

Selection of Flooring Material in Office Spaces Using Fuzzy Sets

Esra Eres Yalçın¹, Ferhat Pakdamar²

ORCID NO: 0000-0003-3061-046X¹, 0000-0002-5594-3095²

¹Kocaeli University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, Kocaeli, Turkey

²Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul, Turkey

Floor covering materials are made for the purposes of protecting the floor layers, being functional and aesthetic, ensuring user safety and comfort. Therefore, in addition to determining the space and user needs well, the investment cost of the material, service life, durability, operating cost, comfort and environmental impact are effective factors in the decision-making phase. When covering materials with different properties are evaluated within the scope of these selection factors, they may have different advantages and disadvantages. In the selection of floor covering materials, it has great importance to consider these properties of the materials together and to make the most appropriate decision among the alternatives. It would be healthier to perform this process, which requires complex decision processes, on a more systematic and realistic level. Therefore, unlike the classical logical computer selection system that makes sharp evaluations as “correct (1)” and “incorrect (0), the fuzzy logic method, which is an approach that evaluates by considering many criteria together just like the human brain and can consider the deficiency in information, was chosen. In the study; it was aimed to create a more realistic decision process in the selection of floor coverings by evaluating the decision criteria in the selection of floor coverings in office spaces with the fuzzy logic approach. In order for the model to work correctly, inputs and outputs were determined in a way that there would be no overlapping data and different number of value sets. In this direction, investment cost (€/m²), service life (year), operating cost (€/m²) and environmental impact criteria (kgCO₂/m²) were the input parameters of the model; carpet, ceramic, PVC and wood coating materials were the output parameters of the model. The selection criteria that constitute the input parameters of the model were defined with fuzzy logic sets, and the fuzzification process was performed by defining triangular membership functions for each selection criterion class over the material value sets. The criterion class was determined for each floor covering material that constitutes the output parameters of the model and the triangular membership function was defined. Two criteria classes were determined for each floor covering material. The selection criterion data that were fuzzified through membership functions were created according to the “or” rule system of fuzzy logic. Floor covering material selection criteria were modeled in the Mamdani inference system in a way that would create input in Matlab according to the determined parameter range. Then, 3 different scenarios were created based on the selection criteria, namely balanced, operating cost focused and environmental impact focused, and these scenarios were evaluated using the model created in the Matlab program. As a result of the evaluations, it was seen that wood was the most suitable choice among wood, PVC, carpet and ceramic flooring materials in all scenarios.

Received: 06.06.2025

Accepted: 25.12.2025

Corresponding Author:
eresyalcin@itu.edu.tr

Eres Yalçın, E. & Pakdamar, F. (2026). Selection of flooring material in office spaces using fuzzy sets. JCoDe: Journal of Computational Design, 7(1), 179-201.
<https://doi.org/10.53710/jcode.1715401>

ROR ID: 059636586

Keywords: Fuzzy Logic, Floor Covering Material, Material Selection.

Ofis Mekanlarında Döşeme Kaplama Malzemesinin Bulanık Kümeler Kullanılarak Seçimi

Esra Eres Yalçın¹, Ferhat Pakdamar²

ORCID NO: 0000-0003-3061-046X¹, 0000-0002-5594-3095²

¹Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kocaeli, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

