



## Multi-criteria decision making model for the applicability of additive manufacturing technologies in buildings

Meltem Ezel Çırpı\*<sup>ID</sup>, Ayşin Sev<sup>ID</sup>

Department of Architecture, Institute of science, Mimar Sinan Fine Arts University, 34427, Istanbul, Turkey

### Highlights:

- Application of additive manufacturing techniques in buildings
- Additive manufacturing with concrete-like materials in the construction area
- Using Fuzzy DEMATEL method in architecture

### Keywords:

- Additive manufacturing
- Contour technique
- Fuzzy DEMATEL

### Article Info:

Research Article  
Received: 11.01.2021  
Accepted: 15.11.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.857784

### Acknowledgement:

This article has been produced from the PhD thesis titled "Decision Making Model for the Applicability of Additive Manufacturing Technologies in Buildings" completed in Mimar Sinan Fine Arts University, Building Information Program.

### Correspondence:

Author: Meltem Ezel Çırpı  
e-mail:  
m\_ezel11@hotmail.com  
meltem.ezel1@marmara.edu.tr  
Phone: +90 212 252 0541 / 4279

### Graphical/Tabular Abstract

**Table A.** The criteria used in the decision making model and weight values

Labor (0.249)	Time (0.246)	Form (0.250)	Cost (0.253)
Ease of application	0.0787	Flexibility	
Ease of assembly	0.0772	0.336	
The number of assembly	0.0831	Functionality	
Workforce efficiency	0.0774	0.335	
Workmanship consistency	0.0757	Individualized	
Construction quality	0.0716	design	
Occupational accidents	0.0834	0.330	
The number of workers required	0.0776		
Jobs requiring special skills	0.0740		
Control of the construction phase	0.0682		
The use of formwork	0.0771		
Probability of error	0.0775		
Finishing process	0.0786		

**Purpose:** Within the scope of this article, as a result of the evaluation of the criteria determined over the additive manufacturing (AM) system with the fuzzy DEMATEL method, a decision-making model has been developed based on these criteria. With the proposed decision making model, the comparison of the designers and practitioners over the processes in the reinforced concrete wall construction and the ranking of the criteria were made and the criteria or criteria that were more advantageous or disadvantageous according to the order of importance were determined.

### Theory and Methods:

In the study, in the light of the results obtained from the literature and the analyzed projects (Ezel Ç., 2020), the criteria affecting the applicability of the AM method were classified as main and sub-criteria and the criteria of the decision-making model were determined. These determined decision making model criteria were evaluated with the fuzzy DEMATEL method.

### Results:

It has been observed that the main criteria of cost, form, time and workmanship that affect the applicability of wall construction in AM are almost equal to each other. It was concluded that the form criterion after the cost is more important and has the most impact on other metrics. Labor was the criterion most affected by these criteria. When we examine the sub-criteria of labor, it is observed that occupational accidents with the highest evaluation score are the most important criteria.

### Conclusion:

According to the evaluation, since it is concluded that the form criterion comes right after the cost criterion, it is thought that it would be appropriate to use this construction system, especially by architects, who have form as priority. Flexibility criterion, which is one of the form sub criteria, is defined as being able to intervene in the design of the wall to be built during the production process, to be able to design walls in different shapes and sizes, in short, to offer design freedom. In this context, considering that one of the most important features of AM is manufacturing with the desired flexibility, it is predicted that it would be positive to use this technology in the context of building flexibility. As a result of the evaluation, the most important workmanship sub criterion was determined as industrial accidents. In this context, since the need for the number of workers is minimal with the use of AM, it is predicted that accidents will be prevented by using this production system. Considering that half of the construction errors are due to workmanship, it can be said that the use of the AM technique will prevent workmanship errors to a large extent.



## Katmanlı üretim teknolojilerinin yapılarda uygulanabilirliğine yönelik çok ölçütlü karar verme modeli

Meltem Ezel Çırpı\*<sup>ID</sup>, Ayşin Sev<sup>ID</sup>

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı, 34427, İstanbul, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Katmanlı üretim tekniklerinin yapılarda uygulanması
- Yapı alanında beton benzeri malzemeler ile katmanlı üretim
- Bulanık DEMATEL yönteminin mimaride kullanılması

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 11.01.2021

Kabul: 15.11.2021

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.857784

#### Anahtar Kelimeler:

Katmanlı üretim,  
kontur tekniği,  
bulanık DEMATEL

#### ÖZ

Birçok endüstride yıllardır kullanılan fakat inşaat endüstrisinde yeni sayılan katmanlı üretim tekniği ile daha kısa sürede, daha az maliyetli, daha hızlı, daha kaliteli, daha güvenli, daha esnek ve yüksek düzeyde tamamlanma oranına sahip, en az hata ile üretilen konutların yapılması mümkün olmaktadır. Son 10 yıldır yapı alanında giderek yaygınlaşan katmanlı üretim teknolojileri ile günümüzde neredeyse kullanıma hazır yapılar inşa edilmektedir. Bir hafta kadar kısa sürede üretilen ofisler, bir günde üretilen konutlar, bir-iki saatte üretilen kanalizasyonlar, çevreci duvarlar, banklar vb. gibi birçok proje yapılmıştır. Bu kapsamda literatür araştırması sonucunda yapı alanında Katmanlı Üretim (KÜ) kullanımı ve özellikleri üzerinden ölçütler ortaya koyulmuştur. Belirlenen ölçütlere göre hazırlanan değerlendirme formlarının doldurularak bulanık DEMATEL yöntemi (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) ile analiz edilmesi sonucunda çok ölçütlü karar verme modeli (ÇÖKVM) önerilmiştir. Belirlenen örneklem ile önerilen modeldeki ölçütlerin ağırlıklarına göre önem sıraları ortaya koyularak, avantajlı ya da dezavantajlı olan ölçüt ya da ölçütler bulunmuştur. Önerilen model, bu üretim sistemini kullanmak isteyen yüklenicilerin, tasarımcıların ve uygulamacıların inşa edilecek yapıdaki önceliklerine göre bir sıralama yapması sağlanarak, bu üretim sistemi ile belirlenen projenin yapılıp yapılmaması konusunda karar verilmesine yardımcı olacaktır.

## Multi-criteria decision making model for the applicability of additive manufacturing technologies in buildings

### H I G H L I G H T S

- Application of additive manufacturing techniques in buildings
- Additive manufacturing with concrete-like materials in the construction area
- Usage of fuzzy DEMATEL method in architecture

#### Article Info

Research Article

Received: 11.01.2021

Accepted: 15.11.2021

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.857784

#### Keywords:

Additive manufacturing,  
contour technique,  
fuzzy DEMATEL

#### ABSTRACT

With the additive manufacturing technique, which has been used in many industries for years but is considered new in the construction industry, it is possible to make houses that are cost efficient, faster, higher quality, safer, more flexible, with a high level of completion rate and produced with the least error in a shorter time. With the additive manufacturing technologies that have become increasingly widespread in the field of construction for the last 10 years, almost ready-to-use structures are made today. Offices produced in as little as a week, residences produced in a day, sewers produced in one or two hours, environmentally friendly walls, benches, etc. In this context, as a result of the literature research, criteria were put forward on the use of additive manufacturing in the field of construction and its features. A multi-criteria decision making model was proposed as a result of filling the evaluation forms prepared according to the determined criteria and analyzing them with the fuzzy DEMATEL method (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory). The criteria or criterias that are advantageous or disadvantageous were found by showing the order of importance according to the weight of the criteria in the proposed decision making model with the determined sample. The proposed model will help the contractors, designers and implementers who want to use this production system to make a ranking according to their priorities in the building to be built, and to help decide whether the project determined with this production system should be carried out.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geçmişten günümüze konut ihtiyacını karşılamak üzere pek çok üretim tekniği uygulanmıştır. Konut ihtiyacına artan talep, hızlı üretim teknolojilerinin inşaat sürecine daha çabuk uyarlanmasını sağlamıştır. Yapı sektörü teknolojinin olanaklarını kullanarak konut talebini karşılamaya çalışmıştır. Ancak günümüzde daha geniş kullanıcı kitlesine hizmet edecek yapıların nitelikli olması ve hızlı üretilmesi amacıyla yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Bu bağlamda yapım maliyetleri temel alınarak yapım süreçlerinin iyileştirilmesine ve kaliteli konutların üretilmesine yönelik araştırmalar farklı disiplinlerin bir araya gelerek ürettiği çalışmalarla devam etmektedir [1-4]. Bu çalışmalardan biri olan KÜ tekniğinin yapı alanında kullanılması da yapı üretimine farklı bir bakış açısı sunmuştur. Günümüzde bu üretim sistemi ile bir haftada, hatta bir günde üretilen konutlar üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalara D shape şirketi [5], Cybe inşaat şirketi [6, 7] ve Dezeen şirketi [8]'nin üç boyutlu projeleri, Milestone projesi [9] örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca Dunn [10] mimarlık alanında dijital üretimden bahsederken, Ramirez [11] ise üç boyutlu olarak bin dolar altında üretilen evlerin inşa edildiğini ileri sürmüştür. Weinstein ve Nawara'ya göre [12], çeşitli parametreleri temel alarak yaptığı çalışmalarda Türkiye'nin gelişmekte olan ülkeler arasında, düşük gelirli insanlar için konut üretiminde, KÜ'nün uygulanabilirliği açısından 5. sırada olduğunu ortaya koymuştur. Eren vd. [13] yapmış oldukları çalışmalarında, işletmelerin en önemli stratejik etmenlerinin zaman, maliyet, kalite ve esneklik olduğunu ortaya koymuştur. Bu kapsamda yapı endüstrisinde amacın kısa sürede daha ekonomik, kaliteli ve ihtiyaca göre şekillenen yapılar oluşturmak olduğu söylenebilir ve tam da bu doğrultuda KÜ'nün inşaat alanında gelecekte önemli bir yöntem olarak kullanılacağı düşünülebilir.

Katmanlı üretim yapı sektörü dışında birçok alanda yıllardır uygulanmaktadır. Yapı alanında ise KÜ yöntemi gelişme aşamasındadır ve disiplinler arası bir ortamda deneysel çalışmaların yapılarak prototiplerin geliştirilmesi ile uygulanmaya başlamıştır. Katmanlı üretim ile tüm yapının inşa edilmesinde temel olan duvarların üretilmesidir. Pencere, kapı, çatı gibi yapı elemanları bu yöntem ile yapılamamakta fakat deneysel çalışmalar devam etmektedir. Bu yüzden duvar basımı dışındaki elemanlar yapıya hazır olarak entegre edildiğinden, literatür araştırması sonucunda elde edilen KÜ'nün uygulanabilirliğini etkileyen ölçütler duvar üretim süreç ve özellikleri üzerinden belirlenmiştir. Bu makale kapsamında da KÜ sistemi üzerinden belirlenen ölçütlerin bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmesi sonucunda bu ölçütler üzerinden çok ölçütlü karar verme modeli geliştirilmiştir. Önerilen çok ölçütlü karar verme modeli ile betonarme duvar yapımındaki süreçler üzerinden tasarımcı ve uygulamacıların yaptığı karşılaştırmalar ile ölçütlerin sıralaması yapılmış ve önem sırasına göre daha avantajlı ya da dezavantajlı olan ölçüt ya da ölçütler tespit edilmiştir. Bu sayede gelişme aşamasında olan bu üretim

sistemini kullanmak isteyen yüklenici, tasarımcı ve uygulamacılar, proje ve/veya uygulama süreçlerindeki önceliklerine göre KÜ sisteminin uygun olup olmama durumunu görebileceklerdir.

## 2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ (METHOD OF STUDY)

Literatür araştırması sonucunda KÜ sisteminin yapı alanında kullanılmasının önem ve avantajlarının birçok çalışmada ele alındığı ortaya koyulmuştur. Bu yüzden ortaya koyulan KÜ sisteminin özellik ve avantajları üzerinden belirlenen ölçütlerin sınıflandırılması ile çalışmaya devam edilmiştir. Literatür araştırması sonucunda ortaya koyulan bu ölçütlerin sınıflandırılmasının ardından, yapı alanında yeni olan bu KÜ sisteminin ülkemizde kullanılabilmesi için, mevcutta gerçekleştirilen uygulama üzerinden kıyaslama yapılması ile karar vermede yardımcı olacak bir sistem önerebilmek amaçlanmıştır. Önerilen çok ölçütlü karar verme modeli ile belirlenen ölçütler üzerinden her bir firmanın kendi önceliklerine göre bu üretim sisteminin uygun olup olmama durumunu görebilmesi mümkün olmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, literatürden ve incelenen projelerden ortaya çıkan sonuçlar ışığında KÜ süreç ve özellikleri; yapı üretim yöntemi, verimli ve hızlı inşa edilen konutlar, afet konutları, sürdürülebilirlik, geri dönüşüm ve yapı malzemeleri vb. gibi birçok başlıkta ele alınmıştır. Fakat çalışmalar özellikle maliyet, form, işçilik ve zaman üzerinde yoğunlaştığından çalışmanın karar verme model ölçütleri belirlenen bu dört ana ölçüt ile sınırlandırılmıştır.

Türkiye'de KÜ ile yapı inşası yapılmadığından dolayı bahsedilen bu ölçütler ile oluşturulan karar verme modeli, betonarme duvar inşası üzerinden tanımlanmıştır. Form, işçilik, zaman ve maliyet ana ölçütleri oluştururken, esneklik, bireyselleştirilmiş tasarım ve fonksiyonellik form ölçütünün alt ölçütlerini oluşturmuştur. İşçilik ölçütünün alt ölçütleri ise; inşaat kalitesi, iş gücü verimliliği, uygulama kolaylığı, bitiş işlemi, özel beceri gereken işler, hata olasılığı, işçilik tutarlılığı, montaj kolaylığı, yapım aşamasının kontrolü, gerekli işçi sayısı, kalıp kullanımı, iş kazaları ve montaj sayısından oluşmuştur. Önerilen çok ölçütlü karar verme modelindeki bu ölçütlerin betonarme duvar inşası üzerinden önem düzeylerini ortaya koyabilmek için bu ölçütlerin karşılaştırılmasına karar verilmiştir. Literatürde karşılaştırma problemleri ise bir karar verme sorunu olarak Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri (ÇÖKVY) ile çözüldüğünden çalışmanın ikinci aşamasında ÇÖKVY incelenerek değerlendirme yöntemi seçilmiştir. Korkusuz vd. [14] çalışmasında da belirttiği gibi çok ölçütlü karar verme yöntemleri farklı alanlarda birçok uygulamada değerlendirme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasından, faktörler/ölçütler arasındaki ilişkileri belirleyen ve ilişkilerin ağırlıklarını ortaya koymamızı sağlayan yöntemlerden birisi olan, DEMATEL yöntemi seçilmiştir. Problemler karmaşık olduğunda insanların tercihler hakkındaki kararları genellikle belirsizlik içerdiğinden ve bu belirsizlik durumunu açıklamaları oldukça zor olduğundan, sözel ifadeleri sayısal olarak ifade

edebilmek, bulanık ortamlarda daha gerçekçi kararlar almak için DEMATEL yöntemi bulanık mantık ile birleştirilmiştir. Belirlenen karar verme model ölçütlerinin, bulanık DEMATEL ile değerlendirilebilmesi için ölçütler üzerinden değerlendirme formu oluşturulmuştur. Ardından hazırlanan bu formlar ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü aşamasında ise yüz yüze görüşmeler yoluyla değerlendirilen karar verme model ölçütleri Bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirilerek önem sıraları belirlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında yapılan değerlendirmeler ışığında sonuçlara varılmış ve bu konuda geleceğe yönelik öneriler ortaya koyulmuştur.

Belirlenen ölçütler üzerinden oluşturulan soru formlarının değerlendirmesi; tasarım, uygulama veya hem tasarım hem uygulama alanında faaliyet gösteren firmalarda mimar, inşaat mühendisi veya proje koordinatörü olarak çalışan deneyimli kişiler tarafından yapılmıştır. Değerlendirme yapacak kişilerin konut, toplu konut, tasarım ve/veya inşasında görev almış kişilerden oluşmasına ve Marmara bölgesinde uygulamalar yapmış olmalarına dikkat edilmiştir. Bulanık DEMATEL yöntemi ile yapılan çalışmaların [15-18] örneklem sayıları incelendiğinde yapılan çalışmanın içerik ve niteliğine bağlı olarak değerlendirici sayısının on kişi olması yeterli görülmüştür. Değerlendirmeye katılan firmalardan beşi 20 seneden fazla, üçü 10-20 sene arası, biri 5-10 sene arası, biri de 1-5 sene arası sektörde çalışmaktadır. KÜ’de beton esaslı malzemeler ile duvar üretildiğinden katılımcılardan değerlendirmeyi; çalıştıkları firmada gerçekleştirdikleri projelerdeki betonarme duvar tasarım, üretim ve uygulama aşamaları üzerinden yapmaları istenmiştir. Değerlendirme sonuçları excel yazılımına girilmiştir. Bulanık DEMATEL yöntem adımları ise excel ve matlab yazılımlarıyla hesaplanmıştır.

### 3. YAPI ALANINDA KATMANLI ÜRETİM VE TEKNOLOJİLERİ

(ADDITIVE MANUFACTURING AND TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION FIELD)

Genellikle Additive Manufacturing olarak geçen terim literatürde Türkçe karşılık olarak katmanlı üretim, eklemeli üretim, malzeme eklemesi ile üretim olarak tanımlanırken, katmanlı üretim teriminin yerine hızlı prototipleme teriminin kullanıldığı da görülmektedir [19, 20]. Katmanlı üretim, 3B model verilerinden katman üzerine katman eklenmesi ile obje oluşturma yöntemi olarak tanımlanmaktadır [21]. Katmanlı üretim sürecinde temel özellik, malzemenin art arda eklenmesiyle bir ürünün oluşturulmasıdır. Böylece malzeme kaldırma, işleme, taşıma ve montajları gibi karmaşık birçok işlem tek bir üretim sürecine indirgenmektedir. Kısacası katmanlı üretim, hızla büyüyen bir alan olmakla birlikte, 3B modelden bitmiş bir ürüne geçiş sürecini de basitleştirmektedir. Katmanlı üretim aşamalarında çeşitli yazma teknikleri kullanılmaktadır. KÜ teknikleri, Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM), Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) ile iş birliği içinde yayınlanan standartta yedi farklı sürece ayrılmıştır [22]. Bryden [23] ise yaklaşık 20 farklı

katmanlı üretim teknolojisinin olduğunu belirtmiştir. Kolarevic [24] ise katmanlı üretim teknolojilerini altı başlıkta tanımlamıştır ve yapı sektöründe bu teknolojilerin kullanılmasına değinmiştir. İnşaat alanında tüm yapıyı oluşturabilmek için bu tekniklerden Malzeme Ekstrüzyonu (ME) [25] ile üretim yapmanın üzerine yoğunlaşmıştır. ME sıcaklık kontrolü ile malzemenin nozul deliğinden dağıtılarak üretim yapılması olarak tanımlanmaktadır. Diğer teknikler mimaride karmaşık ve eğrisel olarak tasarlanmış formların prototipinin oluşturulmasında, seri üretim öncesi bileşenlerin üretilmesini sağlayan kalıplarda kullanılmaktadır. Katmanlı üretim süreçlerinin en önemli sınırlaması üretilen nesnelere boyuttur. Bu yüzden KÜ, mimaride diğer üretim tekniklerine kıyasla oldukça dar bir kullanıma sahiptir. Mimaride KÜ, sayısal olarak tasarlanmış karmaşık ve eğrisel formların fiziksel prototiplerinin üretilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hızlı prototip oluşturma yanında, kalıplama ve döküm gibi diğer işlemler yoluyla çoğaltma için prototipik kullanımlar sağlayan bileşenleri üretmek için de kullanılmaktadır [26, 27]. Kloft vd. [28], Ramadany ve Bajjou [29] ve Shakor [30] çalışmalarında inşaat alanında KÜ’i, Nerella vd. [31], Nematollahi vd. [32], Bos vd. [33] KÜ ile beton basımını ele alırken, Khoshnevis vd. [34, 35] ve Khoshnevis [36] ise bu basım tekniklerinden olan kontur tekniği ile üretimi detaylı olarak anlatmıştır. Karpova vd. [37] ise KÜ ile beton duvar üretimini ele almıştır. Ezel [38] çalışmasında incelediği örneklerle ve literatür araştırmasına göre bir yapının tamamının KÜ ile inşa edilemediğini ve çalışmaların duvar basımı üzerine yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Duvar basımı dışındaki teknikler ile yapılan üretimler pahalı ve üretim süresi uzun olduğu için sınırlı sayıda kullanılmaktadır. Duvarlar ise beton benzeri hızlı bileşik bir malzemenin ekstrüzyonu ile üretilmektedir [23, 25].

### 4. DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİNİN BELİRLENMESİ VE BULANIK DEMATEL YÖNTEMİ (DETERMINATION OF EVALUATION CRITERIA AND FUZZY DEMATEL METHOD)

Ezel [38] çalışmasında KÜ’de beton benzeri malzemeler ile gerçekleştirilen üretim tekniklerinden Kontur Tekniği (KT)’nin süreç ve özellikler bakımından diğer tekniklere göre daha anlaşılır olduğunu ortaya koymuştur. Bu yüzden KÜ sisteminin Türkiye’de uygulanabilirliğini değerlendirmek için bu sistemin ve KÜ’nün ortak özellikleri üzerinden ölçütler belirlenmiştir [38]. Bu kapsamda KT ile duvar üretiminin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Kalıp ve işçi kullanılmadan süreç otomasyon ile devam etmektedir. Bu yüzden yapım aşamasının kontrol edilmesi kolaylaşarak iş kazaları azalmaktadır.
- Mekanik sistem, donatılar, zemin ve duvar ısıtıcıları yapıya otomatik yerleştirilmektedir.
- İşçiye ihtiyaç duymadan üretim yapıldığından üretilecek duvarların işçiliği tutarlı, kullanılacak iş gücü daha verimli olmakta, daha kaliteli inşaat yapılmakta ve hata olasılığı neredeyse sıfıra düşmektedir.

- Duvar örülmeyeceğinden uygulama ve montaj sayısı azalmaktadır.
- Her türlü form üretilmekte, tasarım özgürlüğü sağlanmakta ve kişiye özel tasarımlar yapılmaktadır.
- Her türlü form üretilebileceğinden özel beceri gereken işler daha kolay yapılmaktadır.
- Herhangi bir bitiş işlemine ihtiyaç duymadığından boyaya hazır yüzeyler oluşmaktadır.
- Süre ve maliyetler azalmaktadır.

İnşaat endüstrisinde KÜ ile duvar yapımını etkileyen bu özellikler geleneksel bir duvar yapım aşaması da göz önüne alınarak ana ölçütler ve alt ölçütler olarak belirlenmiştir. Ana ölçütler işçilik, maliyet, form ve zaman olarak sınıflandırılmış; diğer özellikler de işçilik ve form ana ölçütlerinin alt ölçütleri olarak belirlenmiştir. Tablo 1’de yer alan bu ölçütler kısaca aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

**İşçilik:** Çalışmada ele alınan işçilik, yapım işlerinde yer alan duvar yapımında gerekli olan her çeşit iş ve işçiliği kapsamaktadır. Yani duvar yapımında çalışan kişi ve kişi sayısı, gerekli olan iş gücü, el becerisi, son ürünün ekstra bir işlem gerektirmesi, güvenlik, hazır elemanların montajı, hata yapma olasılığı gibi ölçütlerden oluşmaktadır. Bu kapsamda işçilik alt ölçütleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- İnşaat kalitesi: İnşası biten duvarın kalitesi olarak tanımlanmaktadır. Duvarın yalıtımı, dayanımı, işçiliği, maliyeti kalitenin içine dâhil edilmiştir.
- İş gücü verimliliği: Bir birim duvar yapımında işçinin saat cinsinden çalıştığı süre olarak tanımlanmaktadır. Verimlilik hava koşulları, işin bilinmemesi, yapılacak işin tekrarı vb. gibi durumlardan etkilenmektedir. Duvarın formu, boyutu, kaplaması, duvarda kullanılacak kalıp miktarı, montaj sayısı vb. gibi ölçütlerin duvarın verimliliği üzerinde etkisi olmaktadır.
- Uygulama kolaylığı: Duvar ana malzemesi ile duvarın kolay uygulanmasını ifade etmektedir.
- Bitiş işlemi: Duvarlar inşa edildikten sonra son işlem olan yüzeylerin boyanması veya kaplanması işlemlerini ifade etmektedir.

- Özel beceri gereken işler: İnşa edilecek olan duvarın farklı fonksiyonlara hizmet etmesi gibi özel beceriye ihtiyaç duyulan sanatsal duvarların yapılmasını ifade etmektedir.
- Hata olasılığı: Kalıpların montajı, duvarların inşası, boyutu, açısı vb. gibi durumlarda ortaya çıkacak hataları ifade etmektedir.
- İşçilik tutarlılığı: İnşa edilecek duvarın her yerinde aynı işçiliğin uygulanmasını ifade etmektedir. Örneğin duvar m<sup>2</sup>si veya katmanlar artarsa ya da organik formlarda duvar yapılacaksa işçilik her yerde eşit olamamaktadır.
- Montaj kolaylığı: Duvar katman ve kalıp montajının kolay olmasını ifade etmektedir.
- Yapım aşamasının kontrol edilmesi: İşçiler tarafından inşa edilen duvarların şantiye şefleri tarafından düzenli olarak kontrol edilmesini ifade etmektedir.
- Gerekli işçi sayısı: Duvar üretiminde çalışacak olan işçilerin sayısını ifade etmektedir.
- Kalıp kullanımı: İnşa edilecek duvarda kalıp kullanılmasını ifade etmektedir.
- İş kazaları: Duvar yapım inşası sırasında meydana gelebilecek olan kazaları ifade etmektedir.
- Montaj sayısı: Duvar katmanlarının ve kalıp montaj sayısını ifade etmektedir.

**Maliyet:** Duvar yapımında yer alan işçilik, kalıp, malzeme ve yalıtım maliyetlerini ifade etmektedir.

**Form:** Yapılacak olan duvarın dolayısıyla yapımın formunun nasıl olduğunu ifade etmektedir. Bu kapsamda form ölçütünün alt ölçütleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- Esneklik: Yapılacak olan duvarın tasarımına üretim sürecinde müdahale edebilmek, farklı biçimlerde ve boyutlarda duvarlar tasarlayabilmek kısaca tasarım özgürlüğü sunmak olarak ifade edilmektedir.
- Bireyselleştirilmiş tasarım: Yapılan ve üretilen bir yapı üzerinden kişilerin mekânları ve duvarları istediği gibi değiştirebilmesi olarak tanımlanmaktadır.
- Fonksiyonellik: Üretilen duvarın içinde mekanik donanım için gerekli boşlukların bırakılmasını ve farklı fonksiyonlarda kullanılmasını ifade etmektedir.

**Zaman:** Duvar yapımında geçen süreyi ifade etmektedir.

**Tablo 1.** KÜ teknolojilerinin yapılarda uygulanabilirliğine yönelik çok ölçütlü karar verme modeli [38]  
(Multi-criteria decision-making model for the applicability of AM technologies in buildings)

Karar Verme Modelinde Kullanılan Ölçütler			
İşçilik	Maliyet	Form	Zaman
○ İnşaat kalitesi		○ Esneklik	
○ İş gücü verimliliği		○ Bireyselleştirilmiş tasarım	
○ Uygulama kolaylığı		○ Fonksiyonellik	
○ Bitiş işlemi			
○ Özel beceri gereken işler			
○ Hata olasılığı			
○ İşçilik tutarlılığı			
○ Montaj kolaylığı			
○ Yapım aşaması kontrolü			
○ Gerekli işçi sayısı			
○ Kalıp kullanımı			
○ İş kazaları			
○ Montaj sayısı			

Belirlenen bu ölçütlerin karşılaştırılarak değerlendirilebilmesi için ÇÖKVY incelenmiştir. Dikkate alınması gereken pek çok unsurun bulunduğu durumlarda karar verme genellikle üstesinden gelinmesi zor bir probleme dönüşmektedir. Bu noktada bu tür karmaşık durumların çözülmesini kolaylaştırmaya yönelik bir sistem olarak ÇÖKVY ortaya çıkmıştır. ÇÖKVY karar vericinin sayılabilir sonlu ya da sayılamaz sayıda olan seçeneklerden oluşan bir küme içinden en az iki ölçüt kullanarak yaptığı seçim işlemidir [39]. Literatürde ÇÖKV problemlerinin çözümü için birçok yöntem kullanılmakta ve bu yöntemler farklı özelliklere göre sınıflandırılmaktadır. Analitik Hiyararşi Süreci (AHS), Analitik Ağ Süreci (AAS), TOPSİS, ELECTRE, PROMETHEE, VİKOR ve DEMATEL yöntemleri yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Ertuğrul ve Özçil [40] çalışmasında TOPSİS ve VİKOR yöntemlerini, Eren [41] AAS ve TOPSİS yöntemlerini, Karaca [42] ELECTRE ve TOPSİS yöntemlerini, Çınar [43] TOPSİS, ELECTRE ve AHS yöntemlerini, Öztürk [44] DEMATEL ve AHS yöntemlerini kullanmıştır. Bu çalışmalarda bir arada kullanılan ÇÖKVY Aydın [45] ve Şen vd. [46]'nin çalışmalarında olduğu gibi tek başına da kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında bu yöntemler arasından DEMATEL yöntemi seçilmiştir. DEMATEL yöntemi Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü, Bilim ve İnsan İlişkileri programı merkezli bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntem; karmaşık ölçütler arasındaki ilişkileri sebep sonuç ilişkisi açısından dikkate alarak, ölçütler arasındaki ilişkilerin ağırlıklarının değerlendirilmesini sağlayarak, ilişkilerin sistem içerisinde benzer özellik göstermesine engel olarak ölçütler arasında var olan karşılıklı bağımlılığı doğrulamaya yardımcı olmaktadır [47]. DEMATEL yöntemi karar verme sürecinde çok sayıda ölçüt arasındaki sebep sonuç ilişkisini görselleştirerek anlamlı sonuçlar çıkartmaya çalışmaktadır. Fakat problemler karmaşık olduğunda, belirsiz bir ortamda gerçekleşen karar alma süreçlerinde, insanların tercihler hakkındaki kararları genellikle belirsizlik içerdiğinde ve belirsizlik durumunu açıklamaları zor olduğunda, kesin değerlerin kullanılmasının önemli sakıncaları olduğunda yetersiz kalan bu yöntemler bulanık ortamlarda daha gerçekçi kararlar almak için “*Bulanık Mantık*” ile birleştirilmektedir [48-50]. Türker [51], Tseng [52] ve Zhou [53] çalışmalarında DEMATEL yöntemini bulanık olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında da karşılaştırma sözel ifadeler kullanılarak yapılacağından DEMATEL yöntemi bulanık mantık ile birleştirilerek bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmiştir.

#### 4.1. Bulanık DEMATEL Yöntemi Adımları (Fuzzy DEMATEL Method Steps)

Bulanık DEMATEL yöntemi 8 adımdan oluşmaktadır [54-56].

**Adım 1: Ölçütlerin belirlenmesi ve bulanık skalanın oluşturulması;** Belirlenen ölçütler arasında bir ölçütün diğer bir ölçütü ne derece etkilediğini ortaya koymak için ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. Karşılaştırmada kullanılacak

olan sözel ifadeler *hiç, oldukça az, az, fazla, oldukça fazla* olmak üzere tanımlanarak 0, 1, 2, 3, 4 gibi sayısal değerler ile ifade edilmektedir. Her bir sayısal değer ise Li (1999) tarafından önerilen üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmektedir (Tablo 2). Üçgensel bir bulanık sayı ( $\tilde{A}$ ), mümkün olan en küçük değer olan l, en çok beklenen değer olan m, mümkün olan en büyük değer olan u sayısı ile ifade edilir ve üyelik fonksiyonu da bu sayılar üzerinden tanımlanır. (l, m, u) ile ifade edilen  $\tilde{A}$  bulanık sayısı yaklaşık A olarak ifade edilmektedir ve  $\tilde{A} = (l_a, m_a, u_a)$  olarak gösterilmektedir.  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  iki üçgensel bulanık sayıları üzerinden temel bulanık işlemler ise aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır [57, 58];

Toplama:  $(l_a + l_b, m_a + m_b, u_a + u_b)$

Çıkarma:  $(l_a - l_b, m_a - m_b, u_a - u_b)$

Çarpma:  $(l_a \times l_b, m_a \times m_b, u_a \times u_b)$

Bölme:  $(l_a / u_b, m_a / m_b, u_a / l_b)$

Tersini Alma:  $\tilde{A}^{-1} = \left[ \frac{1}{u_a}, \frac{1}{m_a}, \frac{1}{l_a} \right]$

**Tablo 2.** Dilsel terimlere karşılık gelen değerler ve üçgensel bulanık sayılar [57-58]

(Corresponding values for linguistic terms and triangular fuzzy numbers)

Dilsel Terimler	Sayısal Değer Tanım	Üçgensel Bulanık Sayılar (l, m, u)
Etkisi çok fazla	4	(0,75; 1,00; 1,00)
Etkisi çok	3	(0,50; 0,75; 1,00)
Etkisi orta	2	(0,25; 0,50; 0,75)
Etkisi az	1	(0,00; 0,25; 0,50)
Hiç etkisi yok	0	(0,00; 0,00; 0,25)

**Adım 2: Bulanık ilişki matrisinin oluşturulması;** Ölçütler  $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$  arasındaki ilişkilerin düzeylerini ölçmek amacıyla her bir değerlendiricinin belirlenen ölçüğe göre (Tablo 2); “Ölçütler birbirlerini hangi düzeyde etkiler?” sorusuna cevap vermesi istenir ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karar grubunun “P” tane uzmandan oluştuğu kabul edilirse “p” tane karar matrisi elde edilir. Bu şekilde p tane  $\tilde{Z}^1, \tilde{Z}^2, \dots, \tilde{Z}^p$  bulanık matris oluşturulur. Buna göre elemanları i. ölçütün j. ölçütü etkileme derecesini gösteren k uzmanına ait  $\tilde{Z}_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, u_{ij}^k)$  üçgensel bulanık sayılarından oluşan direkt ilişki matrisi Eş. 1’de gösterildiği gibi oluşturulur [58-59].

$$\tilde{Z}_k = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \tilde{Z}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{Z}_{n1}^k & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

$$k = 1, 2, \dots, p \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

k=görüşleri alınan kişiler, i=ölçütler

(1)

**Adım 3: Normalize bulanık direk ilişki matrisinin oluşturulması;** Eş. 2’de yer alan formüller kullanılarak normalize bulanık direkt ilişki matrisi oluşturulmaktadır.

$$\tilde{x}_{ij}^k = \frac{\tilde{z}_{ij}^k}{r^k} = \left( \frac{l_{ij}^k}{r^k}, \frac{m_{ij}^k}{r^k}, \frac{u_{ij}^k}{r^k} \right) \quad r^{(k)} = \max_{1 \leq i < n} \left( \sum_{j=1}^n u_{ij}^k \right) \quad (2)$$

Yukarıda yer alan ifadelerde üçgensel bulanık sayıların birincisi “l”, ikincisi “m”, sonuncusu ise “u” ile belirtilmektedir. Eş. 2’de yer alan eşitlik ile “u”ların tamamı sütun olarak toplanarak her sütuna ait bir değer bulunmaktadır. En büyük değer (r) seçilir ve bütün matris “r”ye bölünerek normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi elde edilerek Eş. 3’teki gibi oluşturulmaktadır [39].

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{X}_{n1} & \tilde{X}_{n2} & \dots & \tilde{X}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

**Adım 4: Toplam bulanık ilişki matrisinin oluşturulması;** Eş. 4’teki formül kullanılarak toplam ilişki matrisi oluşturulmaktadır.

$$\tilde{T} = \tilde{X} + \tilde{X}^2 + \tilde{X}^3 + \dots = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{X}^i = \tilde{X}(I - \tilde{X})^{-1} \quad (4)$$

Üçgensel sayılardan oluşmuş olan normalize bulanık doğrudan ilişki matrisine bu formülü uygulamak zor olduğu için l, m, u sayılarının her birinden ayrı birer matris oluşturularak bu formül uygulanır ve sonra tekrar birleştirilerek üçgensel bulanık sayılardan oluşan tek bir toplam ilişki matrisi Eş. 5’teki gibi oluşturulmaktadır.

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{T}_{11} & \tilde{T}_{12} & \dots & \tilde{T}_{1n} \\ \tilde{T}_{21} & \tilde{T}_{22} & \dots & \tilde{T}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{T}_{n1} & \tilde{T}_{n2} & \dots & \tilde{T}_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

**Adım 5: Gönderici ve alıcı grupların belirlenmesi (Neden-Sonuç ilişkilerinin belirlenmesi);**  $\tilde{T}$  matrisi bulunduğundan sonra,  $\tilde{D}_i$ ;  $\tilde{T}$  matrisinde i. satırın elemanlarının toplamı,  $\tilde{R}_i$ ;  $\tilde{T}$  matrisinde i. sütun elemanlarının toplamı bulunmaktadır [51]. Bulunan  $\tilde{D}_i$  ve  $\tilde{R}_i$ ’ler ile her bir ölçüt için,  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  ve  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerler kullanılarak, her bir ölçütün diğerlerine olan etki seviyesi ve diğerleriyle ilişki seviyesi belirlenmektedir.  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değerinde *pozitif* değere sahip olan ölçütlerin diğer ölçütler üzerinde etkisinin *daha*

*yüksek* oldukları kabul edilmektedir. Bu ölçütler *gönderici* olarak adlandırılmaktadır.  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değeri *negatif* değere sahip olan ölçüt veya ölçütler diğer ölçütlerden *daha çok etkilenen* ölçütler olarak belirlenmektedir. Daha düşük önceliğe sahip olan bu ölçütler *alıcı* olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  ölçütlerin arasındaki ilişkiyi göstermekte ve bu değeri yüksek olan ölçütler diğer ölçütler ile daha çok ilişkili olarak, düşük olanlar ise diğer ölçütler ile daha az ilişkili olarak nitelendirilmektedir [60].

**Adım 6: Durulaştırma;** Bulduğumuz  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  ve  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değerleri üç tane bulanık sayı değeri içermektedir. Bu sayılara Eş. 6’da yer alan formül ile durulaştırma yöntemi uygulanarak tek değer haline getirilmektedir [61].

$$\begin{aligned} \tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def} &= \frac{1}{4}(l + 2n + u) \\ \tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def} &= \frac{1}{4}(l + 2n + u) \text{ def: defuzzifying} \end{aligned} \quad (6)$$

**Adım 7: Neden- sonuç ilişki diyagramının elde edilmesi;** Bir önceki adımda bulduğumuz değerler ile neden sonuç ilişki diyagramının çizilmesi ile analiz yapılmaktadır. Grafik, koordinat düzleminde yatay ekseninde durulaştırılmış  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  değerinin, dikey ekseninde durulaştırılmış ve  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değerinin gösterilmesiyle elde edilmektedir [61].

**Adım 8: Ağırlıkların bulunması;** Altıncı adımda bulunan ana ölçütlerin durulaştırılmış değerleri ile Eş. 7’deki formül uygulanarak ağırlıklar bulunmaktadır [39].

$$\begin{aligned} w_i &= \left\{ (\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def})^2 + (\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def})^2 \right\}^{1/2} \\ W_i &= \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \end{aligned} \quad (7)$$

Her bir ölçütün ağırlıklarını (W) bulabilmek için öncelikle durulaştırılmış değerler kullanılarak  $w_i$  değeri, ardından tüm sütunların toplam  $W_i$  değeri bulunmaktadır. Ardından her bir kiritere ait  $w_i$  değeri toplam  $W_i$ ’ye bölünerek her bir ölçütün ağırlığı bulunmaktadır.

**Tablo 3.** Çok ölçütlü karar verme modelini oluşturan ölçütlerin sentez aşamaları (Synthesis stages of the criteria that make up the multi-criteria decision-making model)

Bulanık Dematel Yöntem Adımları	Karar Destek Sistemi Ölçütler	
1- Kriterlerin belirlenmesi ve bulanık skalanın oluşturulması	<u>1. Aşama (Ana Ölçütler)</u>	
2- Bulanık doğrudan ilişki matrisinin oluşturulması	F- Form, M- Maliyet, Z- Zaman, İ- İşçilik	
3- Bulanık doğrudan ilişki matrisini normalleştir	<u>2. Aşama (Form Alt Ölçütler)</u>	<u>3. Aşama (İşçilik Alt Ölçütler)</u>
4- Toplam bulanık ilişki matrisinin oluşturulması	F1- Esneklik	İ1- Uygulama Kolaylığı
5- Neden- sonuç ilişkilerinin belirlenmesi	F2- Fonksiyonellik	İ2- Montaj Kolaylığı
6- Durulaştırma	F3- Bireyselleştirilmiş Tasarım	İ3- Montaj Sayısı
7- Neden- sonuç ilişki diyagramının elde edilmesi		İ4- İş Gücü Verimliliği
8- Ağırlıkların bulunması		İ5- İşçilik Tutarlılığı
		İ6- İnşaat Kalitesi
		İ7- İş Kazaları
		İ8- Gerekli İşçi Sayısı
		İ9- Özel Beceri Gereken İşler
		İ10- Yapım Aşamasının Kontrolü
		İ11- Kalıp Kullanımı
		İ12- Hata Olasılığı
		İ13- Bitiş İşlemi

**5.BULANIK DEMATEL YÖNTEMİNİN UYGULANMASI VE BULGULAR**  
(THE APPLICATION OF THE FUZZY DEMATEL METHOD AND THE FINDINGS)

*5.1. Bulanık DEMATEL Yönteminin Uygulanması*  
(Application of Fuzzy DEMATEL Method)

Yukarıda anlatılan bulanık DEMATEL yöntem adımları oluşturulan her bir alt ölçüte ve ana ölçüte ayrı ayrı uygulanarak değerlendirilmiştir (Tablo 3). Makale kapsamında 1. aşamanın bulanık DEMATEL yöntemiyle değerlendirilmesi detaylı olarak verilmiştir. Diğer aşamaların ise yalnızca sonuçları verilmiştir.

*Adım 1 ve 2: Ölçütlerin belirlenmesi, bulanık skalanın oluşturulması ve bulanık ilişki matrisinin oluşturulması;* Yüz yüze görüşmeler yoluyla yapılan değerlendirmelerin her biri (Tablo 4) Tablo 2'nin yardımıyla üçgen bulanık sayılara çevrilmiştir (Tablo 5).

**Tablo 4.** Birinci kişinin ana ölçüt değerlendirmesinin sayısal ifadesi  
(Numerical expression of the first person's main criteria evaluation)

İ.Uzman	İşçilik	Zaman	Maliyet	Form
İşçilik-İ	0	3	4	3
Zaman-Z	3	0	2	3
Maliyet-M	3	3	0	3
Form-F	3	3	3	0

*Adım 3: Normalleştirilmiş bulanık ilişki matrisinin oluşturulması;* Her bir ölçütün u değerleri toplanarak en

büyük toplam u değeri bulunmuştur. Ardından her bir hücredeki değer bu değere bölünerek Tablo 6'te yer alan normalleştirilmiş bulanık ilişki matrisi tablosu oluşturulmuştur.

Her bir uzmana ait normalleştirilmiş bulanık ilişki matrisi tablosu oluşturulduktan sonra tüm uzmanların normalleştirilmiş bulanık ilişki matrislerini göstermek için her bir hücrenin aritmetik ortalamaları alınarak Tablo 7'de yer alan normalleştirilmiş bulanık doğrudan ilişki matrisi oluşturulmuştur.

*Adım 4: Toplam bulanık doğrudan ilişki matrisinin oluşturulması;* Toplam bulanık doğrudan ilişki matrisini oluşturabilmek için Tablo 7'de yer alan matrisi Eş. 8'deki gibi l, m ve u sütunlarına ayırarak üç tane matris oluşturulmuştur. Her bir matris birim matristen çıkarılarak tersi alınmış ve matrisin ilk haliyle çarpılmıştır. Bu işlem üç değer içinde tekrar edildikten sonra Eş. 9'da bulunan sonuç matrisleri birleştirilerek Tablo 8'de yer alan toplam bulanık doğrudan ilişki matrisi oluşturulmuştur.

$$L = \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,1635 & 0,1558 & 0,1481 \\ 0,1622 & 0,0000 & 0,1705 & 0,1237 \\ 0,1936 & 0,1628 & 0,0000 & 0,1628 \\ 0,1865 & 0,1545 & 0,1776 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,2410 & 0,2333 & 0,2256 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0,2397 & 0,0000 & 0,2481 & 0,2013 \\ 0,2712 & 0,2404 & 0,0000 & 0,2404 \\ 0,2641 & 0,2321 & 0,2551 & 0,0000 \\ 0,0776 & 0,2795 & 0,2718 & 0,2872 \end{bmatrix}$$

$$U = \begin{bmatrix} 0,2865 & 0,0776 & 0,3026 & 0,2788 \\ 0,3026 & 0,2949 & 0,0776 & 0,3026 \\ 0,3026 & 0,2865 & 0,3019 & 0,0776 \end{bmatrix} \quad (8)$$

**Tablo 5.** Birinci kişinin ana ölçüt değerlendirmesinin bulanık sayılara çevrilmesi  
(Translating the first person's main criterion assessment into fuzzy numbers)

Ölçütler	İ			Z			M			F			
	(l, m, u)			(l, m, u)			(l, m, u)			(l, m, u)			
	bulanık üçgensel sayı			bulanık üçgensel sayı			bulanık üçgensel sayı			bulanık üçgensel sayı			
İşçilik-İ	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	0,50	0,75	1,00
Zaman-Z	0,50	0,75	1,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,75	0,50	0,75	1,00
Form-F	0,50	0,75	1,00	0,50	0,75	1,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	
Maliyet-M	0,50	0,75	1,00	0,50	0,75	1,00	0,50	0,75	1,00	0,00	0,00	0,25	
Toplam u	3,25			2,25			3,00			3,25			

**Tablo 6.** Birinci kişinin verilerinin normalleştirilmiş bulanık ilişki matrisi  
(Normalized fuzzy relation matrix of first person data)

İ	Z			M			F					
	(l, m, u)			(l, m, u)			(l, m, u)					
	bulanık üçgensel sayı			bulanık üçgensel sayı			bulanık üçgensel sayı					
İ	0,00	0,00	0,08	0,15	0,23	0,31	0,23	0,31	0,31	0,15	0,23	0,31
Z	0,15	0,23	0,31	0,00	0,00	0,08	0,08	0,15	0,23	0,15	0,23	0,31
M	0,15	0,23	0,31	0,15	0,23	0,31	0,00	0,00	0,08	0,15	0,23	0,31
F	0,15	0,23	0,31	0,15	0,23	0,31	0,15	0,23	0,31	0,00	0,00	0,08

**Tablo 7.** Normalleştirilmiş bulanık doğrudan ilişki matrisi (Normalized fuzzy direct relationship matrix)

İ	Z			M			F					
	(l, m, u)			(l, m, u)			(l, m, u)					
	bulanık üçgensel sayı			bulanık üçgensel sayı			bulanık üçgensel sayı					
İ	0,0000	0,0000	0,0776	0,1635	0,2410	0,2795	0,1558	0,2333	0,2718	0,1481	0,2256	0,2872
Z	0,1622	0,2397	0,2865	0,0000	0,0000	0,0776	0,1705	0,2481	0,3026	0,1237	0,2013	0,2788
M	0,1936	0,2712	0,3026	0,1628	0,2404	0,2949	0,0000	0,0000	0,0776	0,1628	0,2404	0,3026
F	0,1865	0,2641	0,3026	0,1545	0,2321	0,2865	0,1776	0,2551	0,3019	0,0000	0,0000	0,0776



$$\begin{aligned}
 L * (I - L)^{-1} &= \begin{bmatrix} 0,1410 & 0,2680 & 0,2671 & 0,2456 \\ 0,2777 & 0,1249 & 0,2750 & 0,2251 \\ 0,3169 & 0,2795 & 0,1446 & 0,2679 \\ 0,3120 & 0,2734 & 0,2956 & 0,1281 \end{bmatrix} \\
 M * (I - M)^{-1} &= \begin{bmatrix} 0,5209 & 0,6821 & 0,6889 & 0,6460 \\ 0,7078 & 0,4818 & 0,6920 & 0,6243 \\ 0,7656 & 0,7108 & 0,5293 & 0,6835 \\ 0,7613 & 0,7054 & 0,7327 & 0,4899 \end{bmatrix} \\
 U * (I - U)^{-1} &= \begin{bmatrix} 4,7313 & 4,7760 & 4,8309 & 4,8129 \\ 5,0293 & 4,7300 & 4,9753 & 4,9301 \\ 5,1728 & 5,0375 & 4,9224 & 5,0761 \\ 5,1353 & 4,9953 & 5,0685 & 4,8557 \end{bmatrix} \quad (9)
 \end{aligned}$$

Adım 5: Gönderici ve alıcı grupların belirlenmesi (Neden-Sonuç ilişkilerinin belirlenmesi); Matris tablosunda yer alan satır elemanların toplamı (D<sub>i</sub>) ve sütun elemanlarının toplamı (R<sub>i</sub>) hesaplanarak Tablo 9’de yer alan değerler bulunmuştur.

Adım 6: Durulaştırma;  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  ve  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değerlerini tek değer haline getirebilmek için Eş. 6’daki formül yardımı ile ana ölçütlerin durulaştırılmış değerleri hesaplanmıştır (Tablo 10). İlişki düzeyleri ve etkileşim değerlerinin okunduğu bu tablodan  $\tilde{D}_i^{Def} + \tilde{R}_i^{Def}$  değerlerine baktığımızda diğer ölçütlerle ilişki düzeyleri en yüksek olan ölçütün maliyet olduğu gözükmektedir.

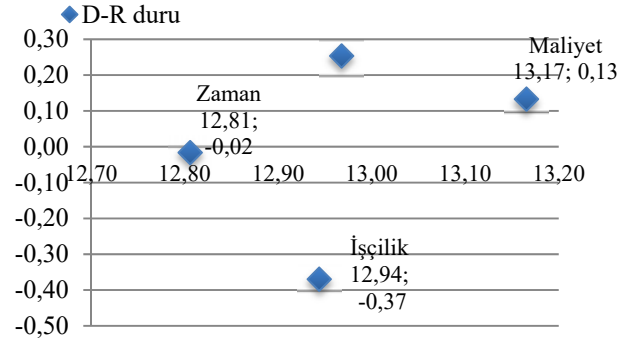
**Tablo 10.** Ana ölçütlerin durulaştırılmış değerleri (The defuzzification values of the main criteria)

	İ	Z	M	F
$\tilde{D}_i^{Def} + \tilde{R}_i^{Def}$	12,944	12,806	13,165	12,968
$\tilde{D}_i^{Def} - \tilde{R}_i^{Def}$	-0,370	-0,016	0,1330	0,2530

Adım 7: Neden- sonuç ilişki diyagramının elde edilmesi; Tablo 10’daki veriler ile neden sonuç ilişki diyagramı çizilerek analiz yapılır (Şekil 1).

Adım 8: Ölçüt ağırlıklarının bulunması; Tablo 10’da bulunan ana ölçütlerin durulaştırılmış değerleri üzerinden (5)’deki formüller kullanılarak her bir ölçütün ağırlıkları (W) bulunmuştur (Tablo 11). Şekil 1’deki diyagrama göre işçilik ve zaman ölçütünün alıcı ya da etkilenen, form ve maliyet ölçütünün ise gönderici ya da

etkileyen grupta olduğu görülmüştür. Diğer ölçütler üzerinde en çok etkisi olan ölçüt ise form olarak belirlenmiştir. Diğer ölçütlerden en çok etkilenen ölçütün ise işçilik olduğu görülmüştür.



**Şekil 1.** Neden-sonuç ilişki diyagramı (Cause-effect relationship diagram)

**Tablo 11.** Ana ölçütlerin ağırlıkları (Weights of the main criteria)

Ölçütler	w <sub>i</sub>	W	Ölçüt öncelikleri
İ	12,9493	0,2495	3
Z	12,8060	0,2468	4
M	13,1660	0,2537	1
F	12,9703	0,2500	2

Buraya kadar olan kısımda çok ölçütlü karar verme modelini oluşturan ana ölçütlerin bulanık DEMATEL yöntemiyle değerlendirmesi yapılmış ve ağırlık değerleri ile ölçüt öncelikleri hesaplanmıştır. Her bir alt ölçüte ait öncelik ve ağırlık değerlerinin hesaplanması da aynı sırayla yapılmış olup sonuçları bulgular başlığında değerlendirilmiştir.

### 5.2. Elde Edilen Bulgular (Findings Obtained)

Tablo 11’deki gibi diğer ölçütlerin de ölçüt ağırlıkları hesaplandıktan sonra karar verme modelinde yer alan ölçütlerin ağırlıkları Tablo 12’deki gibi çıkmıştır. Buna göre çok ölçütlü karar verme modelinde yer alan ölçütler arasında

**Tablo 8.** Toplam bulanık doğrudan ilişki matrisi (Total fuzzy direct relationship matrix)

Ölçütler	İ		Z		M		F					
	(l, m, u)	bulanık üçgensel sayı	(l, m, u)	bulanık üçgensel sayı	(l, m, u)	bulanık üçgensel sayı	(l, m, u)	bulanık üçgensel sayı				
İ	0,1410	0,5209	4,7313	0,2680	0,6821	4,7760	0,2671	0,6889	4,8309	0,2456	0,6460	4,8129
Z	0,2777	0,7078	5,0293	0,1249	0,4818	4,7300	0,2750	0,6920	4,9753	0,2251	0,6243	4,9301
M	0,3169	0,7656	5,1728	0,2795	0,7108	5,0375	0,1446	0,5293	4,9224	0,2679	0,6835	5,0761
F	0,3120	0,7613	5,1353	0,2734	0,7054	4,9953	0,2956	0,7327	5,0685	0,1281	0,4899	4,8557

**Tablo 9.** Ana ölçütlerin neden-sonuç ilişkileri (Cause and effect relationships of main criteria)

	İ		Z		M		F					
	(l, m, u)	bulanık üçgensel sayı	(l, m, u)	bulanık üçgensel sayı	(l, m, u)	bulanık üçgensel sayı	(l, m, u)	bulanık üçgensel sayı				
$\tilde{D}_i$	0,922	2,538	19,151	0,903	2,506	19,665	1,009	2,689	20,209	1,009	2,689	20,055
$\tilde{R}_i$	1,048	2,756	20,069	0,946	2,580	19,539	0,982	2,643	19,797	0,867	2,444	19,675
$\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$	1,969	5,294	39,220	1,849	5,086	39,204	1,991	5,332	40,006	1,876	5,133	39,730
$\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$	-0,126	-0,218	-0,918	-0,043	-0,074	0,126	0,027	0,046	0,412	0,142	0,246	0,380

çok büyük farkların olmadığı gözlemlenmiştir, bu değerler ölçütler arasında bir sıralama yapılmasına imkân sağlamaktadır. Modelde yer alan ölçütlerin önem sıralaması Tablo 13'te, etkileyen-etkilenen sıralaması ise Tablo 14'te verilmektedir.

**Tablo 12.** Çok ölçütlü karar verme modelini oluşturan ölçütlerin ağırlık değerleri  
(Weight values of the criteria that make up the multi-criteria decision-making model)

Karar Verme Modeli Ölçüt Ağırlık Değerleri			
İşçilik	Maliyet	Form	Zaman
(0,249)	(0,253)	(0,250)	(0,246)
İ <sub>1</sub> - 0,0787		F <sub>1</sub> - 0,336	
İ <sub>2</sub> - 0,0772		F <sub>2</sub> - 0,335	
İ <sub>3</sub> - 0,0831		F <sub>3</sub> - 0,330	
İ <sub>4</sub> - 0,0774			
İ <sub>5</sub> - 0,0757			
İ <sub>6</sub> - 0,0716			
İ <sub>7</sub> - 0,0834			
İ <sub>8</sub> - 0,0776			
İ <sub>9</sub> - 0,0740			
İ <sub>10</sub> - 0,0682			
İ <sub>11</sub> - 0,0771			
İ <sub>12</sub> - 0,0775			
İ <sub>13</sub> - 0,0786			

*Ana Ölçütlerin Değerlendirilmesi;* Katmanlı üretimde duvar yapımının uygulanabilirliğini etkileyen maliyet, form, zaman ve işçilik ana ölçütlerinin önem sıralarının neredeyse birbirine eşit olduğu görülmüştür. Maliyet ölçütü görece daha önemli iken, ardından form, işçilik ve zaman ölçütlerinin geldiği görülmüştür. Yapı sektöründe ve yüz yüze yapılan görüşmelerde genel algı maliyetin her şeyden önce gelmesi yönündedir. Fakat değerlendirme sonuçlarında ölçütlerin neredeyse eşit derecede öneme sahip çıkmış olması bunun doğru olmadığını ortaya koymaktadır.

**Tablo 13.** Çok ölçütlü karar verme modelini oluşturan ölçütlerin önem sıralaması  
(Ranking of importance of the criteria that make up the multi-criteria decision-making model)

Karar Verme Modeli Ölçütlerinin Önem Sıralaması	
Ana Ölçütlerin Sıralaması	
1. Maliyet	
2. Form	
3. İşçilik	
4. Zaman	
Alt Ölçütlerin Sıralaması	
İşçilik	Form
1. İnşaat kalitesi	1. Esneklik
2. İş gücü verimliliği	2. Bireyselleştirilmiş tasarım
3. Uygulama kolaylığı	3. Fonksiyonellik
4. Bitiş işlemi	
5. Özel beceri gereken işler	
6. Hata olasılığı	
7. İşçilik tutarlılığı	
8. Montaj kolaylığı	
9. Yapım aşaması kontrolü	
10. Gerekli işçi sayısı	
11. Kalıp kullanımı	
12. İş kazaları	
13. Montaj sayısı	

1980

Bir betonarme duvarın inşa edilmesinde maliyet, form, işçilik ve zamanın bir bütün olarak değerlendirilmesi, birbirinden ayrı ölçütler gibi düşünülmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Maliyetten sonra form ölçütünün daha önemli olduğu (Tablo 13) ve diğer ölçütler üzerinde en çok etkisi (Tablo 14) olduğu sonucuna varılmıştır. İşçilik ise bu ölçütlerden en çok etkilenen ölçüt olmuştur.

*İşçilik Alt Ölçütlerinin Değerlendirilmesi;* Çok ölçütlü karar verme modelinin değerlendirme sonuçlarına göre işçilik alt ölçütlerini incelediğimizde en yüksek değerlendirme puanını alan iş kazalarının en önemli ölçüt olduğu gözlenmektedir. Ardından montaj sayısı, uygulama kolaylığı, bitiş işlemi ve hata olasılığı gelmektedir. Yapım aşamasının kontrolü, inşaat kalitesi, özel beceri gereken işler, işçilik tutarlılığı önem düzeyi en düşük olan ölçütleri oluşturmaktadır. İnşaat kalitesi tüm ölçütleri en yüksek derecede etkilerken ardından bitiş işlemi ve kalıp kullanımının etkilediği görülmektedir. Montaj sayısı ve yapım aşamasının kontrolü de en çok etkilenen ölçütler arasında görülmektedir.

## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Katmanlı duvar üretim süreç ve özellikleri üzerinden belirlenen ölçütlerin betonarme duvar yapım aşamalarına göre tanımlanması ile önerilen çok ölçütlü karar verme modelini; yüz yüze görüşmeler yoluyla karşılaştırılmış ve bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmiştir. Literatür araştırması sonucuna göre KÜ'nün süreç ve özelliklerinin sürdürülebilirlik, geri dönüşüm, üretim sistemleri, yapı malzemeleri, işçilik, maliyet, form, zaman, verimli konutlar, sosyal konutlar vb. birçok başlık altında ele alındığı ortaya koyulmuştur. Bu yüzden KÜ konusu ile ilgili çalışma yapacak araştırmacıların konuyu çeşitli başlıklarda ele alarak incelemeleri önerilmektedir. Literatürde KÜ ile duvar üretiminde özellikle form, maliyet, zaman ve işçilik ölçütlerinin üzerinde durulduğundan çalışma bu ölçütler ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu üretim sistemi ülkemizde henüz uygulama aşamasında olmadığından literatür ve incelenen projeler üzerinden ortaya koyulan ölçütler, mevcutta gerçekleştirilen uygulamalar üzerinden deneyimli kişiler tarafından kıyaslanmıştır. Bu sayede yeni olan bu üretim sistemini kullanmak isteyen yükleniciler, tasarımcılar ve uygulamacılar için; proje ve/veya uygulama süreçlerindeki önceliklerine göre KÜ sisteminin avantaj ya da dezavantajlarını görebilecek çok ölçütlü karar verme modeli önerilmiştir. Literatür araştırmasına ve önerilen çok ölçütlü karar verme modeline göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

### 6.1. Çok Ölçütlü Karar Verme Modelini Oluşturan Ölçütlere İlişkin Değerlendirme Sonuçları ve Öneriler (Evaluation Results and Recommendations on Multi-Criteria Decision Making Model)

Katmanlı üretimin yapılarda uygulanabilirliğini etkileyen ana ölçütlerin belirlenen örneklem üzerinden bulanık DEMATEL ile değerlendirilmesi sonucunda maliyet en önemli ölçüt olarak belirlenmiştir. Buna göre bu yapım

**Tablo 14.** Çok ölçütlü karar verme modelini oluşturan ölçütlerin etkileyen ve etkilenen sıralaması  
(The ranking of the criteria that make up the multi-criteria decision making model that affect and are affected)

Karar Verme Modelinde Kullanılan Ölçütlerin Etkileyen ve Etkilenen Sıralaması	
<b>Ana Ölçütler</b>	
<b>Etkileyen Ölçütlerin Sıralaması</b>	<b>Etkilenen Ölçütlerin Sıralaması</b>
1. Form	1. İşçilik
2. Maliyet	2. Zaman
<b>Form Alt Ölçütleri</b>	
<b>Etkileyen Ölçütlerin Sıralaması</b>	<b>Etkilenen Ölçütlerin Sıralaması</b>
1. Bireyselleştirilmiş Tasarım	1. Esneklik
	2. Fonksiyonellik
<b>İşçilik Alt Ölçütleri</b>	
<b>Etkileyen Ölçütlerin Sıralaması</b>	<b>Etkilenen Ölçütlerin Sıralaması</b>
1. İş kazaları	1. Kalıp kullanımı
2. Bitiş işlemi	2. Montaj kolaylığı
3. Yapım aşamasının kontrolü	3. Özel beceri gereken işler
4. Hata olasılığı	4. Uygulama kolaylığı
5. İnşaat kalitesi	5. Montaj sayısı
6. İşçilik tutarlılığı	6. İş gücü verimliliği
7. Gerekli işçi sayısı	

sisteminin gelişmekte olan bir alan olması ve ülkemiz için henüz bilinmeyen bir teknoloji olmasından maliyet olarak ilk yatırımın yüksek olacağı ve Türkiye için uygulanabilirliğinin ilk aşamada mümkün olmayacağı öngörülmektedir. Fakat bu alanda yapılacak olan çalışmalar ve KÜ tekniğinin benimsenmesi ile yerli olan üretimin yapılmasının mümkün olacağı söylenebilmektedir. Yapılan değerlendirmeye göre, form ölçütünün maliyet ölçütünden hemen sonra geldiği sonucuna varılması nedeniyle, önceliği form olanların özellikle de mimarlar tarafından bu yapım sisteminin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Form alt ölçütlerinden biri olan esneklik ölçütü, yapılacak olan duvarın tasarımına üretim sürecinde müdahale edilebilir, farklı biçimlerde ve boyutlarda duvarlar tasarlayabilmek kısaca tasarım özgürlüğü sunmak olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda katmanlı üretimin en önemli özelliklerinden birinin istenilen esneklikte üretim yapmak olduğu göz önüne alınırsa, bu teknolojinin yapı esnekliği bağlamında kullanılmasının olumlu olacağı öngörülmektedir.

Değerlendirme sonucunda en önemli "İşçilik alt ölçütü" iş kazaları olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda katmanlı üretimin kullanılması ile işçi sayısına olan ihtiyaç minimum olduğundan bu üretim sisteminin kullanılması ile iş kazalarının da engelleneceği öngörülmektedir. Yapım hatalarının yarısının işçilik kaynaklı olduğu [62] göz önüne alınırsa, KÜ tekniğinin kullanılması ile işçilik hatalarının da büyük oranda engelleneceği söylenebilmektedir.

### 6.2. Önerilen Çok Ölçütlü Karar Verme Modelinin Değerlendirme Sonuçları ve Öneriler (Evaluation Results and Recommendations of the Proposed Multi-Criteria Decision Making Model)

Çalışmada belirlenen örneklem üzerinden bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak tanımlanan ölçütler dahilinde çok ölçütlü karar verme modeli oluşturulmuştur.

Kullanıcıların verdiği cevapların ağırlıklarına göre karar verme modeli ölçütlerinin önem sıraları ve birbirleri üzerine olan etkileri ortaya koyulmuştur. Çalışma kapsamında katmanlı üretimin özellikleri ve avantajları üzerinden ortaya koyulan bu ölçütler üzerinden değerlendirme yapan kişi (uygulayıcı/tasarımcı/yüklenici) veya firmalar kendi önem sıralamalarını bulabilmektedir. Ayrıca ölçütlerin birbirlerini etkileme düzeyleri de ortaya koyulmaktadır. Bu sayede kişi veya firmaların önem arz eden ölçütlerine göre KÜ sisteminin uygun olup olmama durumuna karar vermeleri sağlanmaktadır. Sonuç olarak özellik ve avantajları belirlenen bir sistem veya sistemler üzerinden belirlenen ölçütlerin bulanık DEMATEL yöntemiyle analizi sonucunda, kişi veya firmalar için uygun olacak ölçütlere göre karar verilebilmesini sağlayan bir sistem önerilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlara göre önerilen çok ölçütlü karar verme modelinin çalıştığı görülmüştür.

Değişen koşullarda ve değişen ölçütlerle çok ölçütlü karar verme modeli oluşturularak aynı yöntemle ya da aynı ölçütlerin farklı ÇÖKVY [63] ile değerlendirilebileceği önerilmektedir. Mimarlık alanındaki soyut verileri somut verilere dönüştürmek için bulanık sayılar yönteminin kullanılmasının önemli olduğu da ortaya koyulmuştur. Ayrıca soyut veriler ile çalışmak durumunda olan araştırmacıların da ÇÖKVY ve bulanık sayıları kullanmaları önerilmektedir. Çalışmada bulanık sayıların en temeli olan üçgensel bulanık sayılar kullanılmış olup, araştırmacılara diğer bulanık kümelerin kullanılması da önerilmektedir. Ayrıca karmaşık ölçütler arasındaki ilişkileri çözüme ulaştırmak ve ölçütlerin birbiri üzerine etkisini araştırmak isteyenlere de bulanık DEMATEL yöntemi önerilmektedir.

KÜ'nün süreç ve özellikleri bakımından ortaya koyulan ölçütler üzerinden önerilen bu çok ölçütlü karar verme modelinin yeni olan ürünlerde ve teknolojilerde de kullanılması önerilmektedir. Bu çok ölçütlü karar verme modelini, yeni bir ürün veya teknolojinin özellikleri

üzerinden belirlenen ölçütlerin, mevcutta bulunan ürün ve teknoloji ile kıyaslama yapılmasında yol gösterici olması açısından önem taşımaktadır. Kısacası farklı senaryolar için karar verme modelinin uyarlanabilmesi önerilmektedir. Literatür araştırması sonucunda oluşturulan KÜ'nün uygulanabilirliğini etkileyen ölçütlerden oluşturulan karar verme modelinin, yurt dışında bu teknolojiyi ortaya koyan ve araştırılan uzmanlar ile görüşerek revize edilmesi önerilmektedir. Ardından oluşturulacak karar verme modelinin bu teknolojiyi üreten firmalar bazında değerlendirilmesi ile uygulayıcıların istedikleri ölçütlere göre en uygun KÜ tekniğini üreten firmayı seçebilmelerine imkan sağlanabilmektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan çok ölçütlü karar verme modeli uygulama alanında kullanılan teknolojileri de kapsayacak şekilde gözden geçirilerek teoriden pratiğe dönüştürülmesi ile tasarım ve uygulama ofislerinde proje süreçlerinde kullanılabilmesi önerilmektedir. Ayrıca bu hızlı üretim teknolojilerinin kalite, ekonomi, estetik, sürdürülebilirlik vb. açılardan da test edilmesi önerilmektedir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlara göre gelecek çalışmalarda;

- Ölçütlerin revize edilmesi ve örneklem sayısının artırılması ile uygulama alanında karar vermede kullanılacak bir modelin ortaya koyulması
- Belirlenen ölçütlerin farklı duvar yapım türlerine göre karşılaştırılması
- Belirlenen ölçütlerin farklı bulanık sayılar kullanılarak, farklı ÇÖKVY ile karşılaştırılması planlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Solow A. A., Measuring the quality of urban housing environment: A new appraisal technique, *The Journal of Land & Public Utility Economics*, 22 (3), 282-293, 1946.
2. Twichell A. A., An appraisal method for measuring the quality of housing, *American Sociological Review*, 13 (3), 278-287, 1948.
3. Kain J. F., Quigley J. M., Measuring the value of housing quality, *Journal of The American Statistical Association*, 65 (330), 532-548, 1970.
4. Varady D. P., Presier W. F. E., Scattered-site public housing and housing satisfaction, *Journal of The American Planning Association*, 64 (2), 89-207, 1998.
5. D shape Company. 3D Houses. <https://d-shape.com>. Erişim tarihi Ekim 12, 2018.
6. Cybe Construction. 3D concrete printers. <https://cybe.eu> /. Erişim tarihi Mart 3, 2019.
7. Cybe Construction. We redefine construction. <https://cybe.eu/cases/>. Erişim tarihi Nisan 14, 2020.
8. Dezeen. Radiolaria pavilion by Shiro Studio. <https://www.dezeen.com/2009/06/22/radiolaria-pavilion-by-shiro-studio/>. Yayın tarihi Haziran 22, 2009. Erişim tarihi Ağustos 07, 2018.
9. 3D printed house. <https://www.3dprintedhouse.nl/en/>. Erişim tarihi Nisan 1, 2020.
10. Dunn N., *Digital Fabrications in Architecture*, Laurence King Publishing, 2012.
11. Ramirez V. B. This 3B Printed House Goes Up in a Day for Under \$10,000. <https://singularityhub.com/2018/03/18/this-3B-printed-house-goes-up-in-a-day-for-under-10000/#sm.00001umh60px2crlvhu2fmfv92moy>. Yayın tarihi Mart 18, 2018. Erişim tarihi Ekim 10, 2018.
12. Weinstein D., Nawara P., Determining the applicability of 3d concrete construction (contour crafting) of low income houses in select countries, *Cornell Real Estate Review*, 13 (1), 94-111, 2015.
13. Eren E., Alpkın L., Erol Y., Basic functional competencies of the firm and their effects on innovation and financial performance, *Istanbul Commerce University Journal of Social Sciences* 1 (7), 201-224, 2015.
14. Korkusuz A. Y., İnan U. H., Özdemir Y., Başgil H., Occupational health and safety performance measurement in healthcare sector using integrated multi criteria decision making methods, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2), 991-1002, 2020.
15. Gök Kısa A. C., Perçin, S., Application of integrated fuzzy DEMATEL-fuzzy VIKOR approach to machine selection problem, *Journal of Yasar University*, 12 (48), 249-256, 2017.
16. Kabadayı N., Dağ S., Machine selection in a cable manufacturing with using fuzzy DEMATEL and fuzzy promethee, *Karadeniz Technical University Social Sciences Institute Journal of Social Sciences*, 14, 2017.
17. Dinçer H., Yüksel S., Ersin İ., Determination of investment criteria in local governments: an analysis with fuzzy DEMATEL method, *Management and Economics, Manisa Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F.*, 26 (2), 2019.
18. Bulguru B., Koçak F. S., Risk and Success factors assessment for new product development projects by using fuzzy DEMATEL, *Journal of Business Research-Türk*, 12 (1), 732-748, 2020.
19. Gibson I., Kvan T., Ming L. W., Rapid prototyping for architectural models, *Rapid Prototyping*, 8 (2), 91-99, 2002.
20. Mahindru D.V., Mahendru P., Review of rapid prototyping-technology for the future, *Global Journal of Computer Science and Technology Graphics & Vision*, 13 (4), 27-37, 2013.
21. ISO/ASTM 52900 standardı. ISO (International Organization for Standardization) / ASTM (American Society for Testing and Materials) 52900 Standardı
22. ISO/ASTM 52900-15, Standard Terminology for Additive Manufacturing-General Principles-Terminology, 2015.
23. Bryden D., *CAD and Rapid Prototyping for Product Design*, Laurence King Publishing, 2014.
24. Kolarevic B., *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Spon Press, London, 2003.
25. Camacho D. D., Clayton, P., Briena, W., Ferrona, R., Juengera, M., Salamone, S., Seepersad C., Applications of Additive Manufacturing in the Construction Industry

- A Prospective Review, 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017), Taipei-Taiwan, 28 June-1 July, 2017.
26. Krimi I., Lafhaja Z., Ducoulombierb L., Prospective study on the integration of additive manufacturing to building industry—Case of a French construction company, *Additive Manufacturing*, 16, 107-114, 2017.
  27. Paoletti L., Mass Customization with Additive Manufacturing: New Perspectives for Multi Performative Building Components in Architecture *Procedia Engineering*, 180, 1150-1159, 2017.
  28. Kloft H., Gehlen C., Dörfler K., Hack N., Henke K., Lowke D., Mainka J., TRR 277: Additive manufacturing in construction, *Civil Engineering Design*, 1 (10), 2021.
  29. Ramadany M., Bajjou M. S., Applicability and integration of concrete additive manufacturing in construction industry: A case study, *Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 2021.
  30. Shakor P., Nejadi S., Paul G., Malek S., Review of emerging additive manufacturing technologies in 3d printing of cementitious materials in the construction industry, *Frontiers in Built Environment*, 4 (85), 1-17, 2019.
  31. Nerella V. N., Krause M., Näther M., Mech V., Studying printability of fresh concrete for formwork free concrete on-site 3d printing technology (Conprint3d), *Concrete in Australia*, 42 (3), 2016.
  32. Nematollahi B., Xia M., Sanjayan J., Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies, 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017), Taipei-Taiwan, 260-267, 28 June-1 July, 2017.
  33. Bos F., Wolfs R., Ahmed Z., Salet T., Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing, *Virtual and Physical. Prototyping*, 11 (3), 209-225, 2016.
  34. Khoshnevis B., Bukkapatnam S., Kwon H., Saito J., Experimental investigation of contour crafting using ceramics materials, *Rapid Prototyping Journal*, 7 (1), 32-42, 2001.
  35. Khoshnevis B., Hwang D., Yao K.-T., Mega-scale fabrication by contour crafting, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1 (3), 301-320, 2006
  36. Khoshnevis B. Contour Crafting: Automated Construction: Behrokh Khoshnevis at TEDxOjai. <https://www.youtube.com/watch?v=JdbJP8Gxqog> adresinden alındı. Yayın tarihi Nisan 28, 2012. Erişim tarihi Şubat 10, 2018.
  37. Karpova E., Skripkiunas G., Sedova A., Tsimbalyuk Y., Additive Manufacturing of Concrete Wall structures, IV International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development, 281, 2021
  38. Ezel Ç. M., Katmanlı üretim teknolojilerinin yapılarda uygulanabilirliğine yönelik bir karar destek sistemi, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.
  39. Organ A., Kenger M. D., Fuzzy analytic hierarchy process and its application to mortgage bank credit selection problem, *Journal of Niğde University Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 5 (2), 119-135, 2012.
  40. Ertuğrul İ., Özçil, A., Air conditioner selection with topsis and VIKOR methods in multi criteria decision making, *Çankırı Karatekin University Journal of The Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 4 (1), 267-282, 2014.
  41. Eren T., Üçüncü parti lojistik firma seçiminin çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile belirlenmesi, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale, 2012.
  42. Karaca E., ELECTRE I ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak bir otomotiv firması için bayi seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013.
  43. Çınar Y., Çok nitelikli karar verme ve bankaların mali performanslarının değerlendirilmesi örneği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2004.
  44. Öztürk M., Paksoy T., A combined DEMATEL-QFD-AT2 BAHF approach for green supplier selection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (4), 2023-2043, 2020.
  45. Aydın G. S. F., Kentsel dönüşüm sürecinde konut kalitesi değerlendirme modeli önerisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
  46. Şen G., Demirel E., Avcı S., Aladağ Z., Evaluation of effective risk factors in COVID-19 mortality rate with DEMATEL method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (4), 2151-2166, 2021.
  47. Gharakhani D., The evaluation of supplier selection criteria by fuzzy DEMATEL method, *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2 (4), 3, 3215-3224, 2012.
  48. Zadeh L. A., Fuzzy sets, *Information and Control*, 8 (3), 338-353, 1965.
  49. Bellman R.E., Zadeh L.A., Decision making in a fuzzy environment, *Management Science*, 17 (4), 141-164, 1970.
  50. Lin C. J., Wu W. W., A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 34 (1), 205-213, 2008.
  51. Türker T., Üniversitelerde bölümlerin performanslarının değerlendirilmesinde bulanık DEMATEL ve veri zarflama analizi (VZA) yöntemlerinin kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012.
  52. Tseng M. L., A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach, *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 7738-7748, 2009.
  53. Zhou Q., Huang W., Zhang, Y., Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy

- DEMATEL method, *Safety Science*, 49 (2), 243-252, 2011.
54. Öztürk O., Türkiye karayollarında trafik kazalarının nedeni ve bu kazaların analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
  55. Eroğlu Ö., Bakım/Onarım alternatiflerinin bulanık DEMATEL ve smaa-2 yöntemleriyle değerlendirilmesi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014.
  56. Gürbüz F., Çavdarıcı S., Evaluation of problem areas related to the recycling sector via DEMATEL and grey DEMATEL method, *Sakarya University Journal of Science*, 22 (2), 285-301, 2018.
  57. Gülerüz S., Geri dönüşüm tesislerine lisans verme probleminin bulanık anp ve ahp yöntemi ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
  58. Gürsoy N., Bulanık DEMATEL ve Bulanık topsıs yöntemleri ile üretme satın kararlarını etkileyen faktörlerin incelenmesi ve otomotiv yedek parça sektöründe bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2019.
  59. Organ A., Evaluation of machine selection criteria by method of fuzzy DEMATEL, *Çukurova University Journal of Social Sciences Institute*, 22 (1), 157-172, 2013.
  60. Aksakal E., Dağdeviren M., An integrated approach for personel selection with DEMATEL and ANP methods, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (4), 905-913, 2010.
  61. Turgay T., Üniversitelerde bölümlerin performanslarının değerlendirilmesinde bulanık DEMATEL ve veri zarflama analizi (VZA) yöntemlerinin kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012.
  62. Baytop F., İnşaat Uygulamalarında Yanlışlar Doğrular, YEM Yayınları, İstanbul, 2001.
  63. Özarslan A., Karakaya, G., A new interactive approach to multiple criteria sorting problems: An application in energy sector, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (4), 2239-2254, 2021.