etkileşimli bir kampüs hayatı, duyarlı binalar ve spor sahalarına, öğrenci merkezlerine, kütüphanelere ve restoranlara hızlı erişim sağlar.	(Altun ve Zencirkıran, 2021); (Lamas ve Caremes, 2019); (Ahmed vd., 2020)
	Şeffaf Katılım	K17	Kampüsün yıllık olarak katılımı yayınlamasıdır.	(Nóbrega vd., 2022)
	Süreç Verimliliği	K18	Kampüste bir çevrimiçi süreç yönetimi platformu bulunmasıdır.	(Nóbrega vd., 2022)
Teknoloji	İnternet Teknolojileri	K19	Kampüsün, paydaşlarına hizmetler sunmak ve yönetmek için sistemlere (ör. web sayfası) sahip olmasıdır.	(Nóbrega vd., 2022); (Banu J vd., 2020); (Nachandiya vd., 2018)
	Simülasyon Yazılımı	K20	Şirketler içinde geliştirilen 3D Ray-Launching (3D-RL) tekniği, GO ve Tek Tıp Kırınım Teorisine (UTD) dayanmaktadır.	(Fraga-Lamas vd., 2019); (Banu J vd., 2020)
	Mobil Cihazlar	K21	Akıllı kampüs, akıllı bir kampüs bilgi sistemi elde etmek için uygulama katmanını kullanmak üzere akıllı cihazları ve mevcut uygulama sistemlerini entegre eder.	(Banu J vd., 2020); (Nachandiya vd., 2018)
	Sensorlar	K22	Algılama cihazlarıdır.	(Banu J vd., 2020); (Nachandiya vd., 2018)
Ekolojik Sürdürülebilirlik	Kirlilik ve Atık Yönetimi	K23	Atık yönetimi alanında son zamanlarda yayınlanan birçok makale dahil olmak üzere, genellikle çöp kutularına sensörler, analiz için gerçek zamanlı veri toplayan atık kamyonları yerleştirmeyi önerir.	(Alghamdi ve Shetty, 2016); (Alrashed, 2020)
	Sürdürülebilir Enerji Kaynakları	K24	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının kullanımı, kirliliğin azaltılması, enerji arzının güvenilirliği ve çevresel sürdürülebilirlik gibi avantajlara sahiptir.	(Alghamdi ve Shetty, 2016); (Nóbrega vd., 2022); (Altun ve Zencirkıran, 2021); (Lamas ve Caremes, 2019)
	Etkin Su Kaynakları Yönetimi	K25	Bir üniversite kampüsünün kendi topluluğuna sunduğu iki temel ve pahalı hizmet, atık yönetimi ve su sistemleridir ve her ikisinin de IoT kullanan uygun maliyetli hizmetler olma potansiyeli yüksektir.	(Alghamdi ve Shetty, 2016); (Nóbrega vd., 2022); (Altun ve Zencirkıran, 2021); (Lamas ve Caremes, 2019)
Ekonomi	Girişimci ve İnovasyon Desteği	K26	Kampüsün, girişimcilik merkezleri, inovasyon merkezleri, girişimci kuluçka merkezleri, uzmanlaşmış merkezler vb. aracılığıyla iş fikirlerini desteklemesidir.	(Nóbrega vd., 2022); (Kazancı Altınok, 2022)
	Paylaşım Ekonomisi	K27	Paylaşım ekonomisi, çevrimiçi bir platformda insanlar arasında hizmet veya varlık alışverişi yapma fikridir.	(Nóbrega vd., 2022); (Kazancı Altınok, 2022)
	İstihdam Edilebilirlik	K28	Kampüsün istihdam edilebilirliği destekleyen bir departman veya sektöre sahip olmasıdır.	(Nóbrega vd., 2022); (Kazancı Altınok, 2022)

Tablo 4. Ana kriterler için ikili karşılaştırma matrisi

	Ulaşım			Güvenlik			Eğitim			Enerji		
Ulaşım	1,00	1,00	1,00	0,20	0,25	0,39	0,30	0,41	0,65	0,37	0,51	0,78
Güvenlik	2,54	3,94	4,90	1,00	1,00	1,00	0,44	0,58	0,90	0,35	0,57	0,86
Eğitim	1,53	2,41	1,53	1,72	1,72	1,72	1,00	1,00	1,00	1,53	2,54	3,55
Enerji	1,29	1,97	2,67	1,16	1,16	2,85	0,28	0,39	0,65	1,00	1,00	1,00
Yönetim	2,63	4,99	7,11	1,16	1,16	7,11	0,68	1,07	1,72	0,93	1,66	2,37
Teknoloji	2,54	3,94	4,90	2,54	2,54	3,55	1,07	1,84	3,32	1,00	1,00	1,00
Ekolojik S.	1,48	2,18	3,74	0,32	0,32	0,58	0,20	0,27	0,42	0,64	1,00	1,55
Ekonomi	0,54	0,64	0,80	0,54	0,54	0,86	0,22	0,30	0,53	0,47	0,64	1,12
	Yönetim			Teknoloji			Ekolojik Sürdürülebilirlik			Ekonomi		
Ulaşım	0,14	0,20	0,38	0,20	0,25	0,39	0,27	0,46	0,68	1,25	1,55	1,84
Güvenlik	0,39	0,54	0,86	0,28	0,32	0,39	1,72	2,54	3,16	1,16	1,48	1,84
Eğitim	0,58	0,93	1,48	0,30	0,54	0,93	2,37	3,74	4,90	1,90	3,38	4,58
Enerji	0,42	0,60	1,07	0,28	0,39	0,54	1,00	1,84	2,95	1,72	3,16	4,36
Yönetim	1,00	1,00	1,00	0,83	1,27	1,81	1,23	2,18	3,11	1,90	3,38	4,58
Teknoloji	0,55	0,79	1,20	1,00	1,00	1,00	0,64	0,83	1,07	1,38	2,18	3,32
Ekolojik S.	0,32	0,46	0,82	0,93	1,20	1,55	1,00	1,00	1,00	1,16	2,29	3,50
Ekonomi	0,42	0,46	0,53	0,30	0,46	0,72	0,29	0,44	0,86	1,00	1,00	1,00

Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisinin üçgensel vektör toplamı hesaplanmıştır. Üçgensel vektör toplamı kullanılarak ana kriterler için sentez değerleri hesaplaması yapılmıştır. Üçgensel sayı değerleri arasında $l < m < u$ ilişkisi bulunmaktadır. U: en yüksek olasılık, m: kesin değer ve l en düşük olasılıktır. Ana kriterlerin üçgensel sayı değerleri vektör değerleri ile çarpılır çıkan sonuçtan Tablo 5'teki sentez değerleri elde edilir.

Tablo 5. Ana kriterlerin sentez değerleri

	Sentez Değeri
L	6,37
M	8,80
U	12,50

Bulanık AHP yöntemindeki bulanık sayıların karşılaştırmasının devamında kriterlerin geometrik ortalamalarının alınması sonucu hesaplanan bulanık ağırlıklar Tablo 6'teki gibi gösterilmiştir.

Tablo 6. Ana kriterlerin önem ağırlık tablosu

	l	m	u
Ulaşım	0,03	0,05	0,10
Güvenlik	0,06	0,11	0,20
Eğitim	0,09	0,19	0,32
Enerji	0,06	0,12	0,25
Yönetim	0,09	0,20	0,46
Teknoloji	0,09	0,17	0,31
Ekolojik Sürdürülebilirlik	0,05	0,09	0,20
Ekonomi	0,03	0,06	0,12

Adım 3: Ana kriterlere ait ağırlık vektörleri hesaplanarak Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Ana kriterlerin ağırlık vektörleri

CRI	Mi
Ulaşım	0,06
Güvenlik	0,12
Eğitim	0,20
Enerji	0,14
Yönetim	0,25
Teknoloji	0,19
Ekolojik Sürdürülebilirlik	0,11
Ekonomi	0,07

Hesaplama sonucu elde edilen ağırlık vektörü; $W' = (0,061; 0,12; 0,20; 0,14; 0,25; 0,19; 0,11; 0,07)T$ olarak gösterilmektedir.

Adım 4: Ana ve alt kritere ait ağırlık vektörleri normalize edilmiştir. Ağırlık vektörü değeri W' ; $d'(C1)$, $d'(C2)$, $d'(C3)$, $d'(C4)$, $d'(C5)$ değerleri toplamına bölünmesi ile normalize matris hesaplanmaktadır. Normalize matrisle elde edilen değerlerin toplamı her zaman 1'e eşit olmalıdır. Bu hesaplama ile ana kriterlere ait nihai ağırlık değerlerini gösteren W matrisi hesaplanır. Ana kriterlere ait normalize matrisle hesaplanan ağırlık vektörü Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Ana kriterlerin normalize edilmiş ağırlık vektörü

CRI	Ni
Ulaşım	0,05
Güvenlik	0,11
Eğitim	0,17
Enerji	0,12
Yönetim	0,22

Teknoloji	0,17
Ekolojik Sürdürülebilirlik	0,10
Ekonomi	0,06

Ana kriterlerin ağırlıkları hesaplandıktan sonra aynı BAHP uygulama adımları alt kriterler için de gerçekleştirilmiştir. Tablo 9’de ana ve alt kriterlere ait normalize matrisle hesaplanan nem ağırlıkları paylaşılmıştır.

Tablo 9. Ana ve alt kriterlere göre hesaplanan normalize ağırlık vektörü tablosu

Ana Kriter	Ni	Alt Kriter	Ni
Ulaşım	0,05	Akıllı Park	0,54
		Servis Takibi	0,31
		Navigasyon	0,15
Güvenlik	0,11	Akıllı Emniyet ve Güvenlik Sistemi	0,53
		Gözetim	0,17
		Siber Güvenlik	0,30
Eğitim	0,17	Akıllı Sınıf	0,15
		İşbirlikçi Araştırma	0,18
		E-Lab	0,24
		İnteraktif Bulut Paylaşım Platformu	0,19
		Uzaktan Dijital Öğrenme	0,24
Enerji	0,12	Yönetim Sistemi Kurulumu	0,48
		Enerji Takip Sistemi	0,41
		Akıllı Sokak Lambaları	0,11
Yönetim	0,22	Süreç Verimliliği	0,32
		Akıllı Yönetim	0,23
		Şeffaf Katılım	0,20
		Sosyal Ağlar	0,24
Teknoloji	0,17	İnternet Teknolojileri	0,55
		Simülasyon Yazılımı	0,28
		Mobil Cihazlar	0,17
		Sensörler	0,11
Ekolojik S.	0,10	Sürdürülebilir Enerji Kaynakları	0,43
		Kirlilik Ve Atık Yönetimi	0,29
		Etkin Su Kaynakları Yönetimi	0,27
Ekonomi	0,06	Girişimci Ve İnovasyon Desteği	0,58
		İstihdam Edilebilirlik	0,22
		Paylaşım Ekonomisi	0,20

Elde edilen hesaplamalar neticesinde kampüsün akıllılık anlamında en çok önem arz eden ana kriteri Yönetim (0,22) olurken en az önem arz eden ana kriteri Ulaşım (0,05) olarak görülmüştür. Tablo 8’e göre ana kriter ağırlıklıkları en önemliden en az önemliye göre sıralanması durumunda Yönetim, Eğitim, Teknoloji, Enerji, Güvenlik, Ekolojik Sürdürülebilirlik, Ekonomi ve Ulaşım olarak sıralanmaktadır. Yönetimde, Süreç Verimliliği (0,32) en yüksek öneme sahip alt kriter iken Şeffaf Katılım (0,20) en az öneme sahip alt kriterdir. Eğitimde, e-lab (0,24) en yüksek öneme sahip alt kriter iken Akıllı Sınıf (0,15) en az öneme sahip alt kriterdir. Teknolojide, İnternet Teknolojileri (0,50) en yüksek öneme sahip alt kriter iken Sensorlar (0,10) en az öneme sahip alt kriterdir. Enerjide, Yönetim Sistemi Kurulumu (0,48) en yüksek öneme sahip alt kriter iken Akıllı Sokak Lambaları (0,11) en az öneme sahip alt kriterdir. Güvenlikte, Akıllı Emniyet ve Güvenlik Sistemi (0,53) en yüksek öneme sahip alt kriter iken Gözetim (0,17) en az öneme sahip alt kriterdir. Ekolojik Sürdürülebilirlikte, Sürdürülebilir Enerji Kaynakları (0,43) en yüksek öneme sahip alt kriter iken Etkin Su Kaynakları Yönetimi (0,27) en az öneme sahip alt kriterdir. Ekonomide, Girişimci ve

İnovasyon Desteği (0,58) en yüksek öneme sahip alt kriter iken Paylaşım Ekonomisi (0,20) en az öneme sahip alt kriterdir. Ulaşım, Akıllı Park (0,54) en yüksek öneme sahip alt kriter iken Navigasyon (0,15) en az öneme sahip alt kriterdir.

4.2 Bulanık MAIRCA Yönteminin Uygulaması

Çalışma kapsamında, karşılaştırma yapılacak kampüsler arasında benzer özelliklere sahip üç üniversite kampüsü seçilmiştir.

Adım 1-2-3: İlk karar matrisi ve bulanık kümeleşmiş karar matrisinin oluşturulması. Alternatiflerin performans değerlerine ait veriler karar vericilerden temin edilmiştir. Çalışmada alternatiflerin sıralanmasında beş karar verici bulunması sebebi ile her karar verici için matris oluşturulduktan, ortalamaları alınarak karar matrislerinin son hali paylaşılmıştır. Kriterlerin değerlendirilmesi için kullanılan dilsel değişkenler ise Tablo 10’dadır. Tablo 11’de karar vericilerin belirlediği sözel performans değerleri, Tablo 12’de ise, bu sözel performans değerlerinin üçgensel bulanık sayılara çevrilmiş son hali gösterilmektedir. Bu bulanık sayılar karar matrisini oluşturur.

Tablo 10. Kriterlerin değerlendirilmesi için dilsel değişkenler

Dilsel Terimler	Bulanık Sayı Karşılıkları
Çok Zayıf (VP)	(0,1,2)
Zayıf (P)	(1,2,3)
Ortalama Zayıf (MP)	(2,3,5,5)
Eşit (F)	(4,5,6)
Ortalama İyi (MG)	(5,6,5,8)
İyi (G)	(7,8,9)
Çok İyi (VG)	(8,9,10)

Adım 3: **PAi** alternatif seçimine göre tercih belirleme. Bu adımda karar vericiler, alternatifleri sözde herhangi birinin özde görünme olasılığına sahip olabileceğini algılar, bu gereke ile m olası alternatiflerden herhangi birini seçme tercihi Eşitlik 4’te gösterildiği gibi $PA_i = 1/3 = 0,33$ olarak hesaplanmıştır.

Adım 5, 6 ve 7: Teorik değerlendirme matris elemanlarının (**TP**) hesaplanması, normalize karar matrisinin oluşturulması ve gerçek değerlendirmenin belirlenmesi. Teorik değerlendirme matrisi Eşitlik 5’de görüldüğü üzere, PA_i (0,33) ve her kriterin ağırlığı çarpılmıştır. Ardından, Eşitlik 6 kullanılarak normalize karar matrisi oluşturulmuştur. Eşitlik 7 ile, normalize karar matris öğeleri ve teorik hesaplama matris öğeleri çarpılarak gerçek değerlendirme matrisi elde edilmiştir.

Adım 8 ve 9: toplam boşluk matrisinin (**G**) hesaplanması ve alternatifler için kriter fonksiyonlarının nihai değerlerinin (**Qi**) hesaplanması

G matrisinin elemanları, Eşitlik 8 ile Tablo 13’de gösterimi gerçekleştirildiği şekilde hesaplanmıştır. Kriter bağıntılarının nihai değerleri, alternatifler için boşlukların toplamı ile (g_{ij}) elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Son adımda ise, Tablo 14’de

görüldüğü üzere, ‘‘Üniversite 3’’ en düşük toplam boşluk değerine sahip olması nedeni ile en iyi akıllı kampüs alternatifi olarak seçilmiştir.

Tablo 11. Kriterlere ait sözel performans değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
Üniversite 1	MP	MG	MG	F	MG	MG	MG	F	F	MG	MG	MG	MG	F
Üniversite 2	MP	MP	MP	MP	MP	F	F	MG	P	MG	MP	MP	P	P
Üniversite 3	MG	G	MP	G	F	MG	F	MG	MP	F	G	MP	MG	G
	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24	K25	K26	K27	K28
Üniversite 1	MG	MG	MG	F	F	MG	F	MG	MG	G	MG	MG	MG	MG
Üniversite 2	P	F	P	P	MG	MP	F	MP	G	MP	MP	MP	P	P
Üniversite 3	G	MG	F	MG	G	F	MG	MP	G	F	MP	MP	G	F

Tablo 12. Alternatiflere ait sözel ağırlıkların üçgensel bulanık sayılara çevrilmiş hali

	K1			K2			K3			K4		K5				K6			
Üniversite 1	2,0	3,5	5,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	
Üniversite 2	2,0	3,5	5,0	2,0	3,5	5,0	2,0	3,5	5,0	2,0	3,5	5,0	2,0	3,5	5,0	4,0	5,0	6,0	
Üniversite 3	5,0	6,5	8,0	7,0	8,0	9,0	2,0	3,5	5,0	7,0	8,0	9,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	
	K7			K8			K9			K10		K11				K12			
Üniversite 1	5,0	6,5	8,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	
Üniversite 2	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	1,0	2,0	3,0	5,0	6,5	8,0	2,0	3,5	5,0	2,0	3,5	5,0	
Üniversite 3	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	2,0	3,5	5,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	2,0	3,5	5,0	
	K13			K14			K15			K16		K17				K18			
Üniversite 1	5,0	6,5	8,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	4,0	5,0	6,0	
Üniversite 2	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	
Üniversite 3	5,0	6,5	8,0	7,0	8,0	9,0	7,0	8,0	9,0	5,0	6,5	8,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	
	K19			K20			K21			K22		K23				K24			
Üniversite 1	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	7,0	8,0	9,0	
Üniversite 2	5,0	6,5	8,0	2,0	3,5	5,0	4,0	5,0	6,0	2,0	3,5	5,0	7,0	8,0	9,0	2,0	3,5	5,0	
Üniversite 3	7,0	8,0	9,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,5	8,0	2,0	3,5	5,0	7,0	8,0	9,0	4,0	5,0	6,0	
	K25			K26			K27			K28									
Üniversite 1	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0	5,0	6,5	8,0							
Üniversite 2	2,0	3,5	5,0	2,0	3,5	5,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0							
Üniversite 3	2,0	3,5	5,0	2,0	3,5	5,0	7,0	8,0	9,0	4,0	5,0	6,0							

Tablo 13. Toplam boşluk matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
Üniversite 1	0,007	0,004	0,001	0,014	0,004	0,007	0,005	0,007	0,008	0,007	0,009	0,002	0,010	0,013
Üniversite 2	0,007	0,004	0,002	0,016	0,005	0,008	0,006	0,007	0,011	0,007	0,011	0,003	0,015	0,017
Üniversite 3	0,005	0,003	0,002	0,011	0,004	0,007	0,006	0,007	0,010	0,008	0,008	0,003	0,010	0,010
	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24	K25	K26	K27	K28
Üniversite 1	0,011	0,012	0,008	0,016	0,021	0,008	0,006	0,003	0,008	0,002	0,002	0,005	0,009	0,005
Üniversite 2	0,015	0,013	0,013	0,021	0,019	0,011	0,006	0,004	0,008	0,003	0,003	0,007	0,013	0,008
Üniversite 3	0,010	0,012	0,010	0,013	0,017	0,010	0,005	0,004	0,008	0,003	0,003	0,007	0,008	0,006

Tablo 14. Alternatiflerin sıralanması

	Qi	Sıralama
Üniversite 1	0,22	2
Üniversite 2	0,26	3
Üniversite 3	0,21	1

4.3 Karşılaştırmalı Analiz

Bu bölümde, önerilen metodolojinin güvenilirliğini doğrulamak için karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. Aynı karar problemi dikkate alınarak, BAHP-B-TOPSİS ve BAHP-B-COCOSO yöntemleri ile sonuçlar karşılaştırılmış ve Tablo 15’de paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sıralamalar birebir aynı gözlenmiştir.

Tablo 15. Akıllı kampüs sıralama tablosu

	Sıralama		
	BAHP-B-MAIRCA	BAHP-B-TOPSİS	BAHP- B-COCOSO
Üniversite 1	2	2	2
Üniversite 2	3	3	3
Üniversite 3	1	1	1

4.4 Duyarlılık Analizi

Bu bölümde, alternatiflerin kriter ağırlıklarındaki olası değişikliklere olan duyarlılığını ortaya çıkarmak için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Senaryo 1 durumunda tüm alt kriterlerin mevcut global ağırlıkları korunarak hesaplamalar yapılmıştır. Senaryo 2 durumunda tüm alt kriterlerin eşit derecede önem arz ettiği varsayılmıştır. Senaryo 3 durumunda ise maksimum ve minimum global ağırlığa sahip kriter ağırlıkları değiştirilerek hesaplama gerçekleştirilmiştir. Tablo 16’da gösterildiği gibi, üç farklı senaryo dikkate alınması ile bir duyarlılık analizi gerçekleştirilerek alternatif yakınlık faktörleri hesaplanmıştır. Kriterlere verilen ağırlıkların değişmesi durumunda Üniversite 2 sırasını tüm durumlarda korurken, Senaryo 2 durumunda Üniversite 1 ve Üniversite 3 sıralamaları 0,01’lik bir farkla yer değiştirmiştir.

Tablo 16. Farklı senaryolar karşısında duyarlılık analizi yakınlık katsayıları

	Üniversite 1	Üniversite 2	Üniversite 3
Senaryo 1 (Mevcut Durum)	0,22	0,26	0,21
Senaryo 2 (Eşit Önem Ağırlıklı Durum)	0,21	0,26	0,22
Senaryo 3 (Kriter Ağırlığı Yer Değişim Durumu)	0,2112	0,2626	0,2109

5. Tartışma ve Sonuç

Akıllı kampüsler, gelişmiş teknolojilerin kullanıldığı, eğitim ve yaşam kalitesini artırmayı amaçlayan entegre ve bütünleşik kampüs çözümleridir. Bu kampüsler, genellikle nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği, yapay zeka (YZ) ve diğer ileri teknolojileri kullanarak kampüs içi süreçleri optimize ederken, öğrenci deneyimini zenginleştirmeyi ve sürdürülebilirliği artırmayı hedeflemektedir. Eğitimin daha verimli ve modern bir yaklaşımla ilerleyebilmesi açısından

akıllı kampüs uygulamaları büyük önem teşkil etmektedir. Bu alanda yapılan araştırmalar, akıllı kampüslerin öğrenci memnuniyetini artırdığı, enerji verimliliği sağladığı ve kampüs içi yönetimi kolaylaştırdığı yönünde olumlu sonuçlar göstermektedir (Wang et al., 2019; Lee & Kwon, 2017). Ayrıca, IoT teknolojisinin akıllı kampüslerdeki etkili kullanımıyla birlikte, veri analitiği ve yapay zeka uygulamalarının da kampüs yönetimini daha akıllı hale getirdiği görülmektedir (Al-Fuqaha et al., 2015; Zeng et al., 2017). Ancak, akıllı kampüslerin başarılı bir şekilde uygulanması için bazı zorluklar ve riskler de dikkate alınmalıdır. Veri güvenliği ve gizliliği gibi konular, büyük miktardaki verinin toplandığı bu sistemlerde önemli bir sorun olabilir. Ayrıca, teknolojik altyapının maliyeti ve projenin maliyet-etkinliği de yönetim tarafından göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerdir (Chen et al., 2020). Bu çalışmada, üniversite kampüslerinin, akıllı kampüs olarak nitelendirilebilmesi için literatür çalışmaları, Türkiye ve dünyadaki mevcut akıllı kampüs örnek ve özellikleri baz alınarak farklı başlıklarda uygulamalar incelenmiştir. Dünya’da ve Türkiye’de yapılan çalışmalar incelendiğinde kampüsün akıllı sistemlerle donatılmasının öğrenci ve çalışanlar üzerinde pozitif etki oluşturduğu görülmüştür. Önerilen model ile, yükseköğretim kurumlarının, yönetim ve planlamasında akıllı kampüs değerlendirmesi için bir model önerisi sunulmuştur. Uygulama sürecinde herhangi bir belirsizlik oluşmaması ve daha hassas neticeler vermesi bakımından bulanık ÇKKV yöntemleri tercih edilmiştir. Bulanık AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edilirken, Bulanık MAIRCA yöntemi ile üç üniversitenin akıllı kampüs performansları karşılaştırılmıştır. Sonuçların tutarlılığı kanıtlamak için karşılaştırmalı analiz ve duyarlılık analizi yapılarak çalışmanın güvenilirliği ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, akıllı kampüslerde en önemli kriter “Yönetim” iken, en az önemli “Ulaşım” olarak ortaya çıkmıştır. Akıllı kampüslerde yönetimin, kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını ve güvenliği sağlamak açısından kritik bir role sahiptir. Yazında incelenen çalışmalarda, akıllı kampüslerde yönetimin kritik önem taşıdığını ve çeşitli alanlarda olumlu etkiler sağladığı belirtilmiştir (Li et.al,2020). Khan et al,2017; Miah et.al,2017) Alt kriterlerde ise, en önemli kriter “Girişimci ve İnovasyon Desteği” iken, en az önemli “Akıllı Sokak Lambaları” olarak ortaya çıkmıştır. Akıllı kampüslerde girişimcilik ve inovasyon desteği ise, öğrencilere girişimci beceriler kazandırmak ve inovasyon kültürünü teşvik etmek açısından önemli bir rol oynar. Özellikle, endüstri ile işbirliği yaparak teknolojik inovasyonu teşvik edilebilir. Bu bağlamda, üniversiteler ile endüstrinin işbirliği, yeni fikirlerin ticarileştirilmesi ve teknolojik ilerlemenin hızlandırılması içinde önemlidir. Akıllı kampüslerde girişimci ve inovasyon desteği ile, öğrencilerin yenilikçi projeleri de desteklenebilir (Ma et.al,2021). Böylece, akıllı kampüslerin rekabetçi ve yenilikçi bir ortam olmasına katkı sağlanabilir. Üniversite sıralamaları ise, Üniversite 3 > Üniversite 1 > Üniversite 2 şeklindedir. Bu çalışmanın sonuçları ile, akıllı kampüs kavramının eğitim kurumlarının gelecekteki yönetim ve öğrenci deneyimi stratejilerinde önemli bir katkı sağlayacağı umulmaktadır. Bu çalışma, üniversitelerin dijital dönüşümünde akıllı kampüs

uygulamalarını Bulanık ÇKKV yaklaşımı değerlendirerek literatüre katkı sağlamaktadır. Ayrıca, önerilen yaklaşımın akıllı kampüs uygulamalarının değerlendirilmesinde bulunduğu kadarıyla ilk kez kullanılması çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Çalışmanın diğer bir katkısı ise, önerilen model ile akıllı kampüsler için belirli anahtar performans göstergeleri değerlendirilmiş ve üniversitelerin akıllı kampüs performansları için mevcut durumları karşılaştırılmış ve gelecekte bu alandaki yetkinliklerini değerlendirmek isteyen üniversitelere fırsat sunulmuştur.

Yenilikçi eğitim deneyimlerinde kalitesini arttırmak isteyen, öğrencilerin kampüs içindeki hareketliliklerini kolaylaştırarak Öğrenci Deneyimini Geliştirmek isteyen, Sürdürülebilirlik, Teknolojik Gelişmelere Adaptasyon, İnovasyon ve Girişimcilik konularında teşvik bekleyen üniversiteler akıllı kampüs uygulama ve teknolojileri kurumlara adapte ederek dijital rekabete hızını arttırabilir. Bu sürecin başarılı bir şekilde uygulanması için bazı zorluklar ve riskler de dikkate alınmalıdır. Veri güvenliği ve gizliliği gibi konular, büyük miktardaki verinin toplandığı bu sistemlerde önemli bir sorun olabilmektedir. Ayrıca, teknolojik altyapının maliyeti ve projenin maliyet etkinliği de yönetim tarafından göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerdir (Chen et al., 2020). Ancak, bu konuda daha fazla araştırma ve uygulama gerekmektedir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalar, risk analizleri ile kurumlar için stratejiler geliştirebilir. Bir diğer öneri ise, belirlenen alternatif üniversitelerin sayıları arttırılarak çalışmanın kısıtı ortadan kaldırılabilir ve eğitim sektörü için daha kapsamlı bir değerlendirme sunulabilir.

Kaynaklar

Adenle, Y. A., Chan, E. H., Sun, Y., & Chau, C. K. (2021). Assessing the relative importance of sustainability indicators for smart campuses: A case of higher education institutions in Nigeria. *Environmental and Sustainability Indicators*, 9, 100092.

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.

Ahmed, V., Abu Alnaaj, K., Saboor, S. (2020). An Investigation into Stakeholders' Perception of Smart Campus Criteria: The American University of Sharjah as a Case Study. *Sustainability*, 12, 518.

Min-Allah, N., Alrashed, S., (2020). Smart campus—A sketch, *Sustainable Cities and Society*, 59, 102231

Altun, G. & Zencirkıran, M. (2021). Akıllı Kampüs Teknolojileri ve Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma . *Mimarlık ve Yaşam* , 6 (2) , 319-336 . DOI: 10.26835/my.850103.

Boz Eravcı, D. (2020). Kurumların Dijital Dönüşümü: Büyük Veri . *Çalışma İlişkileri Dergisi* , 11 (1) , 90-112.

Bıçakçı, S. N. (2019). Nesnelerin İnterneti . *Takvim-i Vekayi* , 7 (1) , 24-36.

Chen, J., Zhao, J. L., & Zhang, C. (2020). Building a Smart Campus with the Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(7), 5362-5370.

Chen, T. (2021). Smart campus and innovative education based on wireless sensor, Microprocessors and Microsystems, 81.

Çelebi, H., Bahadır, T., Şimşek, İ., Tulun, Ş., (2020). The Importance of Smart Campuses In The Context of Boyd Cohen Wheel and Sustainable Environmental Dimension, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 8(3), 952-960.

Doğan, O., Bitim, S., & Hızıroğlu, K. (2021). A v-model software development application for sustainable and smart campus analytics domain. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 4(1), 111-119.

Dong, Z., Zhang, Y., Yip, C., Swift, S., Beswick K., (2020). Smart campus: definition, framework, technologies, and services, *IET Smart Cities*, 2: 43-54.

Fraga-Lamas, P.; Celaya-Echarri, M.; Lopez-Iturri, P.; Fernández-Caramés, T.M.; Azpilicueta, L.; Aguirre, E.; Suárez-Albela, M.; Falcone, F.; Castedo, L., (2019). Design and Experimental Validation of a LoRaWAN Fog Computing Based Architecture for IoT Enabled Smart Campus Applications, *Sensors*, 19, 15-30.

Faritha Banu, J., Revathi, R., Suganya, M., Gladiss Merlin, N. R., (2020). IoT based Cloud Integrated Smart Classroom for smart and a sustainable Campus, *Procedia Computer Science*, Volume 172, 77-81.

Fernández-Caramés, T.M., Fraga-Lamas, P., (2019). Towards Next Generation Teaching, Learning, and Context-Aware Applications for Higher Education: A Review on Blockchain, IoT, Fog and Edge Computing Enabled Smart Campuses and Universities, *Applied Sciences*, 9, 4479.

Gao, M. (2022). Smart campus teaching system based on ZigBee wireless sensor network, *Alexandria Engineering Journal*, 61, 2625-2635.

Gambarotta, A.; Morini, M.; Rossimateo, M. (2016). A Library for the Simulation of Smart Energy Systems: The Case of the Campus of the University of Parma. *Energy Procedia*, Volume 105, 1776-1781.

Khan, Z. A., Anisi, M. H., Al-Muhtadi, J., & Al-Wasihy, A. (2017). Smart Campus: An Integrated Wireless Campus Management System. *IEEE Access*, 5, 20669-20680.

Kocaman, M. S. (2020). Akıllı Şehir Kriterleri ile Akıllı Kampüs İndeksi Oluşturulması. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , 2 (3) , 1-6 . DOI: 10.47769/izufbed.751815.

Kostepen, Z., Akkol, E., Doğan, O., Bitim, S., Hızıroğlu, A. (2020). A Framework for Sustainable and Data-driven Smart Campus. *22nd International Conference on Enterprise Information Systems. 22nd International Conference on Enterprise Information Systems*.

Kuşakçı, A. O., Ayvaz, B., Öztürk, F., & Feyza, S. O. F. U. (2019). Bulanık Multimooora İle Personel Seçimi: Havacılık Sektöründe Bir Uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 96-110.

Lee, J. W., & Kwon, D. (2017). Development of a Smart Campus System for Energy Efficiency. *Sustainability*, 9(6), 980.

Lehman, N. (2019). The Future of Higher Education: Smart Campuses. *College Planning & Management*.

Li, D., Zhao, J., & Xie, J. (2020). Smart Campus Energy Management System Based on IoT and Data Mining. *IEEE Access*, 8, 173129-173137.

Ma, Y., Wang, C., & Shi, Z. (2021). Empowering Entrepreneurial Skills and Mindset in Smart Campus: An Exploratory Study. *Sustainability*, 13(1), 245.

Masitah M., Mohd Norasri, I., Mohd Farhan M.F., (2021). A Survey on Smart Campus Implementation in Malaysia, *International Journal On Informatics Visualization*, 5(1), 51-56

Mehta, P.; Zhang, X.; Thomas, R.; Jadhav, N.; Lee, J.; Conaghan, C.; Rawte, R. (2017). Harvesting 3D Multiphysics Modeling Techniques for Smart and Sustainable University Campus. *Energy Procedia*, Volume(143), 851-858. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.773>

Miah, S. J., Gammack, J. G., Kerr, D., & Hasan, M. (2017). Investigating the Role of Information Systems in Building Smart Universities: A Case Study from an Australian University. *Journal of Computer Information Systems*, 57(1), 22-32.

Nachandiya, N., Gambo, V., Joel, N., Davwar, P., (2018). Smart Technologies for Smart Campus Information System, *Asian Journal of Research in Computer Science*, 2(2): 1-7.

Onat A. & Kaçtoğlu, S. (2020). Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi: Perakende Sektöründe Bir

- Uygulama. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 19(37), 65-79.
- Öztopcu, A. & Salman, A. (2019). Sürdürülebilir Kalkınmada Akıllı Kentler . Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi , (41) , 167-188 . DOI: 10.17498/kdeniz.476335.
- Şengün, H., & Koçhan, A. (2019). Akıllı kentler ve dijital (siber) güvenlik. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 376-388.
- Kazancı Altınok, G. (2022). (Re) Considering Smart City Approach in Smart Economy Perspective: Evaluation of Konya Case, *Kent Akademisi Dergisi*, 15(1):277-297. <https://doi.org/10.35674/kent.983793>.
- Silva-da-Nóbrega, P.I.; Chim-Miki, A.F.; Castillo-Palacio, M.; (2022). A Smart Campus Framework: Challenges and Opportunities for Education Based on the Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 14, 9640.
- Tecim, V., Aydın, C., Tarhan, C., Asan, H. & Komesli, M. (2022). Üniversitelerde Akıllı Kampüs Uygulamaları için Altyapı Sistemi Oluşturulması. *Journal of Research in Business*, 7(1), e132-147.
- Yusuf A. Adenle, Edwin H.W. Chan, Yi Sun, C.K. Chau, (2021). Assessing the relative importance of sustainability indicators for smart campuses: A case of higher education institutions in Nigeria. *Environmental and Sustainability Indicators*, 9, 100092
- Wang, D., Liang, X., & Zhang, X. (2019). Smart Campus: An Innovation to Enhance Campus Management Based on the IoT Technology. *IEEE Access*, 7, 36690-36697.
- Zeng, D., Guo, S., Cheng, Z., & Zhang, J. (2017). A Survey of Clo Robotics: Concepts, State-of-the-Art, and Future Directions. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 8(2), 372-384.
- Zhang, Y. Dong, Z., Yip, C., Swift, S., (2020). Smart campus: a user case study in HongKong. *IET Smart Cities*, 2(3), e146-154.
- URL-1: Ankara Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi. <https://ankuzef.ankara.edu.tr/index.php/31-hakkimizda/genel-bilgiler/189-hakkimizda-ankuzef> (Erişim Tarihi: 12.12.2022)
- URL-2: Yıldız Teknik Üniversitesi Akıllı Yeşil Kampüs. <https://kampus.yildiz.edu.tr/ytu-ui-greenmetric-2020de-dunyanin-en-surdurulebilir-244uncu-kampusu-oldu/> (Erişim Tarihi: 12.12.2022)
- URL-3: Yıldız Teknik Üniversitesi Akıllı Yeşil Kampüs, Enerji ve İklim Değişikliği. <https://kampus.yildiz.edu.tr/calismalarimiz/enerji-ve-iklim-degisikligi/> (Erişim Tarihi: 12.12.2022).
- URL-4: Yıldız Teknik Üniversitesi Akıllı Yeşil Kampüs, Ulaşım. <https://kampus.yildiz.edu.tr/calismalarimiz/ulasim/> (Erişim Tarihi: 12.12.2022).
- URL-5: Bisiklet ve Yaya Öncelikli İTÜ. <http://yesilkampus.mozaik-test.itu.edu.tr/yesil-kampus/bisiklet-ve-yaya-ocelikli-itu> (Erişim Tarihi: 12.12.2022).

Ek A**Tablo A.1.** Kriter referans tablosu

Ana/Alt Kriterler	(Frag a-Lama s vd., 2019)	(Algham di ve Shetty, 2016)	(Nóbrega vd., 2022)	(Altun ve Zencirkiran, 2021)	(Ban u J vd., 2020)	(Lamas ve Caremes, 2019)	(Şengün vd., 2019)	(Nachandi ya vd., 2018)	(Masitah vd., 2021)	(Alrashe d, 2020)	(Ahmed vd., 2020)	(Kazan cı Altınok, 2022)
ULAŞIM												
Akıllı Park		✓		✓		✓					✓	
Servis Takibi									✓		✓	
Navigasyon						✓					✓	
GÜVENLİK												
Akıllı Emniyet ve Güvenlik Sistemi		✓	✓			✓			✓		✓	
Gözetim								✓			✓	
Sıbergüvenlik							✓				✓	
EĞİTİM												
Akıllı Sınıf			✓		✓			✓	✓		✓	
İşbirlikçi Araştırma											✓	
e-Lab				✓					✓			
İnteraktif Bulut Paylaşım Platformu				✓	✓							
Uzaktan Dijital Öğrenme					✓						✓	
ENERJİ												
Akıllı Sokak Lambaları									✓		✓	
Enerji Takip Sistemi				✓								
Bina Enerji Yönetim Sistemi											✓	
YÖNETİM												
Süreç Verimliliği			✓									
Şeffaf Katılım			✓									
Sosyal Ağlar				✓		✓					✓	
Akıllı Yönetim				✓	✓				✓		✓	
TEKNOLOJİ												
Sensörler					✓			✓				
Mobil Cihazlar					✓			✓				
Simülasyon Yazılımı	✓				✓							
İnternet Teknolojileri			✓		✓			✓				
EKOLOJİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK												
Kirlilik ve Atık Yönetimi		✓								✓		
Etkin Su Kaynakları Yönetimi		✓								✓		
Sürdürülebilir Enerji		✓	✓	✓		✓						
EKONOMİ												
Girişimci ve İnovasyon Desteği			✓									✓
İstihdam Edilebilirlik			✓									✓
Paylaşım Ekonomisi			✓									✓