Döşeme kaplama malzemeleri; döşeme katmanlarını koruma, işlevsel ve estetik olma, kullanıcı güvenliği ve konforunu sağlama gibi amaçlarla yapılmaktadır. Bu yüzden mekanın ve kullanıcı ihtiyacının iyi saptanmasının yanında malzemenin yatırım maliyeti, hizmet ömrü, dayanıklılığı, işletme maliyeti, konforu, çevresel etkisi karar verme safhasında etkili etmenlerdir. Farklı özelliklere sahip kaplama malzemeleri bu seçim etmenleri kapsamında değerlendirildiklerinde farklı avantaj ve dezavantajlara sahip olabilmektedirler. Döşeme kaplama malzemesi seçiminde, malzemelerin bu özelliklerinin bir arada düşünülmesi ve alternatifler arasında en uygun kararın verilmesi büyük önem taşımaktadır. Karmaşık karar süreçlerini gerektiren bu işlemin daha sistematik ve gerçekçi bir düzlemde yapılması daha sağlıklı olacaktır. Bu nedenle “doğru (1)” ve “yanlış (0)” olarak keskin değerlendirmeler yapan klasik mantıklı bilgisayar seçim sisteminin aksine tıpkı insan beyni gibi birçok kriteri birlikte ele alarak değerlendirme yapan ve bilgideki eksikliği gözetebilen bir yaklaşım olan bulanık mantık yöntemi seçilmiştir. Çalışmada; ofis mekanlarındaki döşeme kaplaması seçiminde, karar kriterlerinin bulanık mantık yaklaşımıyla değerlendirilerek, döşeme kaplaması seçiminde daha gerçekçi bir karar süreci oluşturulması amaçlanmıştır. Döşeme kaplama malzemeleri için belirlenen seçim kriterleri (yatırım maliyeti, hizmet ömrü, işletme maliyeti ve çevresel etkisi) ve ofis döşemelerinde yaygın olarak kullanılan malzemelere (ahşap, halı, PVC ve seramik) bulanık kümelerle üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve oluşturulan kurallar doğrultusunda model tamamlanmıştır. Daha sonra seçim kriterleri üzerinden dengeli, işletme maliyeti odaklı ve çevresel etki odaklı olmak üzere 3 farklı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolar Matlab programında oluşturulan model üzerinden değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu ahşap, PVC, halı ve seramik kaplama malzemeleri arasında ahşabın tüm senaryolarda ağırlıklı olarak en uygun tercih olduğu görülmüştür.

Teslim Tarihi: 06.06.2025

Kabul Tarihi: 25.12.2025

Sorumlu Yazar:

eresyalcin@itu.edu.tr

Eres Yalçın, E. & Pakdamar, F. (2026). Ofis mekanlarında döşeme kaplama malzemesinin bulanık kümeler kullanılarak seçimi. JCoDe: Journal of Computational Design, 7(1), 179-201. <https://doi.org/10.53710/jcode.1715401>

ROR ID: 059636586

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Döşeme Kaplama Malzemesi, Malzeme Seçimi.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Döşeme kaplamaları; döşeme katmanlarını oluşabilecek her türlü dış etkilerden korumak, kullanım güvenliğini sağlamak, kullanıcıya estetik bir görünüm ve yeterli bir konfor sunmak, mekanın işlevine uygun, kolay temizlenebilen düzgün bir yüzey elde etmek gibi amaçlarla yapılarak, döşemenin en üst yüzeyini oluşturmaktadır. Bu bağlamda döşeme kaplaması seçimi; işlevsellik, estetik, kullanıcı konforu ve güvenliği konularıyla doğrudan bağlantılıdır. Döşeme kaplaması seçilirken mekanın ve kullanıcı ihtiyacının iyi analiz edilmesinin yanında seçilen malzemenin maliyeti, hizmet ömrü, dayanımı, sunacağı fiziksel konfor (görsel, işitsel, dokunsal) ve çevresel etkileri gibi birçok kriter göz önünde bulundurulmalıdır. En doğru seçimin yapılabilmesi için; bu kriterlerin birlikte ele alınarak bir sonuca varılması gerekmektedir. Bu yüzden; “doğru (1)” ve “yanlış (0) olarak keskin değerlendirmeler yapan klasik mantıklı bilgisayar seçim sisteminin aksine tıpkı insan beyni gibi birçok kriteri birlikte ele alarak değerlendirme yapan ve bilgideki eksikliği gözetebilen bir seçim yaklaşımının benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca bilgilerdeki eksiklikleri karar verme sistemine dahil etmek de karar verme eylemini insan düşünce sistemine daha benzer kılacaktır. Bu çalışma; ofis mekanlarındaki döşeme kaplaması seçiminde karar kriterlerinin bulanık mantık yaklaşımıyla değerlendirilerek, döşeme kaplaması seçiminde daha gerçekçi bir karar süreci oluşturmayı amaçlamaktadır. Böylelikle döşeme kaplaması için karar verilmesi gerektiğinde makineler kullanılacaksa bu sistem sayesinde insan gibi karar verebilme yetisine sahip olacaktır (Zadeh, 1984).

Yapı teknolojisi ve malzemesindeki ilerlemeler doğrultusunda döşeme kaplamalarındaki seçenekler artmıştır. Malzeme seçeneklerinin artması; döşemelerde kaplama seçimi yaparken göz önünde bulundurulması gereken faktörler düşünüldüğünde, projenin gerektirdiği en doğru seçimi yapma noktasında zorluklar yaratmaktadır. Bu durum, malzeme seçimi yapan kişi veya kişileri karar verme sürecinde daha sistematik bir değerlendirme zemini oluşturmaya yöneltmektedir (Alibaba ve diğ., 2004). Ancak bu sayede farklı seçenekler içerisinde en uygun malzemenin seçilerek uygulanması mümkün olacaktır.

İstatistik, matematik, yönetim bilimi gibi disiplinlerin ortak çalışma alanı olan karar kuramı; özellikle belirsizlik içeren durumlarda en iyi seçimi

yapmak için sistematik bir çerçeve sunan bir disiplindir (Cao, 2023).Çoklu karar verme yaklaşımları, karar kuramı çerçevesinde geliştirilmiş karar verme yaklaşımlarıdır (Athawale ve diğ., 2012). Bulanık Mantık (Zadeh, 1965) , AHP (Analytic Hierarchy Process/ Analitik Hiyerarşi Süreci) (Saaty, 1987), TOPSIS (Technique for Order of Performance by Similarity to Ideal Solution/ İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Performans Sıralama Tekniği) (Hwang ve Yoon, 1981), VIKOR (Compromise Ranking Method/ Uzlaşma Sıralama Yöntemi) (Opricovic, 1998) çoklu karar verme yaklaşımlarından bazılarıdır.

Döşeme kaplama malzemesi seçimi yaparken göz önüne alınan kriterlerin zaman zaman birbirine karşıt olması, çok fazla sayıda malzeme alternatifinin olması veya bazen subjektif kararlara bağlı olması seçim sürecini karmaşıklaştırmaktadır (Mahmoud ve diğ., 1996). Örneğin, bir döşeme kaplaması estetik yönden kullanıcıya avantaj sağlarken maliyet açısından ya da çevresel etki açısından dezavantajlı olabilmektedir. Ya da farklı alternatifler üzerinden seçim yaparken subjektif kriterler ön plana çıkmakta seçilecek malzeme kararı konusunda karmaşa çıkabilmektedir. Döşeme kaplaması seçiminde yaşanabilen bu zorluklar, seçimi yapacak kişi ya da kişileri ya doğru (1) ya da yanlış (0) varsayımına dayanan klasik mantık (Aristoteles Mantığı) seçim yöntemlerinden uzaklaştırmış, seçim sürecinde daha sistematik olan çoklu karar verme yaklaşımlarına yöneltmiştir (Reza ve diğ., 2011). Bir önermenin doğru ya da yanlış olduğu varsayılarak çalışan bilgisayar mantığı, klasik mantığa dayanan bir sistem olup, seçim kriterlerini ya var ya da yok şeklinde, ara değersiz, değerlendirmektedir. Oysaki insan beyninin karar mekanizması birçok kriteri aynı anda dikkate alarak değerlendirme yapmakta, karmaşık durumlar karşısında ortaya çıkan belirsizlikleri yönetebilmektedir. Bu sebeple çok sayıda etkene bağlı olan döşeme kaplaması seçiminde, birçok kriteri değerlendirmeye alan çoklu karar verme ve bulanık mantık yaklaşımlarını kullanmak seçimi yapan kişi ya da kişileri daha doğru bir sonuca götürecektir (Zadeh, 1984).

Döşeme kaplama malzemesi seçiminde klasik yaklaşım çoğu zaman teknik ve maliyet gibi belirli kısıtlar üzerinden şekillenmektedir. Bu nedenle seçim sürecinde; kısıtlı kriterler, teknik şartname gereklilikleri ve bütçe dengesi, göz önünde bulundurulmakta; çevresel etki gibi çok boyutlu faktörler ise bazen ihmal edilmekte ya da kararın son aşamasında değerlendirmeye alınmaktadır (Tegegne ve diğ., 2023).

Geleneksel yöntemlerin net eşikler üzerinden çalışması ve belirsiz, net olmayan verileri değerlendirmekte yetersiz kalması sebebiyle malzeme seçiminde yine çoklu karar verme yaklaşımlarına olan ihtiyaç ön plana çıkmaktadır. Bulanık mantık; belirsiz, sözel veya aralık şeklinde ifade edilen verileri bir matematiğe dökerek seçim yapılmasına olanak sağlayan bir yöntem olarak öne çıkmakta; AHP, TOPSIS gibi yöntemlerle entegre edilerek bulanık AHP, bulanık TOPSIS olarak kullanılabilir. Döşeme kaplama malzemesi seçiminde kriterler, net sınırlar yerine aralıklar ile tanımlanmaktadır. Bu nedenle; performans karşılaştırmalarındaki sayısal/sözel veri türü esnekliği, belirsizlikleri koruyarak hesaplama yapması ve hiyerarşik zorunluluğun olmaması gibi açılardan bulanık mantık; esnek, gerçekçi ve karar verici görüşlerini daha doğru yansıtan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yönüyle bu çalışmada bulanık mantığın, döşeme kaplaması seçiminde metodolojik olarak daha gerçekçi sonuçlar sağlaması amaçlanmıştır.

2. DÖŞEME KAPLAMA MALZEMESİ SEÇİM KRİTERLERİ (FLOOR COVERING MATERIAL SELECTION CRITERIA)

Döşeme kaplama malzemesi seçilirken mekanın işlevi ve kullanıcı ihtiyacı doğrultusunda malzemelerin teknik performansları, maliyetleri, estetik özellikleri, çevresel etkileri, konfor ve güvenlik kriterleri göz önünde bulundurulmaktadır (Hall., 1997; Toydemir ve diğ., 2000). Bu kriterlerin birlikte değerlendirilerek optimum kararın verilmesi noktasında çoklu karar verme ve bulanık mantık yöntemleri kullanılmaktadır. Çoklu karar verme yöntemleri arasında hiyerarşik yapının olduğu durumlarda önem ağırlığı belirleme konusunda AHP, alternatiflerin olumlu ve olumsuz yönlerini belirleyerek dengeli bir seçim yapma konusunda TOPSIS ön plana çıkmaktayken, öznel kriterlerin ölçülemeyen “düşük”, “orta”, “yüksek” gibi ifadelerini sayısallaştırması konusunda da Bulanık Mantık ön plana çıkmaktadır (Zadeh, 1968). Bir mekan için döşeme kaplaması seçilirken karar; malzemenin yatırım maliyeti, hizmet ömrü, aşınma ve dayanımı, işletme maliyetleri etkisi, kullanıcı konforu, çevresel etki kriterleri kapsamında değerlendirilmektedir (Tuscher ve diğ., 2024). Bu kriterlerin bazılarının ifadesinde nicel, bazılarında ise nitel veriler kullanılmaktadır. Kesin ifadelerle çalışan AHP ve TOPSIS yöntemlerinde, kullanıcı konforu gibi öznel kriterlerin değerlendirilmesi zorlaşabilmektedir. Bulanık mantıkta ise öznel ya da belirsiz AHP ve TOPSIS yöntemlerinin klasik uygulamaları kesin verilere dayandığından, öznel veya belirsiz kriter

değerlendirmeleri için bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu çalışmada; seçim kriterleri arasında belirli bir hiyerarşik yapı bulunmadığından ve performans temelli bir değerlendirme hedeflenmediğinden doğrudan farklı seçim senaryolarına açık olması yönünden bulanık mantık kullanılmıştır. Bulanık mantık ile veriler kademelendirilerek seçim modeline dahil edilebilir ve değerlendirilen diğer kriterlerle daha bütüncül bir sonuç çıkarabilmektedir (Zadeh, 1965). Bulanık mantık bu yönüyle değerlendirildiğinde yapı sektöründe yalnızca malzeme seçimi alanlarında değil; yüklenici/tedarikçi seçimi, risk ve maliyet yönetimi, yapı sağlığı izleme, sismik risk değerlendirme gibi birçok alanlarda kullanıldığı görülmektedir (Nguyen ve Fayek, 2022).

Yatırım maliyeti kriteri; bir malzemenin ilk satın alma ve uygulama maliyetidir. Döşeme kaplama malzemesi seçiminde bu kriter, proje bütçesi kapsamında değerlendirilerek en uygun seçimin yapılması gereklidir (Tikul, 2014; Ajustree ve diğ., 2020). Kaplama malzemelerinin yatırım maliyeti; malzeme, uygulama, nakliye ve zemin hazırlığı maliyetlerinin analiz edilmesiyle ve birim alan başına düşen toplam maliyetin (dolar (\$), euro (€) ya da TL (₺) olarak) hesaplanmasıyla belirlenmektedir.

Hizmet ömrü kriteri; bir malzemenin ondan beklenen özelliklerin (kaymazlık, su geçirmeme vb.) kaybetmeden ne kadar süre kullanılabilirliği. Hizmet ömrü uzun olan bir döşeme kaplama malzemesi uzun yıllar boyunca büyük bir onarıma ya da değişime ihtiyaç olmadan kullanılabilir. Ayrıca yüksek yatırım maliyetli bir malzemenin hizmet ömrü bir diğer alternatif malzemeye göre daha uzun ise o malzeme, aynı ya da daha düşük yatırım maliyetli alternatif malzemeye göre uzun vadede maliyet yönünden daha avantajlı olacaktır. Bina kullanımında ekonomik verimlilik göz önüne alındığında hizmet ömrü kriteri önemli bir konudur. Bu kriter, üreticilerin ilgili döşeme kaplama malzemelerinin hizmet ömrüyle ilgili yaptıkları testler ve değerlendirmeler sonucu yayınladıkları raporlar doğrultusunda karşılaştırılabilir.

Malzemenin aşınma ve yıpranma kriteri; döşeme kaplama malzemesinin kullanım yoğunluğuna bağlı olarak dayanıklılığını göstermektedir (Derler ve diğ., 2015). Özellikle sirkülasyonun yoğun olduğu mekanlarda dayanıklılığı yüksek kaplama malzemeleri tercih

edilmelidir. Bu sayede kaplama malzemesinin kullanım süresi boyunca estetik ve fonksiyonel açıdan bozulmaması sağlanacaktır (Silva ve diğ., 2004). Bu kriter; üreticilerin döşeme kaplama malzemelerine, ilgili standartlar kapsamında dayanıklılık ve aşınma ile ilgili yaptıkları testlerin sonuçları aracılığıyla karşılaştırılabilmektedir (TS EN 14411, 2013; TS EN 14342, 2009). Bu karşılaştırma sonucunda malzemelerin aşınma ve yıpranma kriterleri kullanıcılar ya da malzeme seçimi yapan kişiler tarafından “yüksek”, “orta” ve “düşük” şeklinde ifade edilebilmektedir.

İşletme maliyetleri etki kriteri; bir malzemenin kullanım aşamasındaki temizlenme, bakım ve onarım maliyetleridir (Tikul, 2014; Heralová, 2011). Binanın maliyet; işletme süresince döşeme kaplama malzemesinin görevini yerine getirebilmesi için yapılan temizlik, bakım ve onarım sırasında harcanan elektrik, su vb. harcamalarını da kapsamaktadır. Bu maliyetler gerektiği durumlarda tek seferlik olabileceği gibi düzenli aralıklarla da ortaya çıkabilmektedir. Bu kriter, üreticilerin ilgili döşeme kaplama malzemeleriyle ilgili yayınladıkları bakım, onarım ve temizlik tariflerini içeren teknik şartnameler doğrultusunda hesaplanabilmektedir. Döşeme kaplama malzemelerinin işletme maliyetleri, birim alana düşen maliyet (dolar (\$), euro (€) ya da TL (₺)) bazında karşılaştırılabilmektedir.

Kullanıcı konforu kriteri; görsel, işitsel, dokunsal konfor kapsamında estetik, renk, doku, ses yalıtımı, ısı yalıtımı, kaymazlık gibi özellikler üzerinden değerlendirilmektedir (Abeyundara ve diğ., 2009; Kim, 2018; Kim, 2025; Carvalho ve diğ., 2021; Waluś ve diğ., 2022). Bu kriter; döşeme kaplama malzemelerin taşıdığı bu özellikler bütününde yapılan değerlendirmeler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Kullanıcı konforunun değerlendirilmesinde, üretici teknik dokümanları ilgili standart ve yönetmelik değerleri ile karşılaştırılarak belirlenebildiği gibi, kullanıcı anketleriyle de belirlenebilmektedir. Yapılan değerlendirmeler öznel nitelik taşıdığından, kullanıcı konforu kriteri, kullanıcılar ya da malzeme seçimi yapan kişiler tarafından “yüksek”, “orta” ve “düşük” şeklinde ifade edilebilmektedir (Tuscher ve diğ., 2024).

Çevresel etki kriteri; bir malzemenin üretim, kullanım ve imha süreçlerindeki karbon ayak izi ve çevre zararını kapsamaktadır (Nicoletti ve diğ., 2002). Bu yüzden döşeme kaplama malzemeleri seçiminde geri dönüştürülebilir sürdürülebilir malzemelerin tercih edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kriter kapsamında; döşeme kaplama

malzemelerin yaşam döngüsü değerlendirilmesi Bina Bilgi Modellemesi (BIM) aracılığıyla yapılabilmektedir (Tuscher ve diğ., 2024). Bir döşeme kaplama malzemesinin yaşam döngüsü boyunca neden olduğu toplam sera gazı emisyonlarının hesaplanmasıyla ölçülen karbon ayak izi, karbondioksit eş değeri (CO₂e) biriminde ifade edilmektedir. Ölçüm için genellikle Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) yöntemleri ve ISO 14040 ve EN 15804 gibi uluslararası standartlar kabul edilmektedir (Jijnsson ve diğ., 1997; Almeida ve diğ., 2016; EN 15804, 2008; TS EN ISO 14040, 2007).

3. DÖŞEME KAPLAMA MALZEMELERİ (FLOOR COVERING MATERIALS)

Ahşap, seramik, halı, PVC, vinil ve mantar ofis yapılarında yaygın olarak kullanılan döşeme kaplama malzemeleridir. Bu malzemeler; yatırım maliyeti, hizmet ömrü, aşınma ve yıpranma özelliği, işletme maliyeti, kullanıcı konforu ve çevresel etki kriterleri kapsamında farklı özellikler gösterebilmektedir (Ros-Dosdá ve diğ., 2019). Bu farklar; Tuscher, Hanák, Navrátilová ve Tichá'nın kaleme aldığı, "Usage of Building Passports and BIM in Multi-Criteria Evaluation" başlıklı, makalede yer alan farklı döşeme kaplama malzemelerine ait seçim kriter değerleri baz alınarak, aşağıdaki tablo aracılığıyla karşılaştırılmalı olarak ifade edilmiştir (Tuscher ve diğ., 2024) **(Tablo 1)**.

Tablo 1'de halı, vinil, seramik, PVC, mantar ve ahşap döşeme kaplama malzemelerinin yatırım maliyeti, €/m² cinsinden verilmiştir. Yatırım maliyeti açısından ahşap (77,6 €/m²) en yüksek maliyeti taşıırken, halı (15,20 €/m²) en düşük yatırım maliyetli döşeme kaplama malzemesidir. Yıl olarak ifade edilen hizmet ömürleri bakımından seramik (40 yıl) en uzun hizmet ömrüne sahipken, halı (10 yıl) en kısa hizmet ömrüne sahiptir. Aşınma ve yıpranma özelliği açısından "yüksek", "orta" ve "düşük" olarak derecelendirilen döşeme kaplama malzemeleri arasından; halı ve PVC kaplama en yüksek aşınma etkisi gösterirken, ahşap ve seramik en düşük aşınma göstermektedir. Döşeme kaplama malzemelerinin işletme maliyetleri €/m² cinsinden verilmiş olup, ahşap ve mantar (9,9€/m²) en yüksek, seramik (2,4 €/m²) en düşük işletme maliyetine sahiptir. Kullanıcı konforu açısından yine "yüksek", "orta" ve "düşük" olarak derecelendirilen döşeme kaplama malzemeleri arasından; mantar ve ahşap yüksek, PVC ve seramik düşük kullanıcı konforu seviyesine sahiptir. Döşeme kaplama malzemeleri çevresel etkileri bakımından kgCO₂/m² cinsinden değerlendirildiğinde ise halının

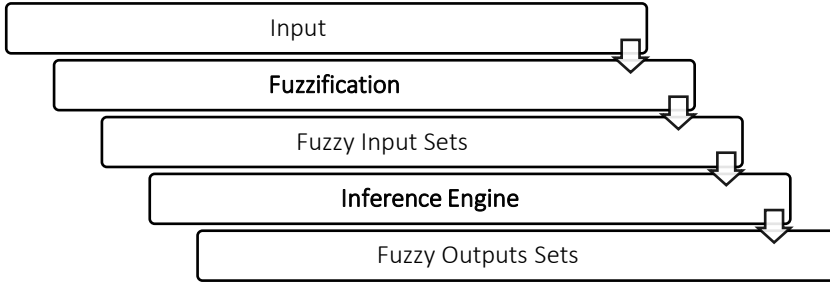
(1,52 €/m²) en düşük, seramiğin en yüksek (6,39 €/m²) çevresel etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Döşeme Kaplama Malzemesi Seçim Kriteri	Halı	Vinil	Seramik	PVC	Mantar	Ahşap
Yatırım Maliyeti (€/m ²)	15,2	32,6	54,4	25,95	61,15	77,6
Hizmet Ömrü (yıl)	10	40	50	20	40	40
Aşınma ve Yıpranma Özelliği	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük
İşletme Maliyeti (€/m ²)	4,4	6,9	2,4	6,9	9,9	9,9
Kullanıcı Konforu	Orta	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Çevresel Etki (kgCO ₂ /m ²)	1,52	5,43	6,39	3,83	3,26	3,11

Tablo 1: Döşeme Kaplama Malzemelerinin Seçim Kriterleri (Selection Criteria for Flooring Materials) (Tuscher ve diğ., 2024).

4. BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC)

Bulanık mantık L. Askerzadeh tarafından tanımlanan, kesin bir şekilde ifade edilemeyen belirsizlik içeren önermeleri matematiksel olarak tanımlayan bir sistemdir (Pakdamar ve Güler, 2012). Klasik mantık net ve keskin sınırlara sahipken bulanık mantıkta yaklaşıklık mevcuttur. İkili sistem üzerine kurulu klasik mantıkta, bir ifade ya “doğru” (1) ya da “yanlış” (0)’tır. Bu yüzden belirsiz veya karmaşık durumlar bu mantıkta modellenememektedir. Bulanık mantıkta ise elemanların bir kümeye üyeliği, 0 ile 1 arasında bir değer alır ve bu sayede belirsiz ya da karmaşık durumlar bu yaklaşımla modellenebilir. Bu yaklaşım insan beyninin düşünme sistemine benzeyen bir yapıya sahiptir. Girdiler ve çıktılar üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanıklaştırılır (fuzzification). Girdiler ve çıktılar arasındaki bilinen ilişkiler kural cümleleriyle tanımlanır. Bulanık çıktı değerleri, ihtiyaç olması durumunda ağırlık merkezi bulma gibi yöntemlerle kesin bir sonuca dönüştürülür (defuzzification) (**Şekil 1**) (Zadeh, 1968).



Şekil 1: Bulanık Mantık Süreci Akış Şeması (Fuzzy Logic Process Flowchart).

5. BULANIK KÜMELERLE ÜYELİK FONKSİYONLARININ TANIMLANMASI (BULANIKLAŞTIRMA) (IDENTIFICATION OF MEMBERSHIP FUNCTIONS WITH FUZZY SETS (FUZZIFICATION))

Ofis mekanlarında döşeme kaplama malzemesinin bulanık kümeler kullanılarak seçimi sürecinde hazırlanacak model, Tablo 1’de yer alan malzeme seçim kriterleri ve kaplama malzemesi değer kümeleri üzerinden hazırlanmıştır. Modelin doğru çalışabilmesi amacıyla çakışan veri ve farklı sayıda değer kümesi olmayacak şekilde girdi ve çıktılar belirlenmiştir. Her bir çıktı için tam kesinlikte ve çakışmasız bir kural tabanı oluşturulabilmesi amacıyla, referans makale verilerindeki bazı malzeme alternatiflerinin ortak girdi değerlerine ve bazı kriterlerin düşük üyelik fonksiyonlu küme sayısına sahip olmasından kaynaklanan çakışmaları gidermek için model kapsamı optimize edilmiştir. Bu nedenle Tablo 1’de aynı hizmet ömrüne sahip ahşap, mantar ve vinil malzemeleri arasından model için doğal zemin kaplamaları arasında en temsili ve yaygın malzeme olan ahşap malzeme model kapsamına dahil edilmiş, mantar ve vinil malzeme modele dahil edilmemiştir. Seçim kriterleri arasından; aşınma ve yıpranma özelliği ile kullanıcı konforu kriterlerinin diğer kriterlere kıyasla düşük üyelik fonksiyonu küme sayısına sahip olmaları nedeniyle bu kriterler modele dahil edilmemiştir. Bu doğrultuda yatırım maliyeti (€/m²), hizmet ömrü (yıl), işