



ISPARTA
UYGULAMALI BİLİMLER
ÜNİVERSİTESİ

YALVAÇ AKADEMİ DERGİSİ (JOURNAL OF YALVAC ACADEMY)



ISPARTA
UYGULAMALI BİLİMLER
ÜNİVERSİTESİ

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yalvac>

e-ISSN: 2548-0820



Yıl
2025

Cilt
10

Sayı
1

YALVAÇ AKADEMİ DERGİSİ

(Journal of Yalvaç Academy)

Yıl: 2025

Cilt: 10

Sayı: 1

Sahibi

Prof. Dr. Yılmaz ÇATAL
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Sorumlu Müdür

Birgül HUBAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Baş Editör

Remzi GÜRFİDAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Editörler

Ömer ERDOĞAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

İsmail İlke KÖSE
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Editör Kurulu Sekreterleri

Arda ATMACA
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Yazışma Adresi

Yalvaç Akademi Dergisi
Sekretarya Ofisi
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Yalvaç / Isparta / Türkiye

İletişim

Tel: +9 0246 441 43 34- 0246 441 70 16

E-mail: yalvacakademi@gmail.com

YALVAÇ AKADEMİ DERGİSİ

(Journal of Yalvaç Academy)

Year: 2025

Volume: 10

Issue: 1

Editör Kurulu (Editorial Board)

Assoc. Prof. Dr. Bekir AKSOY, Isparta University of Applied Sciences, TURKEY

Assoc. Prof. Dr. İsmail Yüksel GENÇ, Isparta University of Applied Sciences, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Mehmet Ali YALÇINKAYA, Kırşehir Ahi Evran University, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Ayhan ARISOY, Mehmet Akif Ersoy University, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Kemal ERTEN, Isparta University of Applied Sciences, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Samet DİRİ, Kocaeli University, TURKEY

Dr. Enes AÇIKGÖZOĞLU, Isparta University of Applied Sciences, TURKEY

Dr. Fatih YİĞİT, Isparta University of Applied Sciences, TURKEY

JOURNAL OF YALVAÇ ACADEMY

(YALVAÇ AKADEMİ DERGİSİ)

Year: 2025

Volume: 10

Issue: 1

CONTENTS

PAGE

Araştırma Makaleleri

GELENEK VE MODERNİTE ÇATIŞMASINDA CAMİLERİN MİMARİ UNSURLARI (KUBBELER)

Gouran HASAN, Canan KOÇ.....1-18

IDENTIFYING OPTIMAL BIOGAS PLANT INSTALLATION IN EASTERN ANATOLIA REGION USING CLUSTERING TECHNIQUES

Onur İNAN.....19-32

YALVAÇ (ISPARTA) MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Koray ÖZDOĞAN, Behzat Gökçen DEMİR, Akın AKBULUT.....33-40

ROBUST FUZZY MODELS FOR ULTRASONIC POLYMER DEGRADATION

Onur İNAN, Ali AKYÜZ.....41-52



GELENEK VE MODERNİTE ÇATIŞMASINDA CAMİLERİN MİMARİ UNSURLARI (KUBBELER)

ARCHITECTURAL ELEMENTS OF MOSQUES IN THE CONFLICT OF TRADITION AND MODERNITY (THE DOMES)

Gouran HASAN¹, Canan KOÇ²

¹Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı

²Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehircilik Anabilim Dalı

E-posta: canan.koca@dicle.edu.tr

Özet

Tarihsel süreç içinde Müslümanlar için en önemli mimari yapılardan olan camilerin geliştirilmesine, işlevine uygun hale getirilmesine ve çevredeki diğer yapılardan estetik olarak ayırt edilmesine büyük önem verilmiştir. İlk camiler mevcut inşaat malzemeleriyle inşa edilirken ve basit unsurlar içerirken, zamanla yapı malzemeleri ve teknolojinin gelişmesiyle yeni unsurlar eklenmiştir. Bununla birlikte, çoğu cami geleneksel şeklini, özellikle kubbe veya bir grup kubbenin varlığını korumuştur. Bu bağlamda çalışmada, cami kubbelerinin formlarının gelişimi, manevi önemi, işlevsel ve yapısal rolü ele alınmakta, kubbenin mimari bir unsur olarak benimsenmesinin tarihi anlatılmaktadır. Ardından modern dönemde inşa yöntemlerinin ve malzemelerinin gelişmesine bağlı olarak camilerdeki kubbe formlarının gelişimi incelenecektir.

Modernlik ve gelenek arasındaki kubbenin şekli konusundaki çatışma sadece estetik kompozisyona bağlı olmayıp, işlevsel özelliklere de dayanmaktadır. Genel olarak mimarların geleneksel mimari formlardan uzaklaşması, tasarımda daha fazla özgürlük ve esnekliğin önünü açmakta, böylece çağdaş malzeme ya da inşaat tekniklerinin en iyi şekilde kullanılmasına ve modern teknolojinin binalara dahil edilmesine olanak tanımaktadır. Dolayısıyla geleneksel kubbenin önceki dönemlerde sağladığı işlevler, çağın olanaklarına daha uygun yeni form ve teknolojilerle telafi edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Kubbe, Camiler, Geleneksel Mimari, Modern Mimari,*

Abstract

The development of mosque construction, both functionally and aesthetically, has received great attention from Muslims throughout history. While the first mosques were built with existing construction materials and contained simple elements, new elements were added with the development of building materials and technology over time. However, most mosques have preserved their traditional form, especially the presence of a dome or a group of domes. In this context, the study addresses the development of mosque dome forms, their spiritual significance, functional and structural roles, and the history of the dome's adoption as an architectural element. Then, the development of dome forms in mosques will be examined about the advancements in construction methods and materials in the modern era.

The conflict over the shape of the dome between modernity and tradition is based on aesthetic composition and functional characteristics. Generally, architects' departure from traditional architectural forms opens the way for greater freedom and flexibility in design, thereby allowing for the best use of contemporary materials or construction techniques and the incorporation of modern technology into buildings. Therefore, the functions that the traditional dome provided in earlier periods can be compensated for with new forms and technologies that are more suitable for the possibilities of the modern era.

Keywords: *Dome, Mosques, Traditional Architecture, Modern Architecture.*

1. GİRİŞ

İslam tarihinde Müslümanlar için en önemli mimari yapılardan olan camilerin geliştirilmesine, işlevine uygun hale getirilmesine ve çevredeki diğer yapılardan estetik olarak ayırt edilmesine büyük özen gösterilmiştir. İlk camiler mevcut inşaat malzemeleriyle (hurma yaprakları- tuğla- saman) inşa edilmiş ve basit unsurlar (kapalı alan- avlu- kible ve mihrap) içermiştir, daha sonra bu camilere işlevsel nedenlerle minber, şadırvan ve maksure eklenmiştir.

İslamiyet'in Emevî devletiyle üç kıtaya yayılmasından sonra camiler genişleyerek daha fazla sayıda ibadet edeni barındıracak şekilde büyümüş, taş ve ahşap gibi daha sağlam ve dayanıklı malzemeler kullanılmıştır. Yeni malzemelere ve gerekli genişlemeye uygun kubbe, minare, kemer gibi yeni unsurlar eklenmiş, bu özellikler camileri diğer yapılardan ayıran biçimsel bir avantaj sağlamıştır.

20. yüzyılın başlarında yapı malzemeleri ve teknolojisinin gelişmesi, yeni yapı formlarının ortaya çıkmasına neden olmuş, taş ve ahşap yapı ile ilişkilendirilen formlar yavaş yavaş terk edilmiştir. Ancak çoğu cami geleneksel formlarını ve unsurlarını korumuş ve yapı malzemeleri ve tekniklerindeki gelişmeleri takip etmemiştir. Camilerin dışı ve içi ile ilgilenen, aşağıda belirtilen çeşitli mimari eğilimler ortaya çıkmıştır:

- Geleneksel şeklin sürdürülmesi: Geleneksel doğal veya modern malzemeler ile inşaat teknikleri kullanılarak caminin geleneksel formundaki tüm detay ve şekillere bağlı kalınmaktadır.
- Geleneksel formun modernleşmesi: Caminin temel geleneksel orantılarını değiştirmek, bazı detaylardan vazgeçerek yeni unsurlar eklemek gibi çağdaş bir bakış açısı sunmaktadır.
- Geleneksel şeklin terk edilmesi ve yeni biçimler formüle edilmesi: Modern malzemeler ve teknolojilerle uyumlu, daha işlevsel, bölgenin kültürünü yansıtan yeni formların oluşturulması tercih edilmektedir.

Kubbe, camilerin cephesindeki belirgin şekli oluşturmasının yanı sıra işlevsel, sembolik veya yapısal gerekçe olmaksızın camilerin örtülmesi gibi amaçlarla kullanılması nedeniyle en önemli unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir. Çalışma, camiler ile kubbelerin formlarını, oluşumlarını ve tarihçelerini inceleyen birçok araştırmadan farklılaşan bir yaklaşımla, kubbenin cami ile ilişkisinin nedenlerini, kökenini ve bu formun kullanım amacını, özellikle yapısal ve işlevsel ihtiyaçlara odaklanarak incelemeyi amaçlamaktadır. Kubbe şeklini camileri örtmek için doğal bir çözüm haline getiren ana nedenleri bulmayı ve diğer yapıların mimarisinde meydana gelen köklü değişikliklere rağmen kubbe ile cami arasındaki ilişkinin günümüze kadar devam etme nedenlerinin ortaya konması amaçlanmaktadır. Araştırmada, son yıllarda yapı malzemeleri ve teknolojisindeki gelişmelerin ışığında, cami mimarisini günümüzdeki eski geleneksel biçimi takip etmeye iten temel nedenler ve gelişimini engelleyen koşullar ortaya konmaktadır. Bu kapsamda, aşağıdaki sorulara cevap aranmaktadır:

- Kubbenin şekli camilerde ayrılmaz bir unsur olarak kabul edilir mi?
- Kubbenin camilerin çatısında ana örtü olarak kullanılmasına neden olan işlevsel ihtiyaçlar, yapısal zorunluluklar ve koşullar nelerdir?
- Geçmişte kubbe kullanımına yol açan şartlar ve zorunluluklar günümüzde devam ediyor mu?
- Yapı malzemelerindeki değişim nedeniyle geleneksel kubbe şeklinin karşılaştığı zorluklar nelerdir?

Araştırma kapsamında, cami mimarisinin tarih boyunca gelişimi ile kubbe şeklinin İslamiyet öncesi ve sonrasındaki mimari gelişimini konu alan literatür incelenmiştir. Modern çağdaki cami kubbelerine yönelik yapısal ve işlevsel uygulamalar karşılaştırılmış, cami çatılarına yönelik yenilikçi çözümler belirlenmiştir.

2. KUBBE KAVRAMI VE GELİŞİMİ

Arapça kökenli kelime olan “kubbe”nin esas anlamı içi boş üstü yarım küredir. Farklı anlamları bulunan kubbe, geometrik olarak, merkezinin etrafına sarılmış tekrar eden bir yay anlamında kullanılmaktadır. Mimari ve yapısal anlamda kubbe, çatı kaplama için mimari bir unsurdur ve farklı şekillere sahiptir. Genellikle sütunlar, payandalar veya taşıyıcı duvarlar üzerinde desteklenen yuvarlak, altıgen, sekizgen veya kare tabanlı içi boş bir kürenin kesik bölümünden oluşmaktadır. Küçük halkaların kademeli olarak daha büyük halkalar üzerine oturtulmasıyla üretilmektedir. Genellikle ağır yükleri taşımakta ve geniş alan kaplamaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde kubbelerin gelişimi “ilk antik kubbeler, Pers, Roma ve Bizans kubbeleri” başlıkları altında değerlendirilmektedir.

2.1. İlk Antik Kubbeler

İnsan, tarih öncesi çağlarda mevcut olan hammaddelerden (ahşap, ağaç kütükleri, kerpiç, saman, küçük taşlar, kar tuğlaları (iglo) vb) kubbeli konutlar inşa etmiştir. Kubbelerin inşasına tam olarak nerede ve ne zaman başladığı bilinmemekle birlikte, bir bölgeden diğerine yapım yöntemleri ve malzemelerinin farklılık göstermesi nedeniyle kubbeli sığınakların inşasının farklı bölge ve zamanlarda başlamış olması kuvvetle muhtemeldir. Ancak keşfedilen kubbeli en eski kubbeli yapılar, 1965'te Ukrayna'nın Mzyrekh köyünde bulunan, tarihi MÖ 19.280 ile 11.700 yıllarına dayanan dişler ve mamut kemiklerinden yapılmış dört küçük konuttur (Şekil 1) [1].



Şekil 1 İlk antik kubbeler [1]

Kubbeler, hemen hemen tüm uygarlıklarda (Firavunlar ve Çin hariç) önceleri küçük konut barınaklarını, ardından tahıl ambarları ve mezarları kaplarken daha sonra dini ve kamu binalarını kapsayacak şekilde dönüşmüştür. Mezopotamya bölgesinde Tell Halaf, Al-Abed ve Ur yerleşimlerinde tarih öncesi çağlardan kalma çok sayıda küçük ve orta büyüklükte kubbeler keşfedilmiş [2], Orta Doğu, Batı Avrupa ve Akdeniz bölgelerinde bindirme taşlarla inşa edilmiş kubbelere rastlanmıştır [3].

Kubbelerin eski çağlarda kullanılması, çoğunlukla yapım kolaylığı, malzemelerin bulunabilirliği ve karmaşık tekniklere ihtiyaç duyulmamasının bir sonucu olmuştur. Ayrıca kubbe, altında kullanım için iyi bir alan sağlamakta ve yüzeylerinin kıvrımları onu rüzgâr basıncından korumaktadır. Kar ve yağmurun boşaltmasını kolaylaştırmakta, sel ve heyelan durumlarında toprak basıncını azaltmaktadır.

2.2. Pers, Roma ve Bizans Kubbeleri

Ülkelerin gelişmesi ve büyük imparatorluklara dönüşmesi ile birlikte tapınak, meclis, kamu binaları ve saray olarak kullanılacak geniş alanlara sahip yapılara ihtiyaç doğmuştur. Bu nedenle taştan yapılmış kubbeler ya da daha küçük alanları örtmek için ahşap kubbeler kullanılmıştır.

Pers Kubbeleri: Pers İmparatorluğu'nun İslamiyeti kabul etmesinden sonra, Zerdüşt tapınakları camiye çevrilmiştir. Bu nedenle, 20. yüzyılın başlarına, arkeoloji ve arkeolojik kazı tekniklerinin gelişimine kadar Pers kubbelerinin orijinal şeklini bilmek zor olmuştur. [4]. Pers kubbeleri, dört kemer ve dört sütunla desteklenen kare kubbelerdi ve bunları ifade etmek için Çartaq (dört kemer) terimi kullanılmaktadır. İslam öncesi dini ve siyasi amaçlarla kullanılan yapının orta kanadını kubbeler örtmekteydi (Şekil 2) [4] [5].



Şekil 2. Baze Hoor ateş tapınağı (solda), Kheirabad'dan Çartaqi (ortada) ve Ateşgah ateş tapınağı (sağda)'nda kubbe kullanımı [6]

Pers kubbeleri, mukarnas eğrileri, kemerler arasındaki boşluklar ve payandalardan kubbenin dairesel kaidesine geçişi sağlayan kemerler gibi çeşitli şekilleri (yarı dairesel, sivri başlı, eliptik ve oval) ile ayırt edilmiştir [7]. Pers kubbeleri, taban çaplarının genişliği ve yükseklikleriyle karakterize edilmiştir. Pers kubbelerinin mimarisi taklit edilerek ve geliştirilerek sonraki dönemlerde cami ve saraylarda kullanılmış, böylece İslam mimarisinin önemli bir parçası haline gelmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Samani Türbesi (solda), İbn Tulun Camii (ortada), Ağa Bozorg Camii (sağda) [8]

Roma ve Bizans Kubbeleri: Ticaret ve denizcilik faaliyetleri yoluyla ulaşılan Firavun mimarisini sıklıkla taklit etmesinden dolayı Antik Yunan mimarisi başlangıçta kubbe içermemiştir [9]. Daha sonra kubbeler, tonoz ve kemerler M.Ö. 1. yüzyıldan itibaren, Roma İmparatorluğu aracılığıyla Avrupa mimarisine girmiştir [10]. Romalılar sütun, duvar veya herhangi bir çatı taşıyıcı yapısından yoksun geniş mekanlara ihtiyaç duydukları için kubbeyi kullanmaya başlamışlar [11]. Romalılar, başlangıçta volkanik kül ile kirecin karıştırılmasıyla üretilen antik betonu kubbe yapımında kullanmışlardır [12]. Örneğin; Roma'da Merkür Tapınağı ve Pantheon Tapınağı (Şekil 4-5).



Şekil 4. Merkür tapınağı [13]



Şekil 5. Pantheon tapınağı [13]

Yapımında kullanılan pahalı ahşap kalıplar nedeniyle beton kubbelerin maliyeti yüksekti [14]. Bu nedenle, Romalılar yığma kubbeler inşa etmek için tuğla ve taşlara başvurmuşlardır. Bu durum, merkezi üst pencerenin terk edilmesine ve kubbenin altındaki pencerelerin açılmasına olanak tanımıştır. Ayrıca çatının ağırlığını azaltıp, kolonlar ve kemerler üzerinde taşımaya çalışmışlardır [15].

Bizans İmparatorluğu döneminde, özellikle tuğla ile inşa edilen Roma kubbeleri geliştirilmiş ve betonarme yapım teknikleri zamanla ihmal edilmiştir. Bunun nedeni, bölgede volkanik kül bulunmaması ve beton kubbelerin maliyetinin yüksek olmasıdır. Bizanslılar kubbeleri özellikle dini yapılarda kullanmışlar ve nadir durumlar dışında diğer yapılarda kullanmamışlardır. Bu gelişme, Bizans mimarisinin çekirdeği ve tarihteki ilk tamamen asılı kubbe olarak kabul edilen Konstantinopolis'te (şimdiki İstanbul) Ayasofya Kilisesi'nin inşasıyla doruğa ulaşmıştır. Bizans döneminde kubbelerin şekli ve yapım yönteminde çeşitli gelişmeler yaşanmış, Roma dönemindeki basit yarım küre şeklindeki kubbe MS 11. yüzyılda sekizgen silindirik üzerine oturan bir kubbeye dönüşmüştür [16]. Örneğin; Nea Moni Manastırı.



Şekil 6. Ayasofya'nın dıştan ve içten kubbesi (solda ve ortada) ve Nea Moni Manastırı (sağda) [13]

Osmanlı'nın Bizans bölgelerini fethinden sonra birçok kilise minare gibi bazı mimari unsurlar eklenerek camiye çevrilmiştir. Osmanlılar, Bizans mimarisinin tekniklerini ve biçimlerini

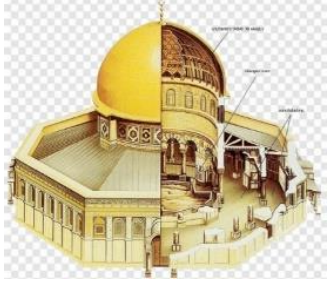


geliştirmiş, bunları Selçuklu mimarisinin bazı unsurlarıyla birleştirerek Osmanlı mimarisini oluşturmuştur.

2.3. İslami Dönemlerde Kubbeler


Arap Yarımadası sakinleri, kubbe mimarisini İslam'dan önce biliyorlardı, ancak bugüne kadar kubbelerin varlığına dair somut bir kanıt ortaya çıkmamıştır. Müslümanlar ilk camileri inşa ederken kubbe kullanmamışlardır. Bunun sebeplerinin savaş, fetihler ve iç gerilim durumu olduğu düşünülmektedir. Böylece camiler, askerlerin ibadetleri için geçici binalar şeklinde kalmış, bölgedeki diğer dinlere ait mekânlar gibi heybete ve azamete dikkat edilmemiştir.

Halife Abdülmelik ibn Mervan dönemindeki istikrardan sonra, geniş imparatorluğa yakışır camiler inşa edilmesine karar verilmiş, Müslümanların çoğalmasıyla birlikte daha geniş ibadethane ihtiyacı ortaya çıkmış, bunun üzerine bazı kilise ve mabetler camiye çevrilmiş ya da bölgede var olan mimari yöntemler ve şekiller kullanılarak yeni camiler inşa edilmiştir. Roma ve Pers yapılarında vazgeçilmez bir unsur olan kubbeler camilere eklenmiştir. İslam kubbelerinin evrimi, farklı zamanlardaki ünlü kubbelerin incelenmesiyle Tablo 1'deki gibi açıklanabilmektedir:

Tablo 1. İslami dönemlerdeki kubbe örnekleri

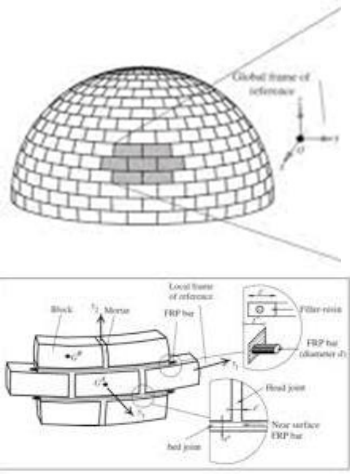
	Açıklama	Görsel
Kubbetü's-Sahre (Filistin, Kudüs)	Müslümanlar tarafından inşa edilen ilk kubbe olarak kabul edilen bu kubbe, MS 692 yılında Halife Abdülmelik ibn Mervan tarafından, İsrâ ve Miraç olaylarında Resulullah'ın göğe yükseldiği kayanın üzerine inşa edilmiştir. İslam mimarisinin kalan en eski binası olarak kabul edilmektedir [17] [18]. Kaya Kubbesi, dıştan sekizgen bir yapıdadır, ortada dairesel bir yapı olup, ahşaptan yapılmış yarım küre şeklinde bir kubbe ile örtülmüştür. Sekizgen kenarın dıştan uzunluğu 20,59 m, tavandan önceki dış duvarın yüksekliği ise 9,5 m olup, tasarımı Levant bölgesi ve yakınında yer alan sekizgen Roma kiliselerinden (Gazze'deki Marinion Kilisesi ve Kudüs'teki Kutsal Kabir Kilisesi gibi) esinlenilmiştir [19].	 [20]
Emevi Camii'ndeki Kubbesi (Surive, Şam)	Halife El Velid bin Abdülmelik, Aziz Yuhanna kilisesini camiye dönüştürmüş ve Büyük Emevi Camii adını vermiştir. Mescidin kuzey girişini mihrabdan ayıran ve mescide aracılık eden kartal kubbesi Emevi Camii'nin en büyük kubbesidir. Kubbe, her iki yanında ikişer kemerli pencere bulunan sekizgen bir yapı üzerine oturmaktadır [21]. Kubbenin yüksekliği 45 m, çapı ise 16 m'dir. Kubbenin kartalın başı, girişinin de göğsü olması nedeniyle kartala benzetilmekte, sağında ve solunda mescidin duvarları da kartalın kanatlarını oluşturmaktadır. Kartal Kubbesi 475 yılında Melikşah'ın Selçuklu veziri Nizamülmülk döneminde yenilenmiş, 575 yılında Selahaddin Eyyubi döneminde, 1893 yılında Sultan II. Abdülhamid döneminde yaşanan büyük yangından sonra tamamen restore edilmiştir. Emevi Camii kubbesinin ve diğer Emevi kubbelerinin temel fonksiyonu, üzerine ışık yansıtarak ibadet edenleri kibleye yöneltmektir.	 [21]
İmam Şafii'nin kubbesi (Mısır, Kahire)	Abbasi halifeleri ve onlardan sonra Fatımiler, türbelerinin üzerine kubbeler inşa etmeye başlamıştır. Bu türbelerin bir kısmı daha sonra camiye çevrilmiş olup, en önemlilerinden biri İmam Şafii Camii'dir. 1176 yılında Selahaddin Eyyubi, İmam Şafii'nin türbesi üzerine süslü ahşap bir lahit ve türbenin yanına bir okul inşa etmiştir [22] 1211 yılında El-Melik el-Kamil bin El-Adil'in annesi vefat edince Şafii'nin türbesinin yanına defnedilmiştir. Ardından oğlu El-Kâmil türbeyi örtecek bir kubbe yaptırmıştır. Bugünkü ahşap kubbe, mukarnas ve mermer süsleme ise MS 1480 yılında Memluk Sultanı Kayıtbay (MS 1468-1496 döneminde hüküm sürdü) tarafından yaptırılmıştır. MS 1772'de Osmanlı valisi Ali Bey El-Kabir, türbenin ahşap kubbesini	

	<p>yenilemiş ve dekoratif kitabeler eklemiştir [23]. İmam Şafii'nin türbesi Mısır'ın en büyük türbesi olarak kabul edilmektedir. Kubbe yüksekliği 27 m olup, boyutları 15x15 m olan bir kare üzerine inşa edilmiştir [24]. Türbelerin üzerine kubbe inşa edilmesi İslam dünyasına yayılmış olup Tac Mahal türbesi bunların en güzeli olarak kabul edilmektedir.</p>	 <p>[24]</p>
<p>Yeşil Kubbe (Medine)</p>	<p>Medine'de Mescid-i Nebevi'nin içinde yer alan Peygamber Odası üzerine inşa edilmiş Müslümanlar için kutsal kubbedir. Yeşil kubbe, H. 678 yılında Kral Kalavun el-Salihi döneminde inşa edilmiş olup, alt kısmı kare, üst kısmı sekizgen şeklindedir. Ahşaptan yapılmış ve taşla desteklenmiş, kurşun levhalarla kaplanmış ve üzerine branda örtülmüştür [25]. H. 886 yılında Sultan Kayıtbay döneminde camide yangın çıkınca caminin ahşap kubbesi de dahil olmak üzere yenilenmesi emrini vermiştir. Mescid-i Nebevi'nin bulunduğu arazide bunun için büyük temeller atılmış ve yaklaşık 9 m yüksekliğinde tuğlalarla inşa edilmiş, üstüne de onu desteklemek için başka bir kubbe inşa edilmiştir, Sultan Gazi Mahmud döneminde yenilenmiştir. Sultan II. Abdülhamid, döneminde kubbenin çatlaması üzerine üstlerinin yıkılıp daha sağlam bir şekilde yenilenmesi emrini vermiş, ardından kubbenin mavi yerine yeşile boyanması emretmiş ve onu yeşile boyayan ilk kişi olmuştur [25].</p>	  <p>[26]</p>
<p>Bursa Ulu Camii (Türkiye)</p>	<p>MS 14. yüzyılın sonlarında Osmanlı Padişahı I. Bayezid tarafından Bursa'da yaptırılmıştır [27]. Sultan I. Bayezid'in vasiyetine göre 20 kubbeli olan cami, yapıldığı dönemde İslam dünyasının en önemli beş camisinden biridir [28]. Ulu Camii, her sırada beş kubbe olmak üzere dört sıra halinde düzenlenmiş 20 kubbeyle karakterize edilmektedir. Bu kubbeler 12 sütunla desteklenmekte ve kubbeler caminin ortasına yaklaştıkça yükselmektedir. Ulu Camii'ndeki kubbelerin yapı modeli diğer camilerde çok az tekrarlırsa da Selçuklu mimarisinde veya erken Osmanlı mimarisinde bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir ve daha sonraki yıllarda camilerde kubbe çokluğunun önünü açmıştır.</p>	 <p>[29]</p>
<p>Yavuz Sultan Selim Camii (İstanbul/Türkiye)</p>	<p>Yavuz Sultan Selim Camii'nin kubbesi, İstanbul'un fethinden sonra Osmanlı'nın en önemli kubbelerinden biri olarak kabul edilir ve Bizans mimarisinden büyük ölçüde etkilenmiştir. Sütun ve desteklerden uzak, geniş bir ibadet mekânı sağlayan tek kubbeli camilerden biri olarak kabul edilmektedir. İstanbul'un fethinden sonra gelişerek yaygınlaşan tek kubbeli camilerin en güzel örnekleri arasında Mimar Sinan'ın ilk eserlerinden biri kabul edilen İstanbul'daki Yavuz Sultan Selim Camii yer almaktadır [30]. İstanbul'un en eski ikinci Osmanlı camisi olarak kabul edilen cami, Sultan Süleyman tarafından 1520 yılında vefat eden babası Yavuz Sultan Selim'in anısına yaptırılmış, 1527 yılında tamamlanmıştır [31]. Caminin iç planı kenar uzunluğu 24,5 m olan kare bir odadan oluşmakta olup, bu oda 32,5 metre yüksekliğinde bir kubbe ile örtülmüştür [32]. Kubbe, yarım küre şeklinde değil, daha düz (çeyrek top) olması ve camideki tüm mescidi kaplaması nedeniyle Ayasofya Camii'nin kubbesine benzemektedir.</p>	 <p>[29]</p>

<p>Sultan Ahmed Camii (İstanbul/ Türkiye)</p>	<p>İstanbul'u fethinden sonra Osmanlı İmparatorluğu'nun mimarları, camiye dönüştürülen Ayasofya Kilisesi'nden etkilenmişlerdir. Osmanlı mimarları, kubbenin ağırlığını yan kıvrımlara dağıtarak askılı kubbe tarzından yararlanmışlar ve buna Selçuklu mimarisinin bazı formlarını ekleyerek Ayasofya'ya benzer yeni Osmanlı cami tarzını oluşturmuşlardır. Örneğin: İstanbul'da II. Bayezid Camii, Süleymaniye Camii ve Edirne'de Selimiye Camii.</p> <p>Ayrıca Mimar Sinan, kubbenin altına havalandırma için küçük açıklıklar ekleyerek, aydınlatmayı artırarak ve ağırlığı azaltarak kubbenin şeklini geliştirmiş, kubbe altında ses dengesi ve yankılanma dağılımına dikkat etmiştir [33]. Osmanlı mimarları sonraki yıllarda kubbeyi iki yerine dört kavisle desteklenecek şekilde geliştirmeye çalışmışlardır. Sultan Ahmed Camii'nin inşaatı 1609 yılında Sultan I. Ahmed'in talimatıyla başlamış, 1614 yılında Sedefkar Mehmet Ağa'nın tasarımıyla tamamlanmıştır. Caminin içinde mavi İznik mozaikleri kullanıldığı için cami "Blue Mosque" ya da Sultanahmet Camii olarak bilinmektedir [34]. 64 x 72 m'lik bir alanı kaplayan ibadethanenin merkezinde 43 m yüksekliğinde 23,5 metre çapında kubbe bulunmaktadır. Kubbe, her biri üçer küçük yarım kubbeyle çevrili dört yarım kubbeden oluşmaktadır. Dört küçük kubbe, ibadethanenin köşelerini kaplamaktadır [35].</p>	 <p style="text-align: center;">[29]</p>
--	--	---

Başlangıçta kubbenin görevi, altında belirli bir yeri (mihrap, türbe veya kutsal yer) işaret etmek ve o yerin camideki diğer yerlerden ayırt edilmesi için gerekli aydınlatmayı sağlamaktır. İslam'ın yayılması ve Müslümanların sayısının artmasından sonra mimarlar, sütunsuz geniş kapalı alan, caminin havalandırılması, aydınlatılması ve sesleri yönlendirmesi gibi ihtiyaçları karşılamak için kubbenin şeklini ve boyutunu geliştirmişlerdir. Camilerde kubbelerin kullanım amacı farklılaşmakla beraber, genel olarak "yapısal, çevresel ve işlevsel" nedenleri bulunmaktadır.

Tablo 2. Camilerde kubbe kullanımının nedenleri

	Açıklama	Görsel
<p>Yapısal</p>	<p>İslam coğrafyasındaki kubbeler, genellikle 20. yüzyılın başlarına kadar ahşap, taş ve tuğla malzemelerle inşa edilmiştir. Genel olarak ahşapla kubbe inşa etmek, ahşaba şekil vermenin esnekliği ve kolaylığının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Ahşap genelde taş ve tuğladan daha hafiftir ancak doğal etkenlere karşı dayanıklı değildir. Romalılar ve Bizanslılar ilk başta ahşabı kullanmışlar ancak daha sonra onu daha sağlam ve dayanıklı malzemelerle değiştirmişlerdir [16]. Ahşap kubbe, Kaya Kubbesi ve Yeşil Kubbe gibi genellikle çift olup dış kubbesi doğal etkenlerden korumak için genellikle kurşun, tuğla veya farklı malzemelerle kaplanmaktadır.</p> <p>Taş ve tuğladan yapılan kubbeler genellikle daha sağlam ve dayanıklıdır. Bu tür kubbeler, ortasında payandalar veya sütunlara ihtiyaç duymadan geniş alanları kaplayabilmektedir. Bu kubbeler birbirinin üzerine oturan dairesel sıralardan oluşur ve yukarıya doğru çıktıkça çapları küçülür. Genellikle bu amaç için özel olarak kesilmiş büyük bir taş parçası olan kubbenin kilidi adı verilen bölümlerle sonlandırılmaktadır. Dolayısıyla kubbenin şekli ile taş veya tuğla malzemesi arasındaki ilişki, sütunlardan yoksun geniş alanlar oluşturmak için yer çekiminden yararlanan fiziksel bir ilişkidir.</p>	 <p style="text-align: center;">Taş veya tuğladan kubbenin inşası [36]</p>

<p>Çevresel</p>	<p>Camilerde kubbenin “hava sirkülasyonu, iklimlendirme ve doğal aydınlatma” olmak üzere üç çevresel rolü bulunmaktadır. Kubbe daha fazla iç alan sağlar, sıcak hava üstte toplanmak üzere itilirken orta sıcaklıktaki hava mekânın alt kısmında kalır. Güneşli tarafa bakan pencerelerden sıcak hava çıkarken, gölgeli taraftaki pencereler serin ve nemli havanın içeri girmesini sağlamaktadır.</p> <p>İstanbul'daki Süleymaniye Camii'nde Mimar Sinan, iç aydınlatmada kullanılan kandillerden çıkan dumanın yukarıya doğru akmasını sağlamak için kubbenin altında farklı yönlerde küçük açıklıklar oluşturmuştur [37]; [38].</p> <p>Yapıların büyük çoğunluğu doğal ışığın içeri girmesi için duvarlardaki pencerelere bağımlıdır ancak geniş alanlı camilerde, özellikle caminin ortasında duvar pencerelerinin aydınlatması yetersiz kalmaktadır. Ayrıca yukarıdan gelen ışık, ilahi ışığı ifade eden sembolik ve estetik bir durumu temsil etmektedir.</p> <p>Kubbeler aynı zamanda iklim açısından önemlidir. Güneş ışınımının tüm yüzey boyunca düzensiz dağılımı nedeniyle düz çatılara göre % 30 daha az ısı emerler, böylece kubbenin bir kısmı kalıcı olarak gölgede kalmaktadır [39].</p>	 <p>Camilerde kubbeden havalandırma [37]</p>  <p>İstanbul Süleymaniye Camii Kubbesinin Aydınlatılması [40]</p>
<p>İşlevsel</p>	<p>Kubbenin işlevsel amacı boyutuna, konumuna ve yüksekliğine göre farklılık gösterse de dış cephedeki görünümünün caminin varlığına bir işaret olduğu konusunda genellikle görüş birliği bulunmaktadır. Tavan alanına göre küçük kubbelerin amacı, altında mihrap, türbe veya bir kutsal mekân gibi belirgin bir yeri belirtmek ve oranın diğer mekânlara göre daha fazla ışık almasını sağlamaktır.</p> <p>Büyük kubbeler ise yapısal rollerinin yanı sıra imamın sesini mihraptan caminin her yerine dağıtarak yankıdan faydalanarak katkıda bulunmaktadır. Yankı frekansı kubbenin şekline, boyutuna ve yüksekliğine göre değişmekte olup, kubbenin boyutu ve yüksekliği arttıkça artmaktadır.</p>	 <p>Mihrabın Üstündeki Kurtuba Camii Kubbesi, Kalavun Türbesi Kubbesi ve Kaya Kubbesi (soldan sağa)</p>  <p>Farklı kubbelerde yankı hareketi [41]</p>

2.4. 20. ve 21. Yüzyılda Kubbeler

18. yüzyılın ortalarında, betonarme ve demir gibi yeni yapı malzemeleri ve yapım teknikleri ortaya çıkmış, bu durum yeni çatı kaplama biçimlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bazı mimari trendler, yapı ve kaplamalarda geleneksel formlara bağlı kalarak, eski formların inşasında modern malzemeleri kullanmıştır [42].

20. yüzyılın başlarından itibaren modern yapı malzemelerinin yaygınlaşmasıyla birlikte İslam dünyasında “geleneksel şeklin sürdürülmesi, geleneksel formun modernleşmesi, geleneksel şeklin terk edilmesi” olmak üzere üç mimari akım ortaya çıkmıştır. Çalışmanın bu bölümünde üç akım doğrultusunda örnekler incelenmektedir.

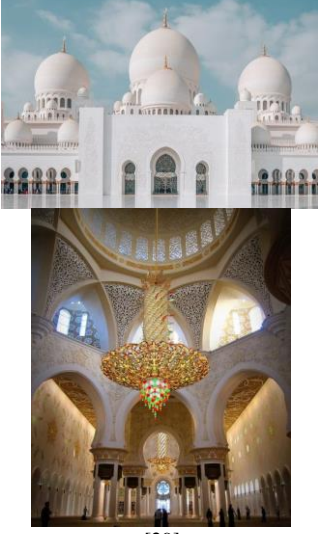
2.4.1. Geleneksel şeklin sürdürülmesi

Tasarımda modern yapı malzemeleri ve teknikler kullanılırken, caminin dış ve iç görünümü açısından geleneksel unsurlara bağlı kalınmaktadır. Kubbelerin geleneksel şekilleri

korunmakta, çoğunlukla modern malzemelerle inşa edilmekte ve daha sonra üzerine geleneksel malzemelerle kaplama yapılmaktadır.

Tablo 3. Geleneksel şeklin sürdürüldüğü örnekler

	Açıklama	Görsel
Sultan Ömer Ali Seyfeddin Camii (Brunei)	Sultan Ömer Ali Seyfeddin III'ün ön çizimine dayanarak İtalyan sanatçı ve mimar Rodolfo Nolli tarafından 1954'te tasarlanmış, 1958'de tamamlanmıştır [43]. Caminin kubbesi saf altınla kaplı olup, üç milyondan fazla Venedik cam parçasından oluşan bir mozaikle süslenmiştir. 52 m (171 ft) yüksekliğindeki kubbe, şehrin hemen her yerinden görülebilmektedir [44]. Kubbe, İtalyan mermerinden yapılmış duvarlar ve sütunlarla desteklenmektedir [45]. Kubbenin tasarımı, geleneksel Babür İslam mimarisi ile İtalyan mimarisini, modern malzeme ve tekniklerle birleştirerek, Güneydoğu Asya'daki İslam mimarisinin şaheserlerinden biri haline gelmiştir.	 [29]
Jumeirah Camii (Dubai)	Jumeirah Camii'nin inşasına 1975 yılında başlanmış ve 1979 yılında ibadete açılmıştır. Caminin kubbesi taş ve yığma malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Kubbe, Fatımi ve Memlük gibi İslam mimari tarzlarının karakteristik özelliği olan geometrik desenler, iç içe geçmiş çiçek motifleri ve yüzeylerine ince detaylar katan derin kabartma oymalarla süslenmiştir. Caminin kubbesi de dahil olmak üzere genel tasarımı, güzelliğini ve dayanıklılığını artıran pembemsi sarı kumtaşıyla kaplıdır. Kubbenin iç kısmında bej, sarı, somon pembesi ve mavi renklerinin birleşiminden oluşan bir dekorasyon hâkim olup, tavandan sarkan Fas tarzı avizeler bu dekorasyonu tamamlamaktadır [46]. Kubbe, caminin dış cephesinin odak noktasını oluşturmasının yanı sıra, özenli iç tasarımıyla da manevi atmosferi artırmaktadır.	 [47]
Çamlıca Camii (Türkiye)	İstanbul'un Asya yakasında yer alan caminin inşasına 2013 yılında başlanmış ve 2016'da tamamlanmıştır. Osmanlı üslubuna göre tasarlanmış olup Sultan Ahmed Camii'nin tasarımına oldukça benzemektedir. Türkiye Cumhuriyeti'nin en büyük kubbesi kabul edilen 72 m yüksekliğinde ve 34 m çapındaki [48] kubbenin yapımında yüksek kaliteli betonarme kullanılmıştır [49]. Kubbe, kurşun levhalarla kaplanmış [50], ısı, yankı, ses yalıtımı ve aydınlatmada geleneksel yöntemler kullanılmıştır. [49].	 [29]

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Şeyh Zayid Camii (BAE)</p>	<p>Caminin inşaatına 1998 yılında başlanmış ve 2008 yılında tamamlanmıştır. Caminin ana kubbesi 83 m yüksekliği ve 32,8 m iç çapıyla dünyanın en büyük kubbesi kabul edilmiştir. Yazılı süslemelerin kullanımına ek olarak, alçı elyaf takviyeli bitkisel bezemelerle dekore edilmiştir. Diğer kubbelerin sayısı 85 olup, dış galerileri, ana ve yan girişleri kapatacak şekilde farklı boyutlardadır [51]. Kubbenin tasarımında Babür Hint İslam kubbelerinden özellikle Lahor'daki Padişahi Camii'nin kubbesinden esinlenilmiştir. Kubbe önceden kalıplanmış beton parçalarından inşa edilmiş ve yüksek kaliteli beyaz mermerle kaplanmıştır. Kubbenin alt tarafında doğal ışık girmesini sağlayan pencereler bulunmaktadır. Kubbenin iç kısmı cam takviyeli alçı (GRG) kullanılarak geleneksel Fas tarzında tasarlanmış olup, kubbenin alt kısmı yine (GRG) tekniğiyle yazılmış altın kaplama ayetlerle kaplanmıştır [52].</p>	 <p>[29]</p>
--	---	---

Geleneksel kubbelerin şekillerinin daha hızlı ve daha büyük ölçeklerde yeniden üretilebilmesi için başta betonarme olmak üzere modern malzeme ve teknikleri kullanılmakta ya da temel çağdaş yapı malzemeleri geleneksel taş malzemelerle gizlenmektedir. Örneğin; Yemen'deki Al-Salih Camii, Tokyo Camii, Mısır'daki Al-Fattah Al-Aleem Camii, Dağıstan'daki Cuma Camii ve Şarja Camii gibi dini yapılar geleneksel görünüme sahip modern camilerdir.



Şekil 7. Soldan sağa Al-Saleh Camii, Tokyo Camii ve Al-Fattah Al-Aleem Camii [29]

2.4.2. Geleneksel formun modernleşmesi

Bu trendin takipçileri geleneksel formlar, malzemeler ve modern teknikler arasında bir uzlaşmaya varmaya çalışmakta, çoğu durumda kubbe dâhil caminin ana unsurları korunmaktadır. Kubbeler küresel bir şekilde oluşturulmuştur, ancak temel yapı malzemelerine saygı gösterilerek, geleneksel kaplama malzemelerinin arkasına saklanmaya gerek kalmadan, geleneksel kubbe desenlerinden farklı çağdaş şekiller oluşturmanın yolu açılmıştır.

Tablo 4. Geleneksel formu modernleştirme örnekleri

	Açıklama	Görsel
İstiklal Camii (Cakarta)	1978 yılında Cakarta'da hizmete açılan cami, 120.000 kişiyi ağırlama kapasitesiyle Güneydoğu Asya'nın en büyük camisi olarak kabul edilmektedir [53]. Çapı 45 m olan kubbenin, 12 büyük sütun ve 86 ton ağırlığında paslanmaz çelikten yapılmış güçlü bir çerçeve tarafından desteklenmektedir. Bu tasarım geniş bir iç mekâna olanak tanımaktadır [54]. Tasarım hava akışını desteklese de kubbe yapısındaki sınırlı açıklıklar nedeniyle yeterli doğal aydınlatmadan yoksundur. Ayrıca, seramik kaplama ve geniş mermer malzemelerin kullanımı, geleneksel yapı malzemelerine kıyasla daha yüksek bakım gereksinimlerine yol açabilmektedir.	 <p>[29]</p>
Kul Şerif Camii (Kazan, Rusya)	Cami 1996-2006 yılları arasında inşa edilmiştir. Kubbenin tasarımında geleneksel İslam motifleri ile modern inşaat teknikleri kullanılmıştır. Kubbe caminin merkezinden 36 m (118 ft) yüksekte olup, çevresi 17 m'dir [55]. Kubbenin şekli "Kazan" şapkasından (Tatar hanlarının gücünün tarihi simgesi) esinlenerek tasarlanmıştır. Kubbenin yüzeyinde Tatar kültüründe Rönesans ve refahı simgeleyen lale biçimli pencereler yer almaktadır [56]. Kubbe, birbirini kesen sekiz adet betonarme kemerin üzerine oturarak eşsiz bir yapı oluşturmaktadır [57]. Ural Dağları'ndan getirilen beyaz mermerle kaplı kubbenin tepesi, minarelerle uyum içinde turkuaz rengine boyanmıştır. Cephede Arapça hat sanatıyla yazılmış bronz yazılar yer almaktadır.	 <p>[57]</p>
Cezayir Ulu Camii	Suudi Arabistan Krallığı'nın Mekke'deki Mescit-i Haram ve Medine'deki Mescid-i Nebevi'den sonra dünyanın üçüncü büyük camisi olarak kabul edilmektedir [58] ve dünyanın en yüksek minaresine (265 m) sahiptir [59]. İbadethanenin bulunduğu ana binaya bakan büyük kubbenin çapı 50 m, yüksekliği ise 70 m'dir [53] ve bu nedenle dünyanın en büyük kubbelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Kaplaması, altın renkli alüminyum paneller üzerine taşla süslenmiş bir yapıdan yapılmıştır [60]. Kubbe, geleneksel ve modernliğin bir karışımı olan mukarnas şeklinde içeriden kaplanmış olup, gün ışığının gizli açıklıklardan içeri girmesine izin vermektedir. Geceleri ibadethanenin içinden gelen ışığı dış cepheye yansıtan aydınlık bir kubbeye dönüşmektedir. Kubbe yarım küre şeklinde tasarlanmış, beton ve demirden yapılmış, İslami bitki süslemeleriyle kaplanmıştır. Bu tasarımla kubbe daha iyi ve yenilikçi bir şekilde aydınlatma amaçlı kullanılmıştır.	 <p>[61]</p>

<p>Köln Merkez Camii</p>	<p>Caminin şekli, geleneksel Osmanlı camisi ile beyaz lale çiçeği karışımını akla getirmektedir. Kubbe, sadece tavana yerleştirilen bir kütle değil, duvarların devamını oluşturduğu için caminin kütlelerinde de önemli bir rol oynamaktadır. Kubbe 35 m yüksekliğinde olup, her biri 55 m yüksekliğinde iki minareyle çevrilidir [62], Caminin cephesi dört kavisli duvarla (her tarafta iki) çevrelenen merkezi bir beton kubbeden oluşmaktadır. Bu duvarlar cam cephelerle ayrılmıştır. Cam cephelerin ortadaki merkezi kubbeyi ayırmasıyla caminin gündüzleri ışıkla dolu, geceleri ise ışıltılı olması sağlanmaktadır. Tasarımda gelenek ve modernliği birleştiren çağdaş bir görünüm sunulmuş, ibadet edenlerin ve ziyaretçilerin dış görünüşün anlamı konusunda farklı fikirler oluşturmasını (Osmanlı kubbesi, açılan bir çiçek tomurcuğu ve dua için açık eller) sağlamıştır. Aynı zamanda caminin işlevsel ve çevresel ihtiyaçlarını da karşılayabilmiştir.</p>	 <p>[29]</p>
<p>Şeyh Halife Camii (Al Ain-BAE)</p>	<p>Abu Dabi Emirliği'nin Al Ain şehrinde inşaatına 2013 [63] yılında başlanmış ve 2021 yılında açılmıştır. İbadet salonunun tamamını kaplayan kubbe, caminin ana unsurudur. Kubbenin yüksekliği 29 m, dış çapı 86 m, iç çapı ise 75 m'dir [64]. Dıştan dört çift ana sütunla desteklenen kubbe, içte sütunsuz olarak kutsal alanı örtmektedir. Tasarımında Cezayir Tlemcen'deki Ulu Cami gibi Emevi Endülüs tarzı benimsenmiştir. Kubbenin ayırt edici özelliği, Arap sülüs hattından (Kâbe kisve yazısı) belirgin harflerle dokunmuş üst üste bindirilmiş Kur'an ayetlerine dayanması nedeniyle, detay ve işleme açısından geleneksel cami kubbelerinden farklı olmasıdır. Kubbe, yaklaşık 5.200 ibadetçiyi ağırlayabilecek 15.684 m²'lik alanı kaplamaktadır [65]. Kubbe tavanının üst kısmında aydınlatma için pencereler açarak taklitten uzak, yeni bir form oluşturulmuştur.</p>	 <p>[58]</p>

Mimarların geleneksel mimariden kısmen uzaklaşmaları kubbelerin özellikle aydınlatma ve kapalı alanın arttırılması gibi temel işlevleri destekleyecek şekilde geliştirilmelerine olanak sağlamıştır. Ancak bazı durumlarda kubbenin şeklinin asıl amacı ihmal edilmiş, işlevsel rolü hesaba katılmadan soyut ve sanatsal şekillere ya da bloklara odaklanılmıştır. Kazakistan'daki Meşhur Yusuf Camii ve Malezya'daki Sandakan İlçesi Camii örneklerinde olduğu gibi kubbenin yüksekliği artırılmış ya da Yeşil Vadi Camisi ve Hırvistandaki Riyeka Camisi'nde uygulandığı gibi kubbe birkaç parçaya bölünüp yeniden birleştirilmiştir.



Şekil 8 Soldan sağa Meşhur Yusuf Camii, Sandakan İlçesi Camii, Riyeka Camisi, Yeşil Vadi Camisi [29]

2.4.3. Geleneksel şeklin terk edilmesi (modernizm)

Bu tür tasarımlarda, cami mimarisinin geleneksel unsurları terk edilerek dış görünüş, iç tasarım ve geleneksel süslemelere önem verilmeyip sadece çağdaş ihtiyaç ve gereksinimlere odaklanılmaktadır. Gelişmiş yapı malzemeleri ve teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Bu bölümde, kubbenin küresel şeklinin, tasarımcılarının daha etkili ve güzel olduğunu düşündüğü farklı şekil ve bloklarla değiştirildiği bazı örnekler değerlendirilmektedir.

Tablo 5. Çağdaş formların örnekleri

	Açıklama	Görsel
Betül Mukarram Camii (Bangladeş)	Çoğu caminin aksine, Betül Mukarram Camii'nin ana ibadet mekanının üzerinde kubbe bulunmamaktadır. Caminin kuzey ve güney taraflarında merkezi kubbenin yokluğunu telafi etmek için düz bir çatı ve iki sıg kubbeli revak bulunmaktadır. Cami, Kâbe'nin planından esinlenerek tasarlanmış [66] ve bu sayede modern ve geleneksel mimari harmanlanmıştır. İbadet yerinin doğal ışık ve havalandırmasının sağlanması için tasarıma iki açık avlu dahil edilmiştir [67]. Caminin düz çatı tasarımı, karmaşık süslemelerden ve şekillerden uzak geniş bir ibadethaneye katkıda bulunmuştur. Bu tasarım ayrıca caminin çevresel ve işlevsel gereksinimlerini ihmal etmeden binanın genel maliyetini de düşürmüştür.	 [29]
Kral Faysal Camii (Pakistan)	Pakistan'ın başkenti İslamabad'da bulunan Kral Faysal Cami, dünyanın 5., Güney Asya'nın ise en büyük camisidir. Türk mühendis Vedat Dalokay tarafından tasarlanmıştır [68]. Cami, sekiz tarafı beton kabuktan oluşan çağdaş bir tasarıma sahip ve tipik bir Bedevi çadırının tasarımından ilham alınmıştır. Cami ilk tasarlandığında geleneksel bir kubbenin olmayışı, çadır benzeri şekli ve dört minarenin tasarımı Kâbe'yi ima eden görünmez bir küp oluşturması nedeniyle geleneksel toplum tarafından eleştirilmiştir [69]. Kapalı ibadet yeri yaklaşık 10.000 kişiyi ağırlamakta ve beton levhaları ayıran boşluklar sayesinde doğal aydınlatma sağlanmaktadır. Cami, sadece etkileyici boyutu ve dış cephesiyle ünlü değil, aynı zamanda zarif iç tasarımı ile de bilinmektedir [70].	 [71]
TBMM Camii (Türkiye)	Caminin inşaatına 1986 yılında başlanmış ve 1989 yılında tamamlanmıştır. Cami kompleksinin büyük bir kısmı alanın yamacında gizlenmekte, bir kısmı ise çevredeki peyzajın üzerinde yükselmektedir. Kubbenin yerini alana doğru çıkıntı yapan basamaklı bir piramit almıştır [72]. Dereceli piramit şekli meşcit alanına yukarıdan hakimdir. Kubbenin yerleştirildiği piramidin orta kısmı, çatının geri kalan bileşenlerinden daha yüksek bir seviyededir. Bu orta bölümün köşeleri soyut mukarnas olarak tanımlanabilecek kısımlarla ayrılmıştır. Kible duvarı boyunca uzanan büyük pencerelerle doğrudan aydınlatma sağlanmaktadır. Dolaylı aydınlatma, ibadet salonuna, onu örten piramidin basamakları içindeki açıklıklardan girmektedir. Camideki form, mekân, ışık ve peyzaj ile bina arasındaki ilişkiler modern yollarla ele alınmakta, kubbe ve minare gibi geleneksel unsurların yerine kullanılabilir yeni formlar oluşturmaktadır.	  [63]

Tebük Üniversitesi Camisi (Suudi Arabistan)	<p>2020 yılında hizmete açılan caminin toplam alanı 7.100 m², kapasitesi 3.450 kişidir. Her biri 50 m yüksekliğinde iki minaresi bulunmaktadır. Çatısı, 5887 m² alana sahip betonlu kubbe şeklinde olup, mozaik ve camla kaplıdır [73]. Caminin en belirgin özelliği sütunsuz büyük kubbesidir. Caminin kubbesinde güneş ışığının ve doğal ışığın içeri girmesi için cam açıklıklar bulunmaktadır. İçi alüminyum ve cam panellerle kaplanmış olan kubbe farklı ve modern bir tarzda tasarlanmıştır. Ayrıca merkezi klima sistemi ve gelişmiş ses sistemi ile desteklenmiştir [74].</p>	 <p>[65]</p>
Kral Abdullah Finans Merkezi Camii (Suudi Arabistan)	<p>Suudi Arabistan Krallığı'nın Riyad kentindeki Kral Abdullah Finans Merkezi'nde bulunan cami, 2017 yılında inşa edilmiş ve Mimar Henning Larsen kristal çöl gülünden ilham almıştır [75]. Binanın belirli geometrik şekilleri geleneksel İslami desenlere dayanmakta ve gölgeleme sağlamaktadır. Taş ve cam kaplama, binayı sıcak ortamdan korurken çöl manzarası fikrini de güçlendirmektedir [76]. Caminin geniş iç mekânı sütunlardan arındırılmış olup, yükler dış kabuk aracılığıyla aktarılmaktadır. Batı tarafı, üçgen ve soyut sarkıtları temsil eden vitraylı bir mihrap ile ayırt edilmektedir. Mukarnaslardan ilham alan üçgen tavan panelleri ilave aydınlatma ve akustik iyileştirme sağlamaktadır. Zemin katta, Kur'an-ı Kerim'den ayetleri tasvir eden çok katmanlı soyut Arapça kaligrafisi ile küçük pencereler tasarlanmıştır [76].</p>	 <p>[67]</p>
İmam Rıza Külliyesi Camii (İran)	<p>Kalout Mimarlık Stüdyosu tarafından tasarlanan İmam Rıza Külliyesi İran'ın Taherán şehrinde bulunmaktadır. 2012 yılında inşa edilmiştir [77]. Caminin kubbesi, yeni neslin katılımını teşvik etmek amacıyla birlik ve toplumsal bütünlüğün sembolü olarak birbirine geçmiş iki eli referans alarak çağdaş bir şekilde tasarlanmıştır [78]. Tavan yüksekliklerindeki farktan yararlanılarak dolaylı aydınlatma sağlanmıştır.</p>	 <p>[78]</p>

Geleneksel kubbe formundan uzaklaşarak, çağdaş malzeme ve tekniklerle uyum içinde, modern işlevsel ihtiyaçları karşılayan yenilikçi çatı tasarımları mümkün hale gelmiştir. Bu tasarımlarda simgesel çağrışımlara dikkat edilmiş, işlevsel ve çevresel özellikleri artırılmıştır.

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kubbe, Emeviler dönemine kadar olan süreçte camilerin orijinal unsurlarından biri değildir. Camilerin alanları ve yapı malzemelerinin mukavemeti arttıkça tavanları yükseltilmiştir. Zamanla bu camilerin aydınlatılması ve yapısının daha fazla ibadetçiyi barındıracak şekilde yükseltilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Kubbenin, uzun süre camilerle ilişkilendirilmesi nedeniyle işlevsel bir ihtiyaçtan sembolik bir ihtiyaca dönüşmüştür. Bu nedenle, Müslümanların büyük bir kısmı geleneksel kubbe şeklini korumayı tercih etmekte, geleneksel formları geliştiren veya tamamen terk eden mimari trendleri endişeyle izlemektedirler. İncelenen örnekler aşağıdakileri göstermektedir:

- Geleneksel mimari üslubu taklit eden camiler, yapı malzemelerinin gelişmesine bağlı olarak kubbe ölçeğini büyütme, dış ve iç biçimini geçmişte olduğu gibi korumak ve yapı malzemesini geleneksel şekle benzeyecek şekilde uyarlamakla ilgilenmektedir. Genel olarak fonksiyonel yönüne dikkat edilmemektedir. Çeşitli durumlarda geleneksel biçime ulaşmak için kubbelerin bazı özellikleri terk edilmektedir.
- Geleneksel şekli geliştiren akım, uzlaşıcı bir çözüme ulaşmaya çalışmış, geleneksel biçimden sapmamış ve temel modern yapı malzemelerini gizlemeden kubbenin küresel şeklini korumuştur. Bu mimari akımın takipçileri, kubbenin işlevsel ve çevresel niteliklerini artırmak için yapı malzemeleri ve tekniklerindeki gelişmelerden yararlanmışlardır.
- Geleneksel mimari formlardan uzaklaşmak, kubbe için mevcut işlevsel gereksinimlere duyarlı, çağdaş yapı malzemeleri ve teknikleriyle uyumlu yeni formlar oluşturmak için daha fazla alan açmıştır. Ayrıca bu tasarımlar sembolizmden uzaklaşmamış, işlevsel ihtiyaçlara cevap vermesi binanın güzelliğine engel olmamıştır. Tam tersine bu kubbelerin her biri, caminin inşasının ardındaki bir simgeyi veya amacı (çadır, çöl gülü, ellerin kenetlenmesi) ifade eden bir yapı haline gelmiştir.

Modernlik ve gelenek arasındaki kubbenin şekli konusundaki çatışma sadece estetik kompozisyona bağlı olmayıp, işlevsel özelliklere de dayanmaktadır. Dolayısıyla kubbelerin geleneksel formunun korunması, geliştirilmesi veya kaldırılması, sağladığı işlevsel gereksinimlere bağlı olmalıdır. Genel olarak mimarların geleneksel mimari formlardan uzaklaşması, tasarımda daha fazla özgürlük ve esnekliğin önünü açmakta, böylece çağdaş malzeme ya da inşaat tekniklerinin en iyi şekilde kullanılmasına ve modern teknolojinin binalara dahil edilmesine olanak tanımaktadır. Dolayısıyla geleneksel kubbenin önceki dönemlerde sağladığı işlevler, çağın olanaklarına daha uygun yeni form ve teknolojilerle telafi edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Varga, T. (2014). Perfectly preserved mammoth bone dwellings found in Ukraine may be the earliest examples of architecture. <https://earthlymission.com/mezhyrich-perfectly-preserved-mammoth-bone-dwellings-shelters-ukraine-earliest-examples-architecture/>.
2. Kubba, S. (1987). Mesopotamian architecture and town planning: from the Mesolithic to the end of the Proto-historic period, c. 10,000-3,500 BC. BAR.
3. Creswell, K.A.C. (1915). Persian domes before 1400 AD. *The Burlington Magazine for Connoisseurs*, 26(142), 146-155.
4. Ardalan, N. (1979). Architecture as Symbol and Self-identity. In Proceedings of Seminar Four in the Series. *Architectural Transformation in the Islamic World*, 9-12.
5. Huff, D., & O'Kane, B. (1990). Čahārtāq. *Encyclopaedia Iranica*, December, 15.
6. Wikipedia, (2019). Chahartaq (architecture) https://en.wikipedia.org/wiki/Chahartaq_architecture. Erişim Tarihi: 03.02.2025
7. Ashkan, M., & Ahmad, Y. (2009). Persian domes: History, morphology and typologies. *Archnet-Ijar*, 3(3).
8. Wikipedia, (2024). History of Persian domes. https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Persian_domes. Erişim Tarihi: 03.02.2025
9. Mounes, H. (1981). Mosques, World of Knowledge Series, Kuwait. مؤنس. ح، (1981). المساجد، سلسلة عالم المعرفة، الكويت.
10. Fleming, J., Honour, H., & Pevsner, N. (1991). The Penguin dictionary of architecture. Penguin Books.
11. Engineering Rome, (2024). Roman Dome Development. http://engineeringrome.org/roman_dome_development/ Erişim Tarihi: 03.02.2025
12. Cowan, H. J. (1977). A history of masonry and concrete domes in building construction. *Building and Environment*, 12(1), 1-24.
13. Google Earth, <https://earth.google.com/web/> Erişim Tarihi: 03.02.2025
14. Roth, L. M. (2018). Understanding architecture: Its elements, history, and meaning. Routledge.
15. Krautheimer, R., & Ćurčić, S. (1992). Early christian and Byzantine architecture (Vol. 24). Yale University Press.
16. Patricios, N. N. (2020). The dome in Byzantine church architecture. *Byzantina Symmeikta*, 85-130.

17. Mintz, J. (2010). The Umayyad Dome of the rock. A historical narrative through architecture, Jarusalem.
18. El-Gabiş Israa, (2019) Kubbet üs Sahra'da estetik ve mimari değerler. <https://www.scribd.com/document/701462846/>. Erişim Tarihi: 03.02.2025
19. Ebu Dayyeh A.A. (2012). Yerel mimarlık okulunun Kubbet-üs-Sahra'nın inşasına etkisi. *Al-Quds Beşerî Bilimler ve Sosyal Araştırmalar Açık Üniversitesi Dergisi*, 1 (26).
20. Ecemberblog, (2019).<https://ecemberblog.wordpress.com/2019/11/26/gothic-europe/>Erişim Tarihi: 25.02.2025.
21. Madain Project, (2022). Domes of the Umayyad Mosque. <https://madainproject.com/domes-of-the-umayyad-mosque-google-vignette>.Erişim Tarihi: 03.02.2025
22. Abdulvahab, H. (1964). Antik camilerin tarihi. Kahire.
23. Tarek, T. (2024). "İmam Şafii türbesi" İslam sanatını keşfedin'de. Sınır Tanımayan Müze, 2024.
24. Masrawy, (2014). İmam Şafii Camii – Kahire. <https://www.masrawy.com/islameyat/others/masaged/details/2014/3/18/196590/>. Erişim Tarihi: 03.02.2025
25. Hafız, Ali. (1968). Medine Tarihi'nden Bölümler,s. 127-129, Medine Matbaacılık ve Yayıncılık Şirketi. <https://noor-book.com/en/0irpvm>. Erişim Tarihi: 23.02.2025.
26. 3jaeb, (2024). Mescid-i Nebevi'nin yeşil kubbesinin üstünde bulunan bu şeyin sırrı nedir?, <https://www.3jaeb.com/2014/03/secrets-of-the-green-dome.html>. Erişim Tarihi: 25.02.2025.
27. Farid, M. (1896). Osmanlı İmparatorluğu tarihi. Maḥba'at Muḥammad Afandî Mustafa.
28. Okumura, S. (2012). The mamluk kaaba curtain in the Bursa Grand Mosque. Published in Textiles and Politics: Textile Society of America 13th Biennial Symposium Proceedings, Washington, DC, September 18- September 22, 2012.
29. Pinterest, (2025). [Http: Pinterest.com](http://Pinterest.com) Erişim Tarihi: 03.02.2025
30. Kuran, A. (1988). Mimar Sinan'ın camileri.
31. Necipoğlu, G. (2005). Sinan çağı: Osmanlı İmparatorluğu'nda mimarlık kültürü. Londra: Reaktion Books. ISBN 978-1-86189-253-9.
32. Yüksel, A. (2009). Sultan Selim camii ve külliyesi. TDV İslâm Ansiklopedisi, 37, 513-516.
33. El-Talawi, M. (2020). Osmanlı mimarı "Sinan" Türkiye'nin eşsiz cami tasarımını yaratan adamın hikayesi. <https://www.aljazeera.net/midan/intellect/history/2020/5/2/المعماري-سنان>
34. Guralp, A. (2024). The Sultan Ahmet Mosque restoration works between 1988-1990. *WIT Transactions on The Built Environment*, 42.
35. Blair, S. S., & Bloom, J. M. (1996). The art and architecture of Islam 1250-1800. Yale University press.
36. Bayraktar, A., Bayraktar, S., & Hökelekli, E. (2023). Strengthening techniques for masonry domes: A review. *International Journal of Space Structures*, 38(1), 30-39.
37. Soleimani, Z., Calautit, J. K., & Hughes, B. R. (2016). Computational analysis of natural ventilation flows in geodesic dome building in hot climates. *Computation*, 4(3), 31.
38. Othman, M. (2017). İslam kubbesi. Tasarımın ve Mimarlık Sanatlarının Görkemi. <https://www.alittihad.ae/article/36394/2017/روعةالتصميموفنونالمعمارالاسلامية>
39. Rahmon, M. (2019). Suriye'de kil mimarisi, Şeyh Hilal köyü. <https://www.syr-res.com/article/20205.html>
40. Arel, H. S., & Öner, M. (2017). Use of daylight in mosques: Meaning and practice in three different cases
41. Hassan, A.H.A., & Al-Khafaji, S.J. (2006). The effect of domes geometry formation on acoustic performance in mosques (Hypotheses imagination). *Journal of Engineering*, 12(3).
42. Mueller, P., Abriatis, J., & Kieffer, J. (2017). The art of restoration: Saving the US capitol dome. *The Military Engineer*, 109(710), 46-50.
43. Ho, Hannah Ming Yit Ho., & Deterding, D. (2021). *Engaging Modern Brunei*. Springer Singapore.
44. Lopes, R. O., & bin Mohd Hasnan, N. (2022). The expression of cultural identity in mosque architecture in Brunei Darussalam. *TRaNS: Trans-Regional and-National Studies of Southeast Asia*, 10(1), 39-58.).
45. Koch, N., Valiyev, A., & Hazmi Zaini, K. (2018). Mosques as monuments: an inter-Asian perspective on monumentality and religious landscapes. *cultural geographies*, 25(1), 183-199.).
46. Jalal, Maan.(2024) . Mosques of the UAE: Jumeirah landmark's interiors are as beautiful as the outside. <https://www.thenationalnews.com/arts-culture/art-design/2024/11/01/jumeirah-mosque-design-interior-dubai-uae/>. Erişim Tarihi: 21.03.2025
47. Structurae (2025). <https://structurae.net/en/structures/jumeirah-mosque> Erişim Tarihi: 21.03.2025
48. İzgi, Mehmet Tevfik . Öğr. Gör. Seyit Ali Eren (2020). In International West Asia Congress Of Tourism Research (Iwact-2020) The Book Of Proceedings (P. 174).
49. TRT1, (2019). Çamlıca Camii. https://www.youtube.com/watch?v=aFKf_nu0ciM.Erişim Tarihi: 03.02.2025
50. Endüstri Habar, (2024). Çamlıca Camisinin kubbesi Maniş Yapı'nın imzasını taşıyor. <https://www.stendustri.com.tr/camllica-camisinin-kubbesi-manis-yapinin-imzasini-tasiyor>.Erişim Tarihi: 03.02.2025

51. Mahmoud, R. A., & Shaltout, M. A. H. (2021). Islamic arches are source of contemporary architectural creativity at the Sheikh Zayed Mosque in Abu Dhabi. *Journal of Architecture, Arts and Humanities - Volume 6 - Issue 26*
52. El Amrousi, M., & Elhakeem, M. (2020). The dome in contemporary monuments of the UAE between tradition and postmodernity. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 960 (2), 022107.
53. Purba, K. (2010). Istiqlal: The work of a Christian architect. *The Jakarta Post*. <https://www.thejakartapost.com/news/2010/11/10/istiqlal-the-work-a-christian-architect.html>. Erişim Tarihi: 03.02.2025
54. Dhiracitta, A. (2020). Istiqlal mosque by friedrich silaban- Shifting perspectives on colonial architecture.
55. Kazan Kremlin, (2025). Kul Sharif Mosque <https://kazan-kremlin.ru/en/poi/kul-sharif-mosque/>. Erişim Tarihi: 21.03.2025.
56. Adventure, (2025). <https://www.advantour.com/russia/kazan/kul-sharif-mosque.htm>. Erişim Tarihi: 21.03.2025.
57. Sattarov, Ayvar (2018). Kul Sharif Mosque. <https://mosqpedia.org/masajid/kul-sharif-mosque-2/>. Erişim Tarihi: 21.03.2025.
58. The Guardian, (2016). Algeria builds giant mosque with world's tallest minaret". <https://www.theguardian.com/world/2016/may/06/algeria-builds-giant-mosque-with-worlds-tallest-minaret>. Erişim Tarihi: 03.02.2025
59. Block, I. (2020). 2019 was record-breaking year for supertall skyscrapers. <https://www.dezeen.com/2020/01/27/supertall-skyscrapers-record-2019-ctbuh/> Erişim Tarihi: 03.02.2025
60. Adli, L. C., & Chemrouk, N. C. (2015). On drafting a new architectural syntax: case study of the great mosque of Algiers. *Journal of Islamic Architecture*, 3(3), 106-114.
61. Wikipedia, (2025). https://ar.wikipedia.org/wiki/جامع_الجزائر .09.01.2025. Erişim Tarihi: 24.02.2025
62. Staub, A. (2018). The tale of two mosques: Marxloher Central Mosque vs. Cologne Central Mosque. In ARCC Conference Repository.
63. Abdul Kader, B. (2014). Al Ain to have one of the largest mosques in UAE. <https://gulfnnews.com/uae/al-ain-to-have-one-of-the-largest-mosques-in-uae-1.1406553>.
64. Al Nuaimi, R. (2019). "Iconic Al Ain mosque work in final stages". <https://www.gulfoday.ae/news/2019/06/28/iconic-al-ain-mosque-work-in-final-stages>. Erişim Tarihi: 03.02.2025
65. Youtube (2024). <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=x6RXSkGDghA> Erişim Tarihi: 27.02.2025
66. Hejazi, H., & Salguero Montaña, Ó. (2021). Multiculturalism, gentrification, and Islam in the public space: the case of Baitul Mukarram in Lavapiés.
67. Roseline, (2022). Top 10 Interesting Facts about Baitul Mukarram Mosque, Bangladesh. <https://www.discoverwalks.com/blog/bangladesh/top-10-interesting-facts-about-baitul-mukarram-mosque-bangladesh>. Erişim Tarihi: 21.03.2025.
68. Naz, N. (2005). Contribution of Turkish architects to the national architecture of Pakistan: Vedat Dalokay. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*. <https://hdl.handle.net/11511/93176>.
69. Nasim, S. (2008). Decorative elements of the Faisal Mosque, Islamabad. PhD diss., Fine Arts Department, Lahore College for Women University, Pakistan.
70. Dalokay, V. (1990). Kral Faisal Camisi, İslamabad, Pakistan. *Yapı*, 101 (April), 53-61.
71. Wikipedia, (2022). https://en.wikipedia.org/wiki/Faisal_Mosque. Erişim Tarihi: 24.02.2025
72. Al-Asad, M. (1995). Grand National Assembly Mosque On-site Review Report, edited by Aga Khan Award for Architecture.
73. Alshaamal, (2020). Orta Doğu'nun içeriden sütünsüz en büyük kubbesine sahip olan Tabuk'taki bir cami. <https://www.alshaamal.com/103470/> Erişim Tarihi: 03.02.2025
74. Mahmoud, S., & Al-Sakkaf, A. (2023). Modern trends in mosques architecture. *Mosque Architecture: A Transdisciplinary Debate*, 9-14.
75. Yaseen, M. (2020). Kral Abdullah Finans Bölgesi Camii. <https://www.syr-res.com/user/1864.html>. Erişim Tarihi: 03.02.2025
76. Writer.S, (2017). Omrania designed KAFD Grand mosque is shortlisted for WAF Award. <https://www.commercialinteriordesign.com/insight/omrania-designed-kafd-grand-mosque-is-shortlisted-for-waf-award> Erişim Tarihi: 03.02.2025
77. Fiorelli, A. (2020). Imam Reza Complex. Tehran, Iran 2012. In *Architettura, Dialogo, Religione. Nuovi spazi di condivisione per il terzo millennio, LetteraVentidue Edizioni*, 224-225).
78. Arch daily,(2016). Imam Reza Complex / Kalout Architect Studio, ArchDaily. <https://www.archdaily.com/782352/imam-reza-complex-kalout-architect-studio>. Erişim Tarihi: 03.02.2025



IDENTIFYING OPTIMAL BIOGAS PLANT INSTALLATION IN EASTERN ANATOLIA REGION USING CLUSTERING TECHNIQUES

Onur İNAN ^{ID*1}

¹Mehmet Akif Ersoy University, Bucak Emin Gulmez Vocational School of Technical Sciences

E-posta: oinan@mehmetakif.edu.tr

ABSTRACT: The increasing depletion of fossil fuels and their contribution to environmental issues have prompted energy managers and planners to shift their focus toward renewable energy sources to meet energy demands. Biogas produced through anaerobic digestion or fermentation of organic materials, stands out as a key energy source for converting agricultural, animal, industrial, and municipal waste into usable energy. This renewable energy is applied across various domains, including heating, transportation, and electricity generation. Biogas plants are crucial in efficiently processing agricultural, industrial, and urban waste. Therefore, optimizing the location and capacity of biogas plants during their installation is essential to maximize their efficiency and potential. In this study, to determine the biogas plant installation with the most suitable location and capacity according to the 2021 data of the Eastern Anatolia Region, firstly, the number of cattle, sheep, and poultry raised in the provinces and districts of the region, the amount of biogas produced accordingly, and the latitude and longitude values of the relevant settlement were achieved. The collected data were evaluated with the K-means clustering method, and the most suitable location for the biogas plant installation was found together with the production capacity. The results obtained from this study are anticipated to guide researchers operating in the relevant field and pave the way for similar studies.

Keywords: *Biogas Production, Plant Installation, K-means Clustering*

1. INTRODUCTION

In recent years, significant investments have been made in renewable energy sources in Türkiye to reduce the increasing demand for energy imports and to meet the energy supply without harming the environment in line with sustainability policies. The gradual depletion of non-renewable resources has provided an impetus for the development of renewable energy alternatives. For this purpose, the potential for biogas production from animal waste throughout Türkiye was evaluated and a feasibility analysis was conducted for biogas facilities that could be established in each province. In addition, the economic viability of biogas facilities and

carbon dioxide savings were analyzed [1]. In another study, the spatial distribution of hydraulic, wind, geothermal, solar and biomass energy potential in Türkiye was evaluated and data were presented for the effective planning and use of renewable energy sources [2]. In another publication, the biogas potential in Düzce province was assessed and the most suitable location for the biogas plant was determined using the K-means clustering algorithm. In the relevant study, the optimum plant location was determined to minimize transportation costs, considering the locations of chicken farms and biogas production potentials [3]. In another biogas study, the biogas production potential that can be obtained from cattle, sheep and poultry manure in Muğla province was spatially analyzed and the electricity, heat and coal equivalents of the obtained biogas were calculated [4]. In a similar study, seventeen compost facility clusters were determined for Çorum province utilizing the K-means clustering method and the facilities were positioned by showing the cluster centers on the map [5]. In another study conducted in Konya Closed Basin, optimum areas for biogas plant installation in related region were determined employing Multi-Criteria Decision Making (MDCM) methods and Geographic Information Systems (GIS) [6].

Recently, various studies have been conducted to examine the role and energy potential of animal waste in biogas production in Eastern Anatolia Region. In the first of these studies, the amount of dry biomass in the region and the calorific value of this biomass were computed and suggestions were made on how to utilize the biomass potential effectively and widely [7]. In another study on the Eastern Anatolia Region, the effectiveness of microalgae production opportunities for increasing biogas production was revealed along with evaluating livestock and plant production potential [8]. In another publication, the amount of waste originating from cattle and sheep in 14 provinces in the Eastern Anatolia Region was calculated, and then the biogas energy that could be produced from these wastes and the number of people who could benefit from this energy were determined [9].

In studies close to present day, it is seen that studies on biogas production and biogas plant installation have been carried out intensively. In the first of these studies, a new hybrid modeling and optimization approach was developed to determine the most suitable installation location for a biogas plant in Manisa province. As a result of the analyses conducted using different optimization methods, it was determined that the establishment of a biogas plant in Gölçimen, Salihli and Ahmetli regions would provide an annual electricity production of 68 GWh [10]. In another study, the biogas potential that can be obtained from agricultural waste

in Hubei Province of China was estimated and the reasons for the low utilization rate were investigated by analyzing the difference with the current biogas production. The results revealed that the current production reached only 3.17% of this potential [11]. In another study conducted in the Haryana state of India, the biomass potential that can be obtained from animal manure was estimated and its effects on reducing greenhouse gas emissions were evaluated [12]. In another study implemented in Denizli, Türkiye, an innovative method was applied for biomass supply chain network design using artificial intelligence, Geographic Information Systems (GIS), Multi-Criteria Decision Making (MCDM) and mathematical modeling. The results showed that nine biogas plants with a capacity of 2000 kWh could be established, 83.2% of the net income would come from electricity sales and the rest from fertilizer sales, and it was determined that the biggest financial factor was the fertilizer sales price [13]. Another study computed the potential of converting agricultural and forestry waste into biomass energy in China and analyzed the energy production capacity and carbon emission reduction effect for 2020. According to the results, the use of biomass energy can replace 256 million tons of standard coal and reduce approximately 520 million tons of carbon dioxide emissions, which has an impact of 4–6% on the carbon peak [14].

Clustering is a process that involves automatically grouping similar objects into distinct clusters. This method of extracting data is one of the most widely used techniques in data analysis to uncover patterns and insights within a dataset. In essence, clustering seeks to discover subgroups in the data such that points within the same cluster are highly similar, whereas points in different clusters are notably distinct. This technique has been particularly effective for analyzing high-dimensional datasets, which are often challenging to visualize [15]. K-means clustering is a straightforward, efficient, and easy-to-implement technique for addressing various data analysis challenges. As an unsupervised machine learning algorithm, it aims to divide a dataset into k distinct clusters based on predefined criteria. It groups data points based on their proximity to the centroid of each cluster. The algorithm operates iteratively by associating each data point with the nearest cluster and recomputing the cluster centroids. Consequently, data points within the same cluster exhibit greater similarity while the distinction between clusters is optimized. It has been stated that K-means clustering is suitable for many analysis applications and is a useful tool for large data sets [16]. Another study showed that K-means clustering can achieve successful results even in high-dimensional data sets [17]. Recently, K-means clustering was employed to compute biogas yield and determine the best location for the biogas production facility [18,19].

The Eastern Anatolia Region is one of the most important regions of Türkiye in terms of biogas production from animal waste due to its large pasture areas and intensive animal husbandry activities. Previously in literature, the biogas potential in the Eastern Anatolia Region was previously obtained by taking into account basic approaches. However, in these studies, physical parameters such as age, weight, etc. of animal species were not taken into account [20,21]. Determining suitable biogas production plant locations in this region will help meet the energy needs in agricultural and rural areas and also support environmental sustainability by improving waste management. In economic terms, electricity and heat energy can be acquired through biogas production, contributing to the local economy. In addition, organic fertilizer production that can be utilized in agricultural production can be increased and dependence on fossil fuels can be reduced. A study to find the most suitable biogas production plant location in the region can accelerate regional development, increase energy supply security and provide environmental benefits by reducing carbon emissions.

This study aimed to assess the biogas potential derived from cattle, sheep, and poultry manure in the Eastern Anatolia Region and its districts (these potential values were calculated using the calculation technique of references [22,23]) and to identify the most optimal plant location using the K-means clustering method. For this purpose, the biogas potential and the ideal plant location were specified based on livestock data, including the number of cattle, sheep, and poultry obtained from TUIK for the Eastern Anatolia Region in 2021.

2. FUNDAMENTALS OF K-MEANS CLUSTERING METHOD

The k-means algorithm is one of the most straightforward unsupervised learning methods to address clustering tasks [24]. K-means, a popular partitioning-based clustering technique, is extensively utilized in scientific research and industrial applications as one of the most common clustering algorithms [25]. The core idea behind the K-means algorithm is to partition a dataset of n data points into k clusters, as determined by the provided input parameters. The objective is to enhance the similarity of data points within each cluster while reducing the similarity between points in different clusters. Cluster similarity is determined by calculating the average distance between the cluster's centroid, which is the center of gravity, and the other data points within the same cluster [26]. In the K-means method, clustering is generally done based on Euclidean distance:

$$p = (p_1, p_2, \dots, p_n) \text{ and } q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$$

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad (1)$$

K-Means algorithm begins by randomly selecting k initial centroids, where k refers to the number of clusters. Each data point in the dataset is then assigned to the cluster whose centroid is nearest to it. The cluster center value is determined by computing the average of the points within the cluster. This process continues until the center values remain constant. [27]. The steps of the K-means method are carried out in the following sequence:

Step 1: k objects are randomly chosen and designated as the initial cluster centers. M_1, M_2, \dots, M_k The midpoints are computed as follows [28]:

$$M_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik} \quad (2)$$

Step2: Intra-cluster changes are computed with the Squared Error Formula [29]:

$$e_i^2 = \sum_{i=1}^{n_k} (x_{ik} - M_k)^2 \quad (3)$$

For the space of all sets containing set K , the squared error is the sum of the variations within the set. Therefore, the squared error value is computed as follows:

$$E_k^2 = \sum_{k=1}^K e_k^2 \quad (4)$$

Step 3: Each data point is allocated to the cluster that is most proximate to it.

Step 4: Once all the data points have been assigned to their nearest clusters, the centroids are recalculated for each k cluster.

Step 5: Steps 2 and 3 are repeated until the Cluster Centers remain same [30].

3.MATERIAL AND METHOD

This study used data on the number of cattle, sheep, and poultry produced and the amount of biogas produced from TUIK in 2021 from 14 provinces and 125 districts of the Eastern Anatolia Region. According to TUIK, cattle are categorized into domestic, buffalo, culture, and hybrid breeds. Similarly, sheep are classified as merino, domestic sheep, hair goat, and Angora goat. Lastly, in the poultry category, egg and meat chickens, ducks, turkeys, and geese are included [31]. Due to TUIK's data 2021, the total number of cattle, sheep, and poultry in the Eastern Anatolia Region on a provincial basis and the corresponding total biogas values produced are given in Table 1.

In this study, biogas potential was computed by evaluating each animal species individually within its respective category, with calculations based on the quantity of manure produced, as informed by relevant publications [22,23]. To approximate manure production, live mass values of each animal according to its species, breed and age group were taken into account. The daily fresh manure output was determined using a percentage of live weight. These values were assigned as 6% for cattle, 5% for small ruminants and 4% for poultry. These percentages were applied to calculate daily manure amounts for each province, accounting for differences in age, breed, and species. Separate calculations were performed for cattle, small ruminants, and poultry, and the total manure volume was subsequently derived. It is important to note that manure production can fluctuate depending on factors such as climate, nutrition, and breeding practices. Accordingly, species-specific usability coefficients were applied. These coefficients were determined as 50% for cattle, 13% for small ruminants and 99% for poultry. In summary, the relevant parameters for each animal species expressed in Table 2 were calculated by the following formula [23], taking into account the reference [22]:

$$BP = TM.SR.AC.EB \quad (5)$$

Here, BP represents the annual gas potential (m³), SR denotes for the fertilizer solid ratio (%), AC expresses the usability coefficient (%) and EB symbolizes the estimated biogas value of total solid fertilizer (m³/kg).

Table 1. Total number of animals and the corresponding total biogas values produced in the provinces of Eastern Anatolia Region

Province	Cattle	Sheep/Goat	Poultry	Biogas Value (m ³)
Ardahan	331468	118527	295053	172994417
Ağrı	413012	1427144	236455	85782794
Bingöl	132307	696131	808614	36275883
Bitlis	88991	795230	95534	25244037
Elâzığ	187326	1089120	6844851	103849194
Erzincan	128289	550077	1354928	34089619
Erzurum	860404	900623	213061	184190375
Hakkâri	37923	676719	59673	14425098
Iğdır	100400	1402380	132059	31842530
Kars	620723	604755	893192	129277243
Malatya	174986	367606	6085786	61701154
Muş	335798	1250000	467007	81853187
Tunceli	25749	354337	81810	8821344
Van	166401	3384220	462032	58450998
Total	3603777	13616869	18030055	1028797881

Table 2. Biogas production and manure properties across different animal breeds [22]

Animal Type	Age Range by Category (in Months)	Live Mass Amount	Manure Amount		Solid Manure (SM) (%)	Availability (AC) Duration of stay in barn	Efficiency of biogas (l/kg)
			% mass	kg/day			
Cattle	x<12 12<x<24 X>24	200-900	5-6	10-20	5-25	Dairy 65 Beef 25	200-350
Small ruminant	x<6 6<x<12 12<x<24 X>24	20-100	4-5	2	30	13	100-310
Poultry		2-10	3-5	0.08-0.1	10-35 50-90	99	310-620 550-650

In this study, the Elbow method determined the most appropriate number of clusters. The Elbow method is used to determine the most appropriate number of clusters (k) in the K-means algorithm. This method is based on computing the sum of the squared distances of each data point to the cluster center it belongs to for different k values and analyzing how this value changes depending on k. The aim is to determine the optimal number of clusters by detecting the point where the total variance decreases rapidly [32]. The Elbow method algorithm is implemented briefly as follows:

Step 1: For different k values, the K-means algorithm is applied, and clustering is performed.

Step2: Within-Cluster Sum of Squares (WCSS), that is, the sum of the squares of the distances of the points in each cluster to the cluster center (centroid), is computed as follows:

$$WCSS = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2 \tag{6}$$

Here, k is the number of clusters; Ci represents the ith cluster. In addition, x is a data point in the cluster, and μ_i exemplifies the center of the ith cluster (centroid). In the equation above, WCSS is calculated by taking the square of the Euclidean distance between the data point x and the cluster center μ_i .

Step 3: The point where the rate of decline of WCSS slows significantly (elbow point) is found. This point is accepted as the k optimum value.

Based on 2021 TUIK data, the optimum number of clusters was determined using the elbow method, as shown in Figure 1. The point k=4 in the graph was selected as the most appropriate value.

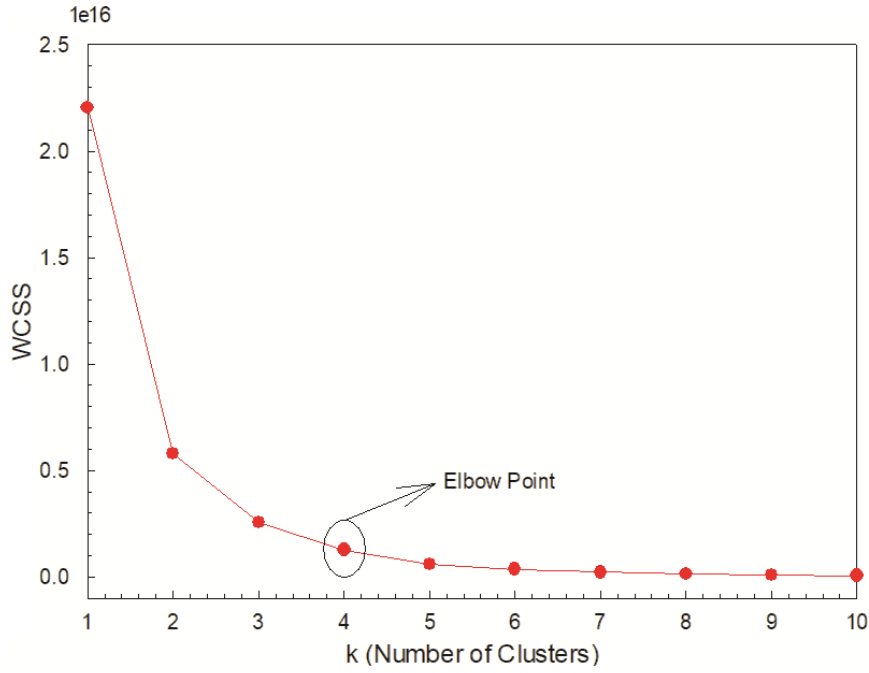


Figure 1. Implementation of the Elbow method to determine the optimum number of clusters

4. DETERMINING MOST APPROPRIATE PLANT LOCATIONS BY K-MEANS CLUSTERING

The biogas production potential of 14 provinces and 125 districts in the Eastern Anatolia Region was achieved as in Figure 2, depending on the latitude and longitude values, when the cluster number value was taken as 4 in the K-Means clustering method.

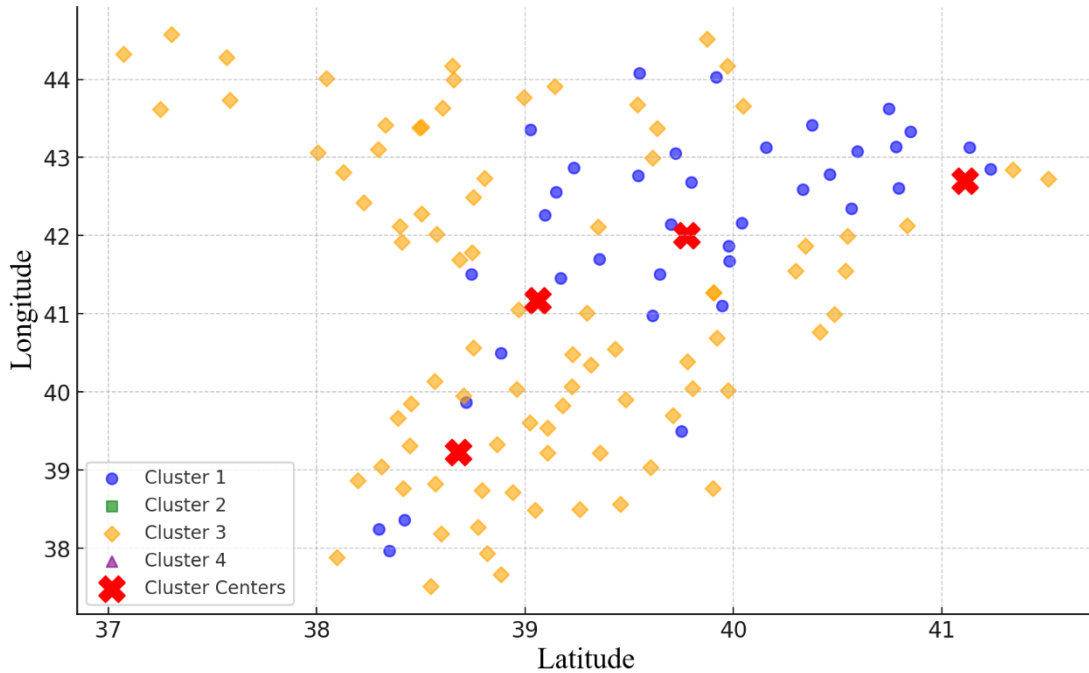


Figure 2. Eastern Anatolia Region biogas production potential K-Means clustering results

Depending on this distribution, Table 2 shows the number of data points, average latitude, average longitude, total biogas production, and average biogas production values of the 4 clusters attained depending on K-Means clustering, respectively.

Table 2. Latitude, longitude, and biogas production values obtained by K-Means clustering

Cluster	Number of Data Points	Avg Latitude	Avg Longitude	Total Biogas Production	Avg Biogas Production (m ³)
Cluster 1	37	39.774097	42.007117	539131945.6950	14571133.6674
Cluster 2	1	41.110481	42.702171	123105834.2977	123105834.2977
Cluster 3	86	39.059853	41.167441	294401750.7379	3423276.1713
Cluster 4	1	38.680969	39.226398	72158350.4887	72158350.4887

In addition, a heat map was generated, as in Figure 3, to specify the correlation of the amount of biogas produced with the number of cattle, sheep, and poultry. Based on the heat map achieved, the following conclusions were reached:

- The correlation between the number of livestock and biogas production was 0.67. Based on this, it can be concluded that there is a medium-high level positive relationship between the amount of biogas and the number of cattle.
- The correlation between the number of small cattle and biogas production was determined as 0.20. Based on this, it can be stated that there is a weak relationship between the amount of biogas and the number of small cattle.
- The correlation between the number of poultry and biogas production was found to be 0.44. This result indicates a moderate positive relationship between the quantity of biogas produced and the poultry count.

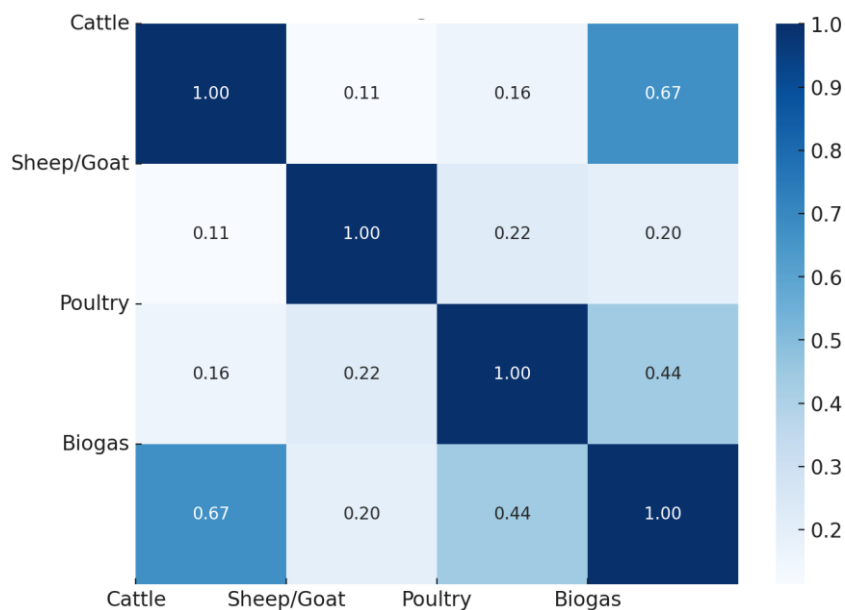


Figure 3. Correlation between biogas and livestock numbers

As can be seen in the heat map, the species with the highest correlation with biogas production among animal species is cattle. This is because the calculation of biogas potential based on manure amount includes a wide range of factors such as age, weight and the duration of stay of each animal in the place where it is housed. Similar results were obtained in previous biogas potential studies conducted throughout Türkiye [33,34].

Finally, the nearest cities and districts were determined by looking at latitude and longitude values, and the most suitable biogas power plant location was found. The province/district location with the finest biogas production potential for each cluster, latitude-longitude values, and estimated biogas production amounts are displayed in Table 3. As can be seen from Table 3, Cluster 2 and Cluster 4 have extremely large values in terms of biogas production. Since K-Means uses average values when determining cluster centers, the centers are concentrated in a single point due to these large values. Therefore, these points with very high biogas production form a single cluster.

Table 3. Locations having the best biogas production potentials with their respective production amounts

Cluster	Province/District Location	Latitude/Longitude Values	Estimated Biogas Production Amount (m ³)
Cluster 1	Erzurum/Karayazı	39.70/42.14	19.2 million
Cluster 2	Ardahan/Center	41.11/42.70	123.1 million
Cluster 3	Bingöl/Solhan	38.96/41.05	4.25 million
Cluster 4	Elazığ/Center	38.68/39.23	72.1 million

According to Table 3, Ardahan Central district has the highest potential for biogas production. A biogas power plant established here will achieve the highest efficiency in the Eastern Anatolia Region.

5. CONCLUSION

Biogas technology has gained significance in generating renewable energy by converting and disposing of wastes that contribute to environmental issues, thereby transforming them into valuable energy resources. Despite Türkiye having substantial potential for utilizing organic waste, this resource remains underutilized. Additionally, investments in energy projects centered on organic waste have not seen sufficient demand in Türkiye. In this context, a study was carried out on the most suitable biogas production location and potential for the Eastern Anatolia region, where animal husbandry is among the main sources of income.

According to TUIK 2021 data in the Eastern Anatolia Region, there are 3603777 Cattle, 13616869 Sheep/Goats, and 18030055 Poultry. These numbers indicate that the region has significant potential for biogas production. Hence, it is crucial to identify the most suitable location data to optimize energy production for a potential biogas plant in the Eastern Anatolia Region.

For this reason, the most suitable number of clusters for implementing the K-Means algorithm was determined first. Subsequently, the K-Means clustering algorithm was employed to determine the optimal location for a plant that would meet the highest biogas production. As a result of applying the clustering algorithm, four settlements were identified with their excessive biogas production potential. Among these, it was concluded that the central district of Ardahan province is the most suitable settlement for establishing a biogas power plant with million production capacity 123.1 million. Furthermore, the relationship between the quantity of biogas produced and the numbers of cattle, sheep, and poultry was mentioned.

As a result of the K-means clustering algorithm, Ardahan (Center) district was found to be the settlement with the highest biogas potential. Therefore, since it has the highest animal waste source, continuous and efficient biogas production can be provided. Accordingly, large-scale facilities can be established. In addition, Ardahan (Center) district is a settlement with completed double roads, so it has the advantage of transporting raw materials to the biogas facility with ease. The produced biogas can be distributed more easily to the city center and industrial zones. If electricity production is to be made, connection to the grid can be achieved at a lower cost. On the other hand, due to the harsh winter conditions of Ardahan (Center) district, its location on a high altitude and rugged terrain, and the difficulties of storage and waste management, additional facility or infrastructure investments may be required in addition to the biogas facility installation.

In this study, K-Means clustering method was used to determine the spatial distribution of biogas production potential and the obtained results were presented with a data-driven analysis approach. Since the aim of the study was to determine the most suitable facility locations for biogas production in the Eastern Anatolia Region, alternative analysis methods such as methodological comparison or multi-criteria decision making (MCDM) were excluded from the scope. In terms of spatial visualization, clustering results were expressed numerically and considering the data-driven approach of the study, additional mapping studies were not

considered a necessity. In future studies, more comprehensive analyses with different methodologies will be evaluated based on this study.

The findings of this study provide an important decision mechanism in terms of evaluating the biogas production potential in the Eastern Anatolia Region and determining the most suitable power plant locations. The results obtained can contribute to strategic planning for biogas plants in the region and to direct energy policies. When the applicability of the study is evaluated in terms of animal waste management and renewable energy investments, it can be expanded by integrating with logistics and infrastructure conditions. For future studies, it is planned to further detail the spatial analyses, to conduct comparative analyses with multi-criteria decision making (MCDM) methods, and to evaluate the effects of infrastructure and logistics factors on biogas power plant location selection. In addition, modeling studies are considered to increase the economic and environmental sustainability of biogas production processes.

This study is thought to contribute to increasing the amount of biogas production from animal waste in the Eastern Anatolia Region, increasing the efficiency of regional livestock enterprises, and inspiring studies on similar renewable energy studies.

REFERENCES

- [1]. Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yaldız, O., Ertekin, C., Ozturk, H. H. (2010). The prospective of potential biogas plants that can utilize animal manure in Turkey, *Energy Exploration & Exploitation*, 28 (3), 187-206.
- [2]. Güngör-Demirci, D. (2015). Spatial analysis of renewable energy potential and use in Turkey, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7(1):13126.
- [3]. Yuruk, F., Erdogmus, P. (2018). Finding an optimum location for biogas plant: a case study for Duzce, Turkey, *Neural Computing and Applications*, 29(1), 157-165.
- [4]. Aksu, H. H., Kumas, K., Inan, O., Akyuz, A., Gungor, A. (2019). Determination and spatial analysis of Muğla, Turkey biogas potential by tier methodologies, *AIP Conference Proceedings* 2178(1),030044.
- [5]. Dundar, S., Bircan H., Eleroglu, H. (2021). Optimal Ranking of Compost Facilities that Can Be Established in Çorum with COPRAS and MAIRCA Methods, 2nd International Congress of the Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology, 2523-2531.
- [6]. Tulun, S., Arsu, T., Gurbuz, E. (2023). Selection of the most suitable biogas facility location with the geographical information system and multi-criteria decision-making methods: a case study of Konya Closed Basin, Turkey, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, 3439–3461.
- [7]. Nacar-Kocer, N. and Unlu, A., Biomass Potential of East Anatolia Region and Energy Production, *Research of Eastern Anatolia Region*, 5(2), 175-181, 2007.
- [8]. Asla, F., Ozgen, I., Esen, H. (2016). The Opportunities for Utilization from Biogas and Microalgae in Energy Planning and the Potential of Eastern Anatolia Region, *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*, 1289-1299.
- [9]. Caglayan, G. H. (2020). Investigation of Biogas Potential of Cattle and Sheep Waste in Eastern Anatolia Region, *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 7(3), 672 – 681.

- [10]. Ceylan, A. B., Aydın, L., Nil M., Mamur, H, Polatoglu, I and Sozen, H. (2023). A new hybrid approach in selection of optimum establishment location of the biogas energy production plant, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13:5771–5786.
- [11]. Liu, T., Ferrari, G., Pezzuolo, A., Alengebawy, A., Jin, K., Yang, G., Li, Q. and Ai, P. (2023). Evaluation and analysis of biogas potential from agricultural waste in Hubei Province, China, *Agricultural Systems*, 205:103577.
- [12]. Nehra, M. and Jain, S. (2023) Estimation of renewable biogas energy potential from livestock manure: a case study of India, *Bioresource Technology Reports*, 22:101432.
- [13]. Senocak, A. A, Guner Goren, H. (2023). Three-phase artificial intelligence-geographic information systems-based biomass network design approach: a case study in Denizli, *Applied Energy*, 343:121214.
- [14]. Zhang, C., Nie, J. and Yan, X. (2023) Estimation of biomass utilization potential in China and the impact on carbon peaking, *Environmental Science and Pollution Research*, 30:94255–94275.
- [15]. Du, KL., Angelov P. (2014). Data density-based clustering, 14th UK Workshop on Computational Intelligence (UKCI), 1-7.
- [16]. Wagstaff, K., Cardie, C., Rogers, S. and Schrödl, S. (2001). Constrained K-means Clustering with Background Knowledge, *ICML '01: Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning*, 577 – 584.
- [17]. Kanungo, T., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Piatko, C. D., Silverman R., Wu A. Y., (2004). A local search approximation algorithm for k-means clustering, *Computational Geometry*, 28(2-3), 89-112.
- [18]. Dhavaleswarapu, R.K., Hoysall, C.N. and Srinivasaiah, D. (2023). Statistical clustering of biomass to predict biogas yields, *Bioresource Technology Reports*, 23: 101557.
- [19] Obal, T.M., Souza, J.T., Florentino, H.O., Francisco, A.C. and Soler, E.M. (2024). A matheuristic applied to clustering rural properties and allocating plants for biogas generation, *Energy*, 305:132249
- [20]. Karakuzulu, Z., Arici, F. and Dumansizoglu, M. (2017). Biogas Energy Potential of Eastern Anatolian Region, *The Journal of Academic Social Science*, 39, 541-554.
- [21]. Caglayan, G.H. (2020). Investigation of Biogas Potential of Cattle and Sheep Waste in Eastern Anatolia Region, *Turkish Journal Of Agricultural And Natural Sciences*, 7(3): 672–681.
- [22]. Pence, I., Kumaş, K., Siseci Çeşmeli, M., Akyüz, A. (2023). Modeling of energy and emissions from animal manure using machine learning methods: the case of the Western Mediterranean Region, Turkey. *Environ Sci Pollut Res* 30, 22631–22652 <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23780-5>
- [23]. Pence, I., Kumaş, K., Cesmeli, M.S. Akyüz, A. (2024). Future prediction of biogas potential and CH₄ emission with boosting algorithms: the case of cattle, small ruminant, and poultry manure from Turkey. *Environ Sci Pollut Res* 31, 24461–24479. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32666-7>
- [24]. MacQueen, J. (1967). Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations, *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, 1, 281 – 297.
- [25]. Berkhin, P. (2002). Survey of Clustering Data Mining Techniques, Technical Report, Accrue Software, Inc.,
- [26]. Han, J., Kamber, M., Tung, A. (2001). Spatial Clustering Methods in Data Mining: A Survey, *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery, Research Monographs in GIS*.
- [27]. Amasyali, M. F., Ersoy, O. (2008). The Performance Factors of Clustering Ensembles, *IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference*.
- [28]. Gersho, A., Gray, R. M. (1992). *Vector Quantization and Signal Compression*, The Springer International Series in Engineering and Computer Science 1st edition.
- [29]. Linde, Y., Buzo, A., Gray R. (1980). An Algorithm for Vector Quantizer Design, *IEEE Transactions on Communications*, 28(1), 84-95.
- [30]. Sariman, G. (2011). A Study of Clustering Techniques in Data Mining: Comparison of The K-Means and K-Medoids Clustering Algorithms, *Suleyman Demirel University Science Institute Journal*, 15(3), 192–202.

- [31]. Turkish Statistical Institute (TUİK-2021 data), <https://data.tuik.gov.tr>.
- [32]. Tibshirani, R., Walther, G., Hastie, T. (2001). Estimating the Number of Clusters in a Data Set via the Gap Statistic, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Statistical Methodology)*, 63(2), 411–423.
- [33]. Avciođlu, A.O. and Turker, U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:1557–1561.
- [34]. Melikoglu, M. and Menekse, Z.K. (2020). Forecasting Turkey’s cattle and sheep manure based biomethane potentials till 2026, *Biomass and Bioenergy*, 132:105440.



Yalvaç Akademi Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yalvac>

YALVAÇ (ISPARTA) MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Koray Özdoğan^{1*} , Behzat Gökçen Demir¹, Akın Akbulut¹

¹Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

E-Posta: akozdogan@gmail.com

ÖZET

Isparta'nın Merkez ilçesinden sonra en büyük ilçesi olan Yalvaç, geçmişten günümüze önemli bir yerleşim alanı olmuştur. Tarihsel süreçte madencilik faaliyetleri de ilçede ekonomik bir faaliyet alanı olmuştur. Geçmiş dönemlerde kil, linyit, boksit, mermer, barit, kalker (mıcır) gibi birçok madende madencilik faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda ise boksit, mermer ve kalker (mıcır) madenciliğine yönelik faaliyetler sürdürülmektedir. Bu çalışma kapsamında Yalvaç'a kayıtlı maden ruhsat sayıları ve bu ruhsatlara ilişkin istatistik bilgileri verilmiştir. Ayrıca, Yalvaç ilçesinde rezervi ortaya çıkarılmış madenler ve bu madenlerde yapılmış veya yapılmaya devam eden madencilik faaliyetleri genel bir anlamda ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, bu çalışmada, bölgedeki madencilik faaliyetlerinin, madenlerin özellikleri ile maden ruhsat sayıları, ruhsat bedelleri ve Devlet hakları yönüyle değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Isparta, Yalvaç, maden, madencilik.

ABSTRACT

Yalvaç, which is the largest district of Isparta after the central district, has been an important settlement area from the past to the present. In the historical period, mining activities have also been an area of economic activity in the district. In the past periods, mining activities were carried out in many mines such as clay, lignite, bauxite, marble, barite, limestone (aggregate). In recent years, bauxite, marble and limestone (aggregate) mining activities have been carried out. Within the scope of this study, the number of mining licenses registered in Yalvaç and statistical information about these licenses are given. In addition, the mines whose reserves have been revealed in Yalvaç district and the mining activities that have been or are being carried out in these mines have been presented in a general sense. In summary, this study aims to evaluate the mining activities in the region in terms of the characteristics of the mines, the number of mining licences, licence fees and state rights.

Keywords: Isparta, Yalvaç, mine, mining.

1. GİRİŞ

Isparta ilinin önemli ilçelerinden biri olan Yalvaç, Isparta'ya 105 km uzaklıktadır. Isparta ilinin, Merkez ilçesi de dahil olmak üzere on üç ilçesi arasında Merkez ilçesinden sonra en büyük ilçesi Yalvaç'tır. Yalvaç, Sultan Dağları'nın güney eteklerinde yer almaktadır ve 1.415 km²'lik bir alan üzerine kurulmuştur. Denizden ortalama yüksekliği 1.100 metre olan Yalvaç'ın tek gölü Hoyran Gölü'dür [1]. Eğirdir Gölü'nün kuzey yarısına verilen isim olan Hoyran Gölü, ilçenin yaklaşık olarak 25 km. batısında yer almaktadır. Taşevi ve Tırtar köylerinin Hoyran Gölü'ndeki kıyıları sunduğu doğal güzellikler açısından önemlidir [1,2,3].

1071 yılından sonra, Yalvaç ve çevresinde Türkler görülmeye başlamıştır. Sultan II. Kılıç Arslan ile Bizans İmparatoru Manuel Komnenos arasında 1176 yılında yapılan Miryokefalon Savaşı ile Yalvaç kesin olarak Türk egemenliği altına geçmiştir. Malazgirt Savaşından sonra Türklerin Anadolu coğrafyasına yayılmaları sırasında, Oğuz boylarından Emir Boyu, Yalvaç Bey önderliğinde Antiokheia'ya yerleşmiştir. Böylece, kent Yalvaç adını almıştır. Türk Beyinin

adını alan Yalvaç, 1243 yılında İlhanlılar'ın kontrolüne girmiş ve 1280'li yıllarda kurulan Hamitoğulları Beyliği sınırları içinde kalmıştır. 1374 yılında Osmanlı Devleti egemenliğine giren Yalvaç, 1840 yılında ise bir kaza olarak Konya'ya bağlanmıştır. Belediye teşkilatı 1864 yılında kurulan Yalvaç, Cumhuriyetin ilanından sonra ise Isparta'ya bağlanmıştır [4].

Çalışma alanında, son yıllarda kamu kurum ve kuruluşları ile gerçek veya tüzel kişiler tarafından gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri sonucunda önemli maden rezervleri ortaya çıkarılmıştır. Bu oluşumların bir kısmı geçmiş yıllarda üretilmesine rağmen günümüzde madencilik faaliyetlerine devam edilmemektedir. Çalışma alanında, 2021, 2022 ve 2023 yıllarında mermer, kalker ve boksit işletmeciliği süreklilik göstermiştir.

Bu çalışmada, Yalvaç ilçesinde gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri değerlendirilerek, geçmiş dönemlerde üretimi yapılan ve halen üretim faaliyetlerine devam edilen madenlere yönelik genel bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. Literatürde, ilçe bazında madencilik verileri ve bilgilerinin yer aldığı çalışma veya raporlar oldukça sınırlıdır. Yalvaç ilçesinde rezervi ortaya çıkarılmış madenler ve bu madenlerde yapılmış veya yapılmaya devam eden madencilik faaliyetlerinin özellikle maden ruhsat istatistikleri yönüyle incelendiği güncel çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile bölgedeki madencilik faaliyetlerinin, madenlerin özellikleri ile maden ruhsat sayıları, ruhsat bedelleri ve Devlet hakları yönüyle değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, Isparta ilinin önemli ilçelerinden biri olan Yalvaç ilçesinde bulunan maden rezervleri ve madencilik faaliyetleri açısından genel bilgiler verilmiştir. Öncelikle, çalışma alanında geçmiş dönemde üretimi yapılmış veya son yıllarda maden üretim faaliyetlerine devam edilen madenler araştırılmıştır. Bu kapsamda, maden ruhsatları ve maden işletme izinleri değerlendirmeye alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan maden ruhsat sahalarına ilişkin veriler için herhangi bir analiz yöntemi uygulanmamış, bu veriler genel olarak yorumlanarak bölge madenciliği hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma kapsamında, maden işletme faaliyetlerinin çevresel etkileri ve maden işletmeciliği üzerine bir değerlendirme veya gözlem yapılmamıştır.

Çalışma alanında üretimi ve sonrasında satışı yapılan madenlerin ocak başı satış fiyatları ile arama ve işletme ruhsatları için her yıl tahakkuk eden ruhsat bedelleri ve işletme izinli işletme ruhsatları için tahakkuk eden Devlet hakları araştırılarak ekonomik açıdan değerlendirmeler yapılmıştır.

Doğal taş sektöründe jeolojik (gerçek) mermer dışında kalan ve doğal taş olarak değerlendirilen birçok kayaç için ticari anlamda mermer terimi kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında da mermer terimi ticari anlamı ile değerlendirilerek, çalışma alanında blok amaçlı olarak üretilen kireçtaşı ve dolomitler için bu terim kullanılmıştır.

Çalışma alanında üretim faaliyetlerinin gerçekleştirildiği ve ticari olarak Elegance Grey ismi verilen mermerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin açıklanabilmesi amacıyla, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarı'nda yapılmış analiz sonuçları değerlendirmeye alınmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Yalvaç İlçesinde Maden Rezervleri ve Madencilik Faaliyetleri

Çalışma alanında, Maden ve Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan jeolojik araştırma ve çalışmalar sonucunda önemli miktarlarda maden rezervleri ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmalarda, alüminyum kaynağı olan boksit madeninin öne çıktığı görülmektedir. Isparta ili genelinde Şarkikarağaç sahaları dışında, çalışma alanındaki Sücüllü, Üzümlü T., Hacı Alabazdağı, Başyurt ve Kireli sahalarında %34-47 Al_2O_3 tenörü aralığında 54.502.000 ton görünür, Şarkikarağaç, Bağkonak ve Yalvaç sahalarında ise 101.558.400 ton görünür+muhtemel, Bağkonak (Kozluçay, Sudere) sahalarında ise %34-37,50 Al_2O_3 tenörü aralığında 17.247.000 ton alüminyum rezervi olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, çalışma alanı açısından bir önemli nokta ise Kaşıkara bölgesindeki kil oluşumları ve Yarıkkaya sahasındaki linyit oluşumlarından bahsedilmesidir [5].

Tuğla, çalışma alanı sınırları içerisinde yer alan Pisidia Antiocheia Antik Kenti'nin daha başlangıç döneminden itibaren yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. İlçede, 1990'lı yıllara kadar üretim faaliyetlerinin devam ettiği tuğla-kiremit fabrikalarının olduğu bilinmektedir. Ekonomik nedenlerle daha sonra bu fabrikalar kapatılmış olsa da fabrikalar, çalışma alanının kil oluşumları açısından zengin olduğu ve tuğla üretim geleneğinin antik dönemden günümüze kadar devam ettiğini göstermesi açısından oldukça önemlidir [6]. Çalışma alanında, 1970-1980'li yıllarda ticari hayatı doğrudan etkileyen unsur tuğla-kiremit fabrikaları olmuş ve beş adet tuğla-kiremit fabrikası kurulmuştur. Bu fabrikalar Kaş Aşağı ve Abacılar Mahallesi sınırlarında konumlandırılmıştır [7]. Bu beş fabrikadan üçünün bacası günümüze ulaşmıştır [7, 8]. Tuğla-kiremit fabrikalarına ait olan ve günümüze ulaşan bu bacalar, ilçede yaşayan insanların kentsel hafızasında önemli rol oynamaktadır [7]. Çalışma alanının Kaş Aşağı Mahallesi'nde bulunan tuğla-kiremit fabrikalarına ait bacalar, Antalya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun tescil kararı ile Baca I, Baca II ve Baca III olarak kültür envanterine kayıt edilmiştir (Şekil 1). Bu bacalar, eski tuğla-kiremit fabrikalarını simgelemesi ve bölgede bir nirengi noktası olması açısından oldukça önemlidir. Bacalar, yukarıya doğru daralan silindirik formda, harman tuğlasından örülmüş ve yer yer metal kasnaklarla çevrilmiştir [9, 10, 11]. Madenlerin, tesis veya fabrikalarda uç ürün elde edilmesinde önemli hammaddeler olarak kullanıldığı dikkate alındığında; bu bacalar, bölgedeki madencilik faaliyetlerinin tarihsel önemini yansıtmaları yönünden oldukça önemlidir. Maden Kanunu kapsamında, tuğla-kiremit kili üretiminin yapılabilmesi için öncelikle I. grup (b) bendi işletme ruhsatına hak sağlanması, sonrasında tuğla-kiremit işletme izninin alınması gereklidir. Temmuz 2024 tarihi itibarıyla, çalışma alanında yürürlükte olan I. grup (b) bendi işletme ruhsatı bulunmamaktadır [12].



Şekil 1. Yalvaç ilçesinde kültür envanterine kayıtlı olan, Kaş Aşağı Mahallesi'ndeki Baca I (solda) ve Baca II (ortada) ve Abacılar Mahallesi'ndeki Baca III isimli eski tuğla-kiremit fabrikası bacalarından görünüm [9,10,11]

Çalışma alanında, Temmuz 2024 itibarıyla on sekizi işletme, üçü arama olmak üzere yirmi bir adet maden ruhsatı bulunmaktadır. Arama ruhsatlarının tamamı IV. grup ruhsatlara yöneliktir. Çalışma alanında, arama ruhsat aşamaları bulunan diğer ruhsat grupları olan II. grup (b), III. ve V. grup ruhsatlara yönelik Temmuz 2024 itibarıyla maden arama faaliyeti bulunmamaktadır. İşletme ruhsatları açısından işletme izni düzenlenen madenlerden altısı mermer, üçü boksit, ikisi mermer+kalker, ikisi linyit, biri kalker ve biri barittir (işletme izni düzenlenme aşamasında mermer isminin ticari anlamı ile değerlendirildiği anlaşılmaktadır) [12]. Maden işletme izinleri açısından mermer, boksit ve kalker işletme izinleri daha fazladır. Çalışma alanında 2021, 2022 ve 2023 yıllarında sadece bu madenlere yönelik maden üretim faaliyetinde bulunulmuştur. Barit ve linyit açısından da çalışma alanı potansiyel bir madencilik alanıdır [13]. Isparta’da, barit ve boksit işletme izinli ruhsat sahaları Yalvaç ve Şarkikaraağaç, linyit işletme izinli ruhsat sahaları ise Yalvaç ve Eğirdir ilçelerine kayıtlıdır. İl genelinde ilçe sayısı (on üç) dikkate alındığında bölgedeki arama ve işletme ruhsat sayılarının ortalama seviyede (yaklaşık %8,5) olduğu düşünülmektedir (Tablo 1). Ayrıca, çalışma alanında, maden ruhsat sahaları dışında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Karayolları Genel Müdürlüğü adına düzenlenmiş hammadde üretim izinli sahalar bulunmaktadır.

Tablo 1. Isparta maden ruhsat sayıları [12]

Bölge	Arama	İşletme	Toplam
Yalvaç	3	18	21
Isparta	37	210	247

Barit maden işletmeciliği açısından son yıllarda üretim faaliyetinde bulunulmasa da daha önceki dönemlerde Hisarardı, Özgüney ve Özbayat Köyleri çevresinde barit üretimi gerçekleştirilmiştir [14]. Çalışma alanında Yukarıkaşıkara Kasabası ve Yarikkaya Köyleri çevresinde linyit yatakları yer almaktadır. Hoyran Gölü’nün kuzey kesiminde bulunan Yukarıkaşıkara linyit yatakları, ilçe merkezinin yaklaşık 30 km. batısındadır. Yaklaşık 30 milyon ton rezerv bulunan Yukarıkaşıkara formasyonunun linyit düzeyleri, Üst Miosen yaşlıdır. Formasyonun içerisinde gözlenen linyitin tabanında siyah, koyu mavimsi bir kil bulunurken üst dokunağında beyaz renkli marnlar bulunmaktadır. Üç seviye halinde gözlenen yataklar 14 metre kalınlığa ulaşmaktadır. Yarikkaya linyit yatakları ise Yalvaç, Gelendost ve Şarkikaraağaç ilçeleri arasında geniş bir alanda yayılmaktadır. Linyit, Madenli (Gelendost) ve Yarikkaya (Yalvaç) formasyonları olarak iki ayrı stratigrafik düzeyde incelenebilmektedir. Yarikkaya’da bulunan ekonomik linyit düzeyi Yarikkaya formasyonu içerisindeki kil taşı üyesinin en üst düzeylerinde bulunmaktadır. Kömürün üst seviyesinde ise marnlar yer almaktadır. Bu formasyonda linyit ortalama 150 cm. kalınlığındadır [15].

Çalışma alanı açısından önemli bir maden olan boksit, literatüre göre sertliği 1-3, yoğunluğu ise 2,5-3,5 gr/cm³ arasında değişen, alüminyum oksit ve hidroksitlerin karışımı bir oluşumdur. Boksit, içeriğinde bulunan demir miktarına bağlı olarak rengi sarı, kahverengi ve kırmızı olabileceği gibi kirli beyazdan griye kadar da değişebilmektedir. Boksit, diyasporit (Al₂O₃.H₂O), böhmit [AlO(OH)] ve gibsit [Al(OH)₃] minerallerinin bir karışımı olup genellikle silis, demir oksitler ve TiO₂ içermektedir. Özetle, boksitler; mineralojik yapılarına, oluşumlarına ve endüstriyel olarak olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılır. Mineralojik yapılarına göre; püskürük kayalardaki feldspat ve korund minerallerinin düşük sıcaklıklarda değişimi sonucu oluşan gibsitik (trihidratik) boksitler, gibsitin dehidratasyonu sırasında ara bir ürün olarak ortaya çıkan böhmitik boksitler, yüksek sıcaklıklarda oluştuğu değerlendirilen diyasporitik boksitler olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılır. Oluşumlarına göre, silikat ve karstik boksitler olarak ikiye ayrılırlar. Silikat boksitler, alüminyumca zengin silikat kayaların aşınması ve yıkanması sonucu, karstik boksitler ise kireçtaşı ve dolomitlerin karstik boşluklarında oluşur. Endüstriyel olarak ise boksitin birçok farklı sınıflaması

yapılmaktadır. Alüminyum metalinin üretiminde kullanılan başlıca maden olması yönüyle dünya ticaretinde önemli bir yer tutmaktadır. Çimento yapımı, ferrokrom tesisleri sanayi, demir-çelik ve tuğla sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [16]. Çalışma alanında yer alan boksitlerin kimyasal bileşimlerinden dolayı genel olarak çimento sanayinde değerlendirildiği anlaşılmaktadır.

Ülkemizde en büyük boksit rezervleri Seydişehir (Konya) ve Akseki (Antalya) ilçelerinde bulunmaktadır. Bu ilçelerde gözlenen boksit rezervleri, görünür+muhtemel+mümkün rezerv olarak 36,5 milyon ton, işletilebilir rezerv olarak ise 31 milyon tondur. Bu rezervlerin belirlendiği çalışmalarda, ülkemizin görünür+muhtemel+mümkün boksit rezervi 422 milyon ton, işletilebilir rezervi ise 63 milyon ton olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu eski tarihli çalışmalara göre işletilebilir rezervlerin yarısına yakın kısmı Seydişehir ve Akseki ilçelerinde bulunmaktadır. Çalışmada, Yalvaç ilçesi için 115.600 ton muhtemel+mümkün rezerv belirtilmiştir. Yalvaç için görünür veya işletilebilir rezerv belirtilmese de toplam rezerv içindeki muhtemel+mümkün rezerv oranı önemli bir seviyededir [20]. Ancak, son yıllarda yapılan maden rezerv tespitleri ve maden işletmeciliği ile beraber sürdürülen maden arama faaliyetleri ile ülkemiz rezerv miktarlarının daha fazla olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanında gerçekleştirilen maden arama ve işletme faaliyetleri sonucunda görünür rezervi ortaya çıkarılmış boksit madenlerinde (Şekil 2), yapılan maden üretim faaliyetleri dikkate alındığında önceki çalışmalarda Yalvaç için muhtemel ve mümkün olarak belirtilen boksit rezervlerinin geliştirildiği anlaşılmaktadır.

Seydişehir-Akseki boksit oluşumları böhmitik, Yalvaç-Şarkikarağaç ilçelerindeki boksit oluşumları ise demirli-diyasporitik tiptedir. Ülkemizde ayrıca Muğla-Milas-Yatağan, Tufanbeyli-Saimbeyli, Bolkardağı-Mersin ve Alanya bölgelerinde diyasporitik, İslâhiye-Payas, bölgesinde demirli-diyasporitik, Zonguldak-Kokaksu bölgesinde ise böhmitik boksit oluşumları bulunmaktadır. Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Toros Kuşağı önemli boksit oluşumlarına sahiptir. Çalışma alanındaki düşük tenörlü demirli-diyasporitik boksitler, gelecekte Seydişehir Alüminyum Tesisleri için potansiyel olarak değerlendirilmektedir [17].



Şekil 2. Sağırköy (Yalvaç) çevresinde üretim faaliyetinde bulunmuş bir boksit ocağından görünüm

Çalışma alanında gerçekleştirilen mermer madenciliği işletmeciliği ise Akçaşar, Tokmacık ve Bağkonak köyleri çevresinde yoğunlaşmıştır. Akçaşar ve Tokmacık Köyleri çevresinde bej renkli kireçtaşı seviyelerinden doğal taş üretimi yapılmaktadır [18]. Dolomit seviyelerinden doğal taş üretimi ise Bağkonak Köyü çevresinde yoğunlaşmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Bağkonak Köyü çevresinde (a) üretim faaliyetinde bulunulan doğal taş ocağının, (b) ocaktan üretilen bir bloğun ve (c) Elegance Grey plakasının görünümü

Bağkonak köyü çevresinde üretilen elegance grey ticari isimli doğal taşlara yönelik yapılan ön teknolojik incelemelere göre plaka verme durumu ve kenar köşe kesilmesinin iyi olduğu, cila alma yeteneğinin ise çok iyi olduğu, kimyasal analiz sonuçlarına göre %14,31 MgO içerdiği anlaşılmaktadır. Fiziksel ve mekanik özelliklerine göre, ortalama olarak sertliğinin 3,5-4 arasında, özgül ağırlığının $2,873\pm 0,015$; görünür yoğunluğunun $2,813\pm 0,007$; toplam gözenekliliğinin %2,06; doluluk oranının ise %97,94 olduğu görülmüştür (Tablo 2, 3, 4).

Tablo 2. Elegance Grey ticari isimli doğal taşta yönelik ön teknolojik inceleme

Plaka verme durumu	İyi
Kenar köşe kesilmesi	İyi
Cila alma yeteneği	Çok iyi
Parlatma performansı (Gloss 60°)	78±5

Tablo 3. Elegance Grey ticari isimli doğal taşın kimyasal analiz (TS EN 15309) sonuçları (%)

CaO	39,98
MgO	14,31
Fe ₂ O ₃	0,05
SiO ₂	0,52
Al ₂ O ₃	0,14
Na ₂ O	0,357
K ₂ O	0,007
SO ₃	0,079
Kızdırma Kaybı (LOI)	43,97

Tablo 4. Elegance Grey ticari isimli doğal taşın fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellik	Standart	Deney Sayısı	En küçük	En büyük	Ortalama
Sertlik (Mohs)	TS 6809	4	-	-	3,5-4,0
Özgül ağırlık (g/cm ³)	TS 1936	8	2,859	2,889	2,873±0,015
Görünür yoğunluk (g/cm ³)	TS 1936	8	2,804	2,821	2,813±0,007
Açık gözeneklilik (%)	TS 1936	8	0,659	1,562	0,974±0,313
Atmosfer basıncında su emme tayini (%)	TS 13755	8	0,234	0,557	0,346±0,112
Toplam gözeneklilik (%)	TS 1936	-	-	-	2,06
Doluluk oranı (%)	TS 699	-	-	-	97,94
Aşınma dayanımı (Metod-B/Böhme) (cm ³ /50 cm ²)	TS 14157	4	7,65	9,07	8,57±0,63
P-dalga hızı (m/s)	TS 14579	6	5632	6152	5833±224
Basınç dayanımı (MPa)	TS 1926	10	98,6	162,9	134,5±21,6
Yoğun yük altında bükülme dayanımı (MPa)	TS 12372	8	5,5	11,1	7,6±1,8

3.2. Çalışma Alanındaki Madenlerin Ocak Başı Satış Fiyatları

Çalışma alanında, 2021, 2022 ve 2023 yıllarında üretim faaliyetlerine devam edilen kalker, mermer ve boksit madenleri açısından MAPEG tarafından belirlenen 2023 yılı ocak başı satış fiyatları dikkate alındığında özellikle mermerlerin önemli bir ekonomik değer olduğu görülmektedir [15]. Çalışma alanı için doğal taş ocak başı satış fiyatları mermer genel ismi ve Victoria bej özel ticari isimleri ile belirlenmiştir. Birinci kalite fiyatları ton başına mermer için 4.180 TL, Victoria Bej için 2.835 TL'dir (Tablo 5). Isparta ili genelinde II. grup (a) bendinde yer alan bazalt ve kalsit dışında kalan madenler (kalker dahil) için ton başına mıcır fiyatı 125 TL, tüvenan maden değeri 85 TL, dolgu agregası ise 40 TL olarak belirlenmiştir. Mıcır fiyatının dolgu agregasına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye geneli için boksit ocak başı satış fiyatları ise Al₂O₃ tenör oranına göre değişmektedir (Tablo 6) [19]. MTA çalışmalarına göre [5], çalışma alanında bulunan boksitlerin Al₂O₃ oranı yaklaşık olarak %34-47 arasında olduğundan boksitlerin ton başına ocak başı satış fiyatlarının, 2023 yılı itibarıyla 350 TL olacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 5. Çalışma alanı için belirlenmiş II. grup (b) bendi ruhsatlara yönelik ocak başı satış fiyatları (TL/ton)

Ticari İsim	1.Kalite	2.Kalite	3.Kalite	4.Kalite (moloz)
Mermer	4.180,00	1.350,00	1.290,00	650,00
Victoria Bej	2.835,00	1.975,00	1.390,00	585,00

Tablo 6. Boksit madeni için 2023 yılı ocak başı satış fiyatları

Tenör (Al ₂ O ₃)	Ocak başı satış fiyatı
Tenör ≥ 60	1.150,00 TL
60 > Tenör ≥ 55	900,00 TL
55 > Tenör ≥ 50	700,00 TL
50 > Tenör ≥ 40	350,00 TL
Tenör 40'dan küçük	300,00 TL

3.3. Ruhsat Bedeli ve Devlet Hakkı Açısından Değerlendirme

Maden arama ruhsatları için her yıl arama ruhsat bedeli, işletme ruhsatları için ise her yıl işletme ruhsat bedeli alınmaktadır. Çalışma alanına kayıtlı ruhsatlar için tahakkuk eden ruhsat bedelleri incelendiğinde 2021, 2022 ve 2023 yıllarında yaklaşık olarak toplam 933 bin TL arama ruhsat bedeli ve 7,1 milyon TL işletme ruhsat bedelinin tahakkuk ettiği görülmektedir (Tablo 7).

Arama ve işletme ruhsat bedelleri her yıl bir önceki yıla göre artış göstermiştir. Arama ruhsat bedellerinde bir önceki yıla göre 2022 yılında %10,5; 2023 yılında ise %34,8 artış gözlenmiştir. İşletme ruhsat bedellerinde ise bir önceki yıla göre 2022 yılında %16,4; 2023 yılında ise %173,3'lük artış gözlenmiştir.

Tablo 7. Çalışma alanına kayıtlı ruhsatlar için tahakkuk eden ruhsat bedelleri [20]

Ruhsat Bedeli	2021	2022	2023
Arama Ruhsat Bedeli (x bin TL)	259,64	286,85	386,58
İşletme Ruhsat Bedeli (x milyon TL)	1,33	1,55	4,23

Maden Kanunu'nda arama ve işletme ruhsat bedelleri dışında bir başka mali yükümlülük olan Devlet hakkı ise, işletme izinli ruhsatlar için her yıl en az ruhsat bedeli kadar olacak şekilde tahakkuk etmektedir. Devlet hakkı hesaplanırken, madenler için belirlenmiş oranlar ve ocak başı satış fiyatları dikkate alınmaktadır. Yalvaç ilçesindeki işletme ruhsatlarında, 2021-2023 yıllarında 2,3-6,2 milyon TL arasında Devlet hakkının tahakkuk ettiği, bu miktarın Isparta il geneline oranla %2-3 seviyelerinde değiştiği görülmektedir (Tablo 8). İl geneli Devlet hakkı oranları dikkate alındığında Yalvaç ilçesi oranının oldukça düşük kaldığı görülmektedir.

Tablo 8. Devlet hakkı oranları (x milyon TL)

	2021	2022	2023
Yalvaç	2,3	5,4	6,2
Isparta	96,7	151,4	270,5

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Isparta'nın önemli ilçelerinden birisi olan Yalvaç ilçesinde bulunan maden rezervleri ve madenlerde gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri araştırılmıştır. Çalışma alanında madencilik faaliyetlerinin geçmişten günümüze önemli bir ekonomik faaliyet alanı olduğu anlaşılmıştır.

Çalışma alanında geçmiş dönemlerde farklı birçok madenin üretimi yapılmasına rağmen son yıllarda boksit, mermer ve kalker işletmeciliğinde yoğunlaşmıştır. Yürürlükte bulunan maden işletme izinleri açısından değerlendirme yapıldığında, üretimine devam edilen madenler dışında linyit ve barit işletme izinleri bulunmaktadır. Linyit ve barit madenlerine yönelik geçmiş dönemlerde üretim faaliyetinde bulunmuş olup çalışma alanı bu madenler yönüyle de potansiyel bir alandır. Ayrıca, çalışma alanı ve çevresinde kil madeni işletmeciliğinin yakın geçmişe kadar önemli bir faaliyet alanı olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle, bölgede geçmişte kurulmuş ve bugün faaliyetlerine devam edilmeyen tuğla-kiremit fabrikaları ve bu fabrikalardan kalan ve bugün bir kültür envanteri olan bacalar da bu durumu desteklemektedir.

MAPEG tarafından belirlenen 2023 yılı ocak başı satış fiyatları dikkate alındığında bölgede özellikle doğal taşların (ticari anlamda mermer) ekonomik olarak önemli bir değer olduğu anlaşılmaktadır. 2021, 2022 ve 2023 yıllarında toplam 933 bin TL'si arama ve 7,1 milyon TL'si işletme olmak üzere yaklaşık 8 milyon TL ruhsat bedeli tahakkuk etmiştir.

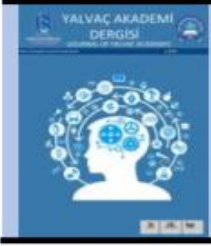
Çalışma alanı, Devlet hakkı miktarlarının 2021-2023 yıllarında 2,3-6,2 milyon TL arasında olduğu, bu miktarının il geneli açısından düşük seviyede (%2-3) kaldığı görülmüştür. Bölgedeki madencilik faaliyetlerinin geçmişe oranlara daha düşük kaldığı değerlendirilmektedir. Bölgede özellikle boksit, mermer gibi madenlerin işlenmesine yönelik yapılabilecek yatırımlar (tesis, fabrika gibi) gelecekte bölgenin madencilik gelişmesine katkı sağlayabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya, Şekil 2’de yer alan fotoğrafları paylaşarak katkıda bulunan Maden Mühendisi Mehmet Çağrı KALYON’a, Şekil 3’de yer alan fotoğraflar ile Tablo 1, 2, 3’deki analiz sonuçlarını paylaşarak katkıda bulunan Mustafa SEVİNÇ’e teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Isparta Valiliği. (2024). Yalvaç. Erişim Adresi: <http://www.isparta.gov.tr/yalvac>
- [2] Yalvaç Belediyesi. (2024). Hoyran Gölü. Erişim Adresi: <https://yalvac.bel.tr/kentrehberidetay/738>
- [3] Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (2024). Isparta. Erişim Adresi: <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71016/isparta.html>
- [4] Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (2024). Yalvaç. Erişim Adresi: <https://isparta.ktb.gov.tr/tr-165541/yalvac.html>
- [5] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2024). Isparta İli Enerji ve Maden Kaynakları. Erişim Adresi: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Isparta_Madenler.pdf
- [6] Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., Aktaş, H., Çankıran, O., Ürgüp, M.N. & Uzun, İ. (2016). Yalvaç Pisidia Antiocheia Kentinde Kullanılan Tuğla ve Bağlayıcı Malzemelerin Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(2), 1-6. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/206907>
- [7] Şimşek Tolacı, S., & Karagöz, M. A. (2020). Endüstri Mirası Onarım Önerisi: Isparta/Yalvaç Birlik ve Fil Tuğla-Kiremit Fabrika Bacaları. Akdeniz Sanat, 14(25), 45-70.
- [8] Halaç, H. H., & Şahin, E. (2022). Kültürel Peyzaj Bağlamında Yalvaç İlçesinin Değerlendirilmesi. Kültür Araştırmaları Dergisi(13), 333-356. <https://doi.org/10.46250/kulturder.1087121>
- [9] Türkiye Kültür Portalı. (2024). Baca I - Isparta. Erişim Adresi: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/isparta/kulturenvanteri/baca-i>
- [10] Türkiye Kültür Portalı. (2024). Baca II - Isparta. Erişim Adresi: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/isparta/kulturenvanteri/baca-ii?ysclid=m3w8f5pbyi77016403>
- [11] Türkiye Kültür Portalı. (2024). Baca III - Isparta. Erişim Adresi: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/isparta/kulturenvanteri/baca-iii>
- [12] Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG). (2024). Maden Ruhsat İstatistikleri (yayınlanmamış).
- [13] Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG). (2024). Maden Üretim Miktarları (yayınlanmamış).
- [14] Yalvaç Belediyesi. (2017). Yalvaç Koruma Alanları 1/5000 Ölçekli Nazım İmar Planı ve 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Değişikliği Araştırma Raporu, 62s. Erişim Adresi: <https://www.yalvac.bel.tr/images/upload/150960895859facdfe377bf.pdf>
- [15] Gürsal, G.C. (2009). Isparta İli Yalvaç İlçesinin Beşeri ve Ekonomik Coğrafyası. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138s., Konya.
- [16] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA). 2024. Boksit. Erişim Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/boksit>
- [17] Eroğlu, G. & Şahiner, M. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Alüminyum. Erişim Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/aluminyum.pdf>
- [18] Demir, B.G. (2022). Isparta İli Mermer Sahalarının Jeolojik Özelliklerinin, Ekonomik Potansiyelinin ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 141s., Isparta.
- [19] Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG). (2024). 2023 Yılı Ocak Başı Satış Fiyatları, Erişim Adresi: <https://www.mapeg.gov.tr/Sayfa/Duyuru/3581%202023-Yili-Ocak-Basi-Satis-Fiyatları>
- [20] Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG). (2024). Ruhsat Bedelleri (yayınlanmamış).



ROBUST FUZZY MODELS FOR ULTRASONIC POLYMER DEGRADATION

Onur İNAN¹, Ali AKYÜZ¹

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Bucak Emin Gülmez Technical Sciences Vocational School, Burdur

Abstract: Fuzzy Logic Models are practical solutions to reach a definite conclusion in data sets with uncertain, complicated, and incomplete input data. Owing to these models, achieving the desired outputs with very low error in large data sets obtained theoretically or experimentally is possible. In this study, a subtractive clustering based fuzzy model approach has been presented to analyze the ultrasonic polymer degradation. Fuzzy models include obtaining cluster centers from the data set, preparing a fuzzy rule-based linear equation system, and optimizing parameters for the least error. The designed fuzzy models have high accuracy and clearly express ultrasonic degradation behavior.

Keywords: Ultrasound, Polymer Degradation, Subtractive Fuzzy Clustering, Fuzzy Inference System, Fuzzy Modeling.

1. INTRODUCTION

According to frequency range, ultrasound has various usage areas. In the 16 kHz—1 MHz frequency range, ultrasound can interact with the material and cause physical and chemical changes in the relevant material. In this range, known as the sonochemistry region, ultrasound is utilized in many physical and chemical applications [1].

Ultrasonic polymer degradation is a degradation process that occurs due to the mechanical, chemical and thermal effects created by high-frequency sound waves on polymer chains. [2]. This process is based on the acoustic cavitation phenomenon, which is caused by microscopic gas bubbles that form in a liquid medium and collapse rapidly. The sudden release of energy as the bubbles collapse causes the polymer chains to break by creating excessive heat and pressure [3]. This method has the advantages of reducing the need for chemical reactors and providing an environmentally friendly alternative, while providing controlled degradation of polymers. This technique, which is especially preferred in biomedical applications, plastic recycling processes and chemical synthesis studies, stands out as a more sustainable option in cases where the use of solvents is not required [4-5].

Simulating reactions such as ultrasonic polymer degradation is of great importance in providing a better understanding of the process and reducing experimental costs. While experimental studies are often time-consuming and costly, computer-aided simulations can help determine how polymer chains are broken down, which parameters affect the degradation rate, and optimum operating conditions. In addition, simulations can help predict the effects on different polymer types, preventing unnecessary trials. This provides a great advantage, especially in polymer recycling processes critical for biomedical applications and environmental sustainability. In addition, free radical mechanisms and acoustic cavitation effects that occur during ultrasonic degradation can be analyzed in detail, allowing more controlled and efficient processes to be designed [6-8]. Cluster analysis is a collection of methods for separating data stacks whose groupings are unknown in a data set into similar subsets. Considering the distance between each data in a large data set, collecting similar data in the same clusters, and estimating which group the newly added data belongs to constitute cluster analysis's basis. Clustering aggregates data, increasing process speed and allowing to evaluate data set under a more general structure. Clustering procedures aim to determine the most suitable cluster centers to represent the data set using the distances between the data [9-10].

Fuzzy models are solution tools for defining the relationships between input and output variables with the help of fuzzy rules. The most important difference between fuzzy models and other black box models (e.g., artificial neural networks, genetic algorithms) is that they simplify system identification and allow for transparent analysis [11]. Due to the success of usage in plenty of areas, there has been an increase in data-based fuzzy modeling studies in recent years. Fuzzy models are mostly designed using the Fuzzy Inference System (FIS) technique called Takagi–Sugeno–Kang (TSK) type-1 FIS. FIS is a collection of numerical methods based on membership functions, fuzzy rules, and fuzzy thinking, divining the relationship between input and output data [12-13]. Moreover, there is Mamdani-type FIS, in which if-then rules are used with linguistic antecedents and consequences [14]. However, TSK type-1 FIS is more suitable than Mamdani-type fuzzy modeling because it allows local predictions in system control and can be used with clustering algorithms [15]. TSK type-1 FIS rules include linguistic antecedents, but the result is obtained as a linear function of the input variables. Therefore, the result of each rule has design dimensions as a linear function of our design definitions. It has been shown that models using TSK type-1 FIS rules can accurately describe complicated behavior with only a few rules, thus significantly reducing the complexity of the system [16].

Subtractive Fuzzy Clustering (SFC) is a fuzzy logic technique in which fuzzy rule assignment is performed from cluster centers. Each cluster center obtained by clustering numerical data groups is a system feature in this method. In this way, a linear equation system depending on the input variables is constituted from the cluster centers, which correspond to the fuzzy rules. With the use of SFC, the processing intensity is significantly reduced [17].

In this study, subtractive clustering-based fuzzy models were established using experimental data of ultrasonic polymer degradation. Then, the accuracy of each model was tested by performing error analyses, and the results were compared with the experimental results from the literature to show their validity. As a result of the comparison, the success of the models is at a satisfactory level.

2. SPECIFICATION OF CLUSTER CENTERS BY EMPLOYING THE SFC METHOD

Clustering is a technique for finding similar groups in large data. It aims to define the system's behavior simply by classifying large data collections. To determine the cluster numbers and centers, a simple and effective algorithm called the Mountain Method (MM) has been introduced [18]. The proposed method is based on generating a mesh network in the data space, determining the grid points, and achieving the potential values of these grid points according to their distances from the real data points.

This study used Subtractive Fuzzy Clustering (SFC), an improved version of the Mountain Method. In the SFC method, data points are specified as potential cluster centers instead of grid points, and the number of data points is worked up to equal the number of grid points. In this way, calculations based on grid points are unnecessary, and the processing density is remarkably reduced [19].

SFC is a technique that fulfills fuzzy rule assignments by automatically specifying groups of similar data. This method acquires the most appropriate cluster centers representing the data sets by considering the distance between the data groups. Utilizing SFC, the cluster centers are determined according to the potential of the data points in the dataset. As a result of the potential computation around the data points, the points with the highest potential are selected as cluster centers. SFC algorithm is started by evaluating the distances of each data point to other data points and calculating the potential value resulting from this process. The potential value is usually computed with an equation similar to Gaussian function as follows:

$$P_i = \sum_{j=1}^N e^{\left(\frac{-4}{r_a^2} \|x_i - x_j\|^2\right)}, i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

In this procedure, $\|\cdot\|$ represents the Euclidean distance, while r_a is a positive constant denoting the neighborhood radius. This process selects the data point with the highest potential as the first cluster center. The data point with the maximum P_1^* the potential value is designated as the initial cluster center x_1^* . To eliminate the impact of the first cluster center when identifying subsequent cluster centers, the potential formula for the data points is adjusted as follows:

$$P'_i = P_i - P_k^* e^{\left(\frac{-4}{\eta_a^2} \|x_i - x_k^*\|^2\right)}, i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

The squash factor, represented by η , expresses the separation between cluster centers and ensures that they are not close to each other. This procedure continues until a sufficient number of cluster centers are attained, as stated by the specified criterion [19].

3. DEVELOPMENT OF FUZZY MODEL BASED ON SFC

In fuzzy logic systems, fuzzy rules that include linear functions are used to connect the antecedent and consequent parts. These rules link input and output data through IF-THEN statements. In this research, a type-1 Takagi-Sugeno-Kang (TSK) Fuzzy Inference System (FIS) was employed to model ultrasonic degradation data. Models based on TSK-type rules have proven effective in accurately capturing complex behaviors with a minimal number of rules, thereby greatly simplifying the system's complexity [20]. The structure of the FIS is depicted in Figure 1.

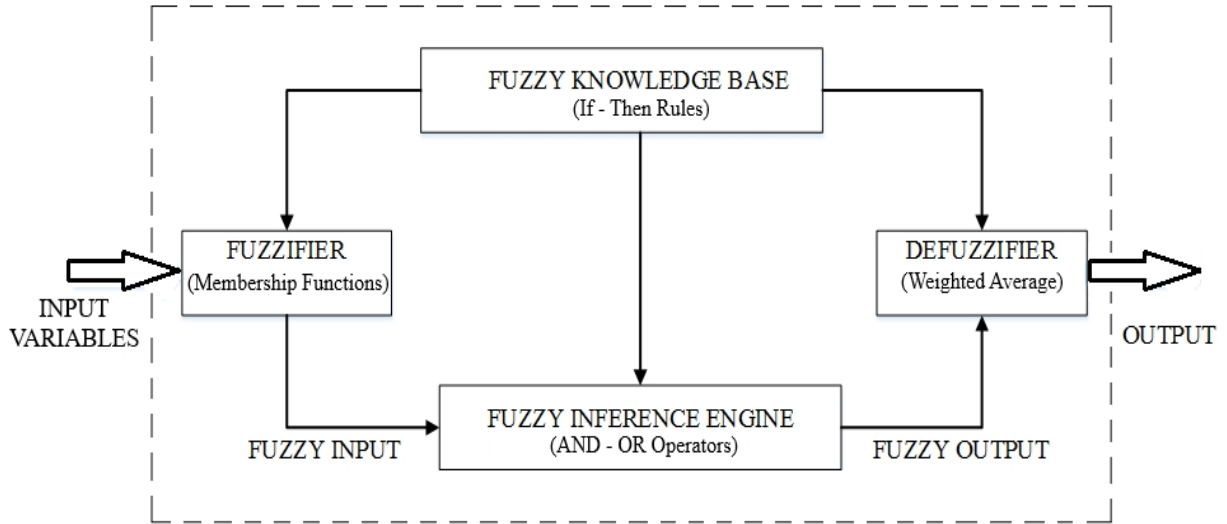


Figure 1. Fuzzy inference system architecture

As can be seen from the block diagram above, FIS consists of six main components:

Input Variables: Raw inputs are received into the system.

Fuzzification: Input variables are transformed into fuzzy sets using appropriate membership functions.

Fuzzy Knowledge Base: This section consists of fuzzy rules in IF – THEN.

Fuzzy Inference Engine: This part generates fuzzy results by evaluating the rules. The rules' weights are determined with AND (min) or OR (max) operators.

Defuzzifier: Since the results in Sugeno-type systems are usually described as linear functions, a crisp output is achieved by directly computing the weighted average, unlike classical fuzzy systems.

Output: In Sugeno type FIS the output is attained as a crisp value.

In such systems, the outputs of the rules are no longer represented by fuzzy sets but are instead defined as linear functions. As a result, the relationships between inputs and outputs, as well as the output functions, can be described using the following equations:

$$\begin{aligned}
 & \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^k \ \& \ x_2 \text{ is } A_2^k \ \& \ \dots \ \& \ x_j \text{ is } A_j^k \ \text{THEN} \\
 & \quad y_1 \text{ is } B_1^k \ \& \ y_2 \text{ is } B_2^k \ \& \ \dots \ \& \ y_j \text{ is } B_j^k
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$B_j^k = c_0 + c_1 x_1^k + c_2 x_2^k + \dots \tag{4}$$

Here, the j th input variable is denoted as x_j , and the j th output variable is represented as y_j , with k indicating the total number of rules. The linear equation system, referred to as B_j^k , is formulated based on the input variables. By implementing the SFC algorithm, a specific number

of cluster centers $(x_{(1)*}, x_{(2)*}, \dots, x_{(k)*})$ are determined. The input fuzzy set A_i^k is defined using a Gaussian membership function for the k th rule, as depicted in the following form:

$$\mu_{A_i^k}(x) = e^{-\frac{4}{r_a^2} \|x_i - x_{(k)*}\|^2}, i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

To identify the most appropriate FIS configuration, it is essential to calculate the Gaussian function's center and standard deviation values. The output of the FIS is obtained by computing a weighted average of the outputs from each rule, similar to the centroid defuzzification method, as illustrated below:

$$y_j = \frac{\sum_{i=1}^c \mu_i y_{ij}}{\sum_{i=1}^c \mu_i} \quad (6)$$

Here, c represents the number of rules, j denotes the index of the data pair, and y_{ij} corresponds to the linear equation. In the final stage, the coefficients of the linear equation are determined by implementing the least squares approximation to the SFC method. The neighborhood radius r_a , the squash factor η , and the parameters for deciding new cluster centers (ϵ_{up} and ϵ_{down}) significantly impact the number of rules and the error values in the designed fuzzy system. The SFC algorithm concludes by identifying the optimal parameter values for the fuzzy system and computing the coefficients of the linear equation [19]. As a result of integrating the SFC algorithm with the least squares method, both the equation coefficients that capture the problem's characteristics are achieved, and a fast, high-accuracy fuzzy model is built.

4. FUZZY MODEL DESIGNS FOR ULTRASONIC POLYMER DEGRADATION

In this study, first, a single input—single output fuzzy model design illustrated in Figure 2 was made using experimental data on ultrasonic polymer degradation from a reference [21]. 3439 experimental data pairs giving the time-dependent viscosity change were evaluated to establish a model.



Figure 2. Fuzzy model for ultrasonic polymer degradation data [21] (One input, one output)

Out of the total 3439 experimental data pairs, 2000 were utilized for training the fuzzy model, while 1439 were employed to confirm the model's accuracy. Root mean square error (RMSE) was used to assess the errors associated with the training and control data pairs. To optimize the system, the main parameters r_α and η along with the cluster center criteria ε_{up} and ε_{down} , were carefully analyzed. In order to determine the optimum error value in this model, the error change depending on the r_α value of both training and control data was examined at fixed values of η , ε_{up} and ε_{down} parameters as depicted in Figure 3. The r_α value that gives the lowest common error value of training and control data was determined as the most suitable parameter value.

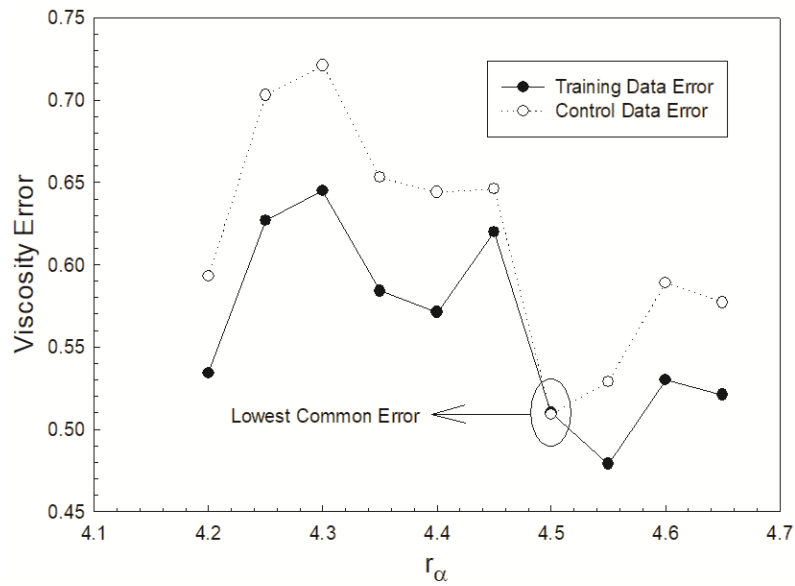


Figure 3. Distribution of viscosity error for training and control data of ultrasonic polymer degradation model depending on r_α while $\eta = 0.25$, $\varepsilon_{up} = 0.45$ and $\varepsilon_{down} = 0.2$

RMSE errors for both the training and control data obtained using the optimal input criteria for the ultrasonic polymer degradation model are presented in Table 1. Additionally, this table displays the neighborhood radius, squash factor, and input criteria values associated with the optimal result, along with the corresponding number of rules. The time-dependent distribution of the model output and the real experimental results at the r_α radius value corresponding to the optimum value are illustrated in Figure 4. It is seen that the fuzzy model results shown with symbols coincide with the experimental data shown with lines.

Table 1. Rms error values together with optimum input criteria and number of rules

RSML Model Error Values & Optimum Input Criteria		
RMS	Train Data	Control Data
Error Values	0.510	0.509

Optimal Parameter Values and Number of Rules	r_α	η	ε_{up}	ε_{down}	Number of Rules
	4.5	0.25	0.45	0.2	20

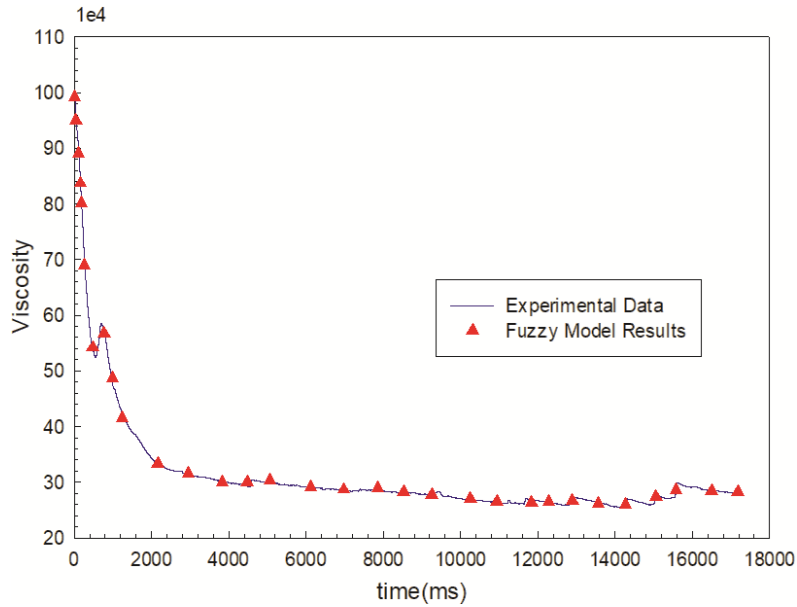


Figure 4. Comparison of polymer degradation model results with experimental data [21]

In the next stage, a fuzzy model design shown in Figure 5 was made in the form of three inputs - one output, evaluating the experimental data of ultrasonic polymer degradation taken from [22]. In the second fuzzy model, time, temperature and concentration were taken as inputs and specific viscosity as output. A total of 84 data pairs were utilized in model setup.

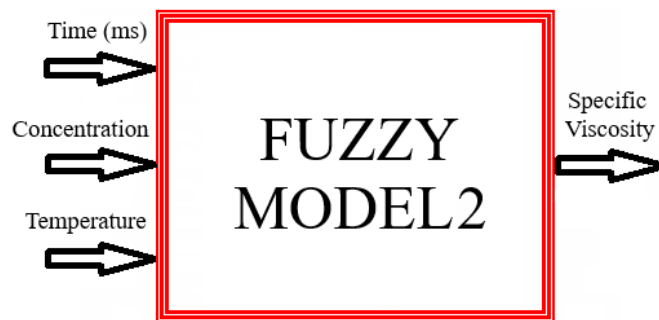


Figure 5. Fuzzy model for ultrasonic polymer degradation [22] (Three inputs, one output)

Out of the data pairs collected for model setup, 50 were utilized as training data, while 34 were employed to evaluate the model's validity. To identify the optimal parameter values for the second model, the specific viscosity error was computed in terms of RMSE by varying the neighborhood radius r_α , while keeping the parameters η , ε_{up} and ε_{down} fixed at specific values as

depicted in Figure 6. Once again, the parameter values corresponding to the lowest common error of the training and control data were considered the most valid.

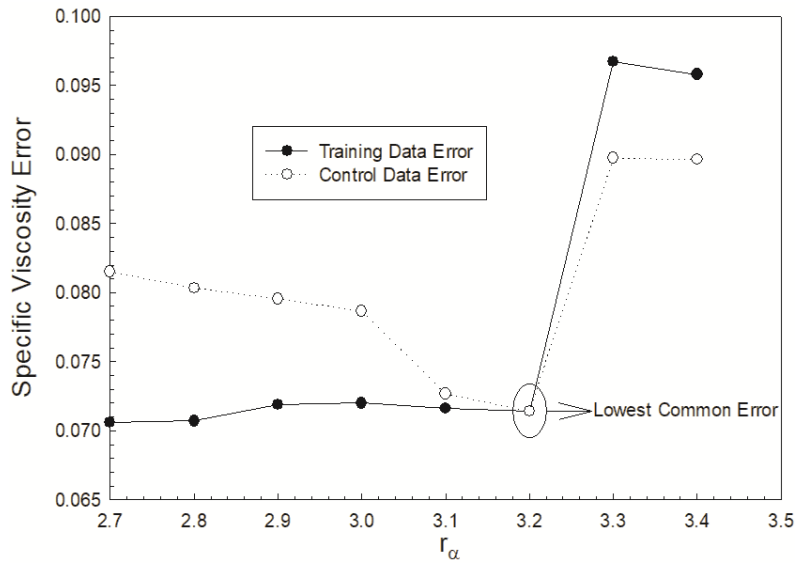


Figure 6. Distribution of viscosity error for training and control data of ultrasonic polymer degradation model depending on r_α while $\eta = 1$, $\epsilon_{up} = 0.5$ and $\epsilon_{down} = 0.25$

Table 2 displays the RMSE errors for both the training and control data, achieved utilizing the optimal input criteria for the ultrasonic polymer degradation model. Once again, this table includes the most appropriate parameter values together with the corresponding them number of fuzzy rules.

Table 2. RMS error values together with optimum input criteria and number of rules

RSML Model Error Values && Optimum Input Criteria					
RMS Error Values	Train Data			Control Data	
		0.0714			0.0715
Optimal Parameter Values and Number of Rules	r_α	η	ϵ_{up}	ϵ_{down}	Number of Rules
	3.2	1	0.5	0.25	3

Figure 7 illustrates the changes in both model output and experimental data over time for different temperature values . As can be clearly seen from the graph, although very few rules were used in our second model, the model results were acquired at values very close to the experimental data.

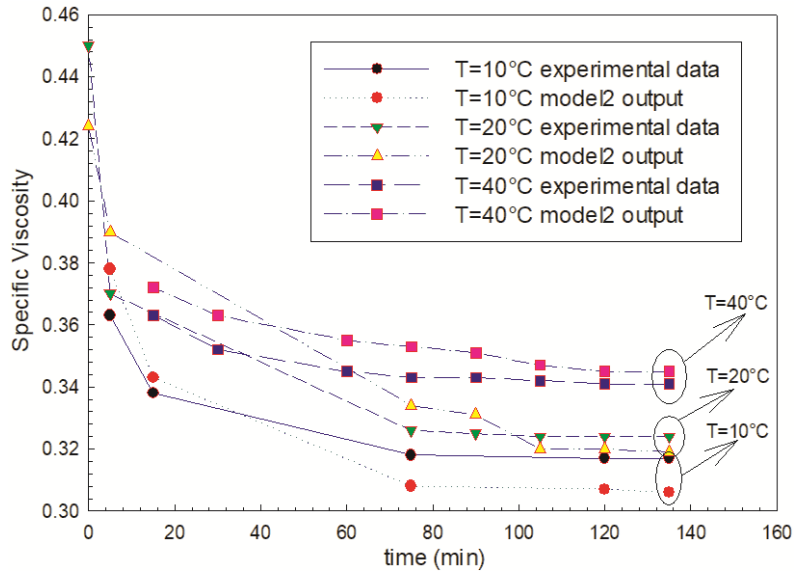


Figure 7. Comparison of polymer degradation model results with experimental data [22]

5. CONCLUSION

This study applied a SFC-based fuzzy modeling approach to analyze experimental data from two different ultrasonic polymer degradation samples available in the literature. The developed fuzzy models obtained linear equations describing polymer degradation with fast, reliable, and satisfactory error values. Unlike classical methods commonly used in the literature, the proposed SFC-based fuzzy modeling approach offers significant advantages, such as eliminating the need to determine the number of clusters before clustering and reducing system complexity. With these features, the study addresses the uncertainty and complexity challenges encountered in ultrasonic polymer degradation analysis, filling a gap in the literature and providing an original contribution.

The primary contribution of the proposed method to the literature is to enhance the effectiveness of fuzzy logic-based approaches in the analysis of experimental data and to offer a faster and more practical alternative compared to classical methods. Additionally, it has been demonstrated that SFC-based fuzzy modeling can better capture nonlinear relationships in the modeling of complex physical processes, such as ultrasonic degradation, and facilitates the interpretation of experimental data. In this context, the study highlights the potential of fuzzy logic-based modeling methods in ultrasonic polymer degradation analysis, offering a new perspective for researchers in this field.

For future studies, it would be beneficial to comprehensively examine the performance of the proposed method under different polymer types, ultrasonic frequencies, and various

experimental conditions. Furthermore, to improve the accuracy and generalization capability of the fuzzy modeling method, the development of hybrid approaches (e.g., integrating fuzzy logic with artificial neural networks or machine learning algorithms) is recommended. To evaluate the method's applicability in real-time applications, testing it on larger datasets and different sensor data is also crucial. Additionally, using advanced optimization techniques, such as genetic algorithms, particle swarm optimization, or differential evolution, for optimizing fuzzy modeling parameters could further enhance the method's performance. Finally, investigating the applicability of the proposed method in different engineering applications (e.g., material fatigue analysis, ultrasonic non-destructive testing methods, and quality control processes of polymeric materials) would strengthen its position in the literature and expand its application areas. Studies conducted in line with these suggestions are expected to contribute significantly to the theoretical and practical development of fuzzy logic-based modeling methods.

REFERENCES

1. Mason T.J. (1996). Sonochemistry: Uses of Ultrasound in Chemistry and Related Disciplines, *Ultrasound Angioplasty*, 178, 25-54.
2. Villamiel, M., Cortés-Avendaño, P., Ferreira-Lazarte, A., & Condezo-Hoyos, L. (2025). Chemistry of ultrasound processing. In *Chemistry of Thermal and Non-Thermal Food Processing Technologies*, Academic Press, 175-199.
3. Akyüz, A., Giz, A., & Catalgil-Giz, H. (2018). Ultrasonic Chain Scission of Polyacrylamide in Solution: Online Monitoring Results and Comparison with Theoretical Models. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 57(7), 527-540.
4. Siddique, M., Rashid, R., & Ali, A. (2025). Fundamentals of acoustic cavitation, ultrasound-assisted processes, and sonochemistry. In *Modeling and Simulation of Sono-Processes*, Elsevier, 3-17. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23651-8.00001-2>
5. Akyüz, A., Kamer, O., & Giz, A. (2013). Online viscometric monitoring of ultrasonic sodium poly (styrene sulfonate) scission. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 50(5), 535-540.
6. Kerboua, K. (2025). Sonochemistry and acoustic cavitation bubble: modeling and simulation. In *Modeling and Simulation of Sono-Processes*, Elsevier, 185-200. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23651-8.00012-7>
7. Gungor, A., Akyuz, A. O., Şirin, C., Tuncer, A. D., Zaman, M., & Gungor, C. (2019). Importance of mathematical modeling in innovation. *Mathematical Modeling*, 3(1), 32-34.

8. Akyüz, A. (2024). Effect of Temperature on Ultrasonic Degradation of Sodium Poly (Styrene Sulfonate): Analysis of Online Viscometric Data with Theoretical Models and Machine Learning Approaches. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 63(12), 1379-1403.
9. Bezdek, J.C., Ehrlich, R., Full, W. (1984) FCM: The Fuzzy c-means Clustering Algorithm. *Computers and Geosciences*. 10 (2-3), 191–203.
10. Demirli K., Cheng S.X. and Muthukumaran P. (2003) Subtractive clustering based on modelling of job sequencing with parametric search. *Fuzzy Sets and Systems*. 137 (2), 235–270.
11. Setnes, M., Babuska, R., Verbruggen, H.B. (1998) Transparent Fuzzy Modelling. *International Journal of Human-Computer Studies*. 49 (2), 159–179.
12. Takagi T., Sugeno M. (1985) Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15 (1), 116–132.
13. Mirafteb V., Mansour R.R. (2006) EM-based microwave circuit design using fuzzy logic techniques. *IEE Proceedings - Microwaves Antennas and Propagation*, 153 (6), 495–501.
14. Mamdani E.H. (1974) Applications of Fuzzy Algorithms for Simple Dynamic Plant. *IEE Proceedings – Control & Science*, 121 (12), 1585–1588.
15. Piegat A. (2001) *Fuzzy Modeling and Control*. Springer Science & Business Media.
16. Sugeno, M., Tanaka, K. (1991) Successive identification of a fuzzy model and its applications to prediction of a complex system. *Fuzzy Sets and Systems*, 42 (3), 315–334.
17. Mirafteb V., Mansour R.R. (2004) A Robust Fuzzy-Logic Technique for Computer-Aided Diagnosis of Microwave Filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52 (1), 450–456.
18. Yager R.R., Filev D.P. (1994) Approximate Clustering Via the Mountain Method. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 24(8), 1279-1284.
19. Chiu S.L. (1994) Fuzzy model identification based on cluster estimation. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2(3), 267-278.
20. Sugeno M., Tanaka K. (1991) Successive identification of a fuzzy model and its applications to prediction of a complex system. *Fuzzy Sets and Systems*, 42(3), 315-334.
21. Akyüz, A., Giz, A., & Catalgil-Giz, H. (2018). Ultrasonic Chain Scission of Polyacrylamide in Solution: Online Monitoring Results and Comparison with Theoretical Models. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 57(7), 527-540.
22. Akyüz, A. (2017). Polietilen Oksitin Ultrasonik Zincir Kırılması: Konsantrasyon ve Sıcaklık Etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 109-116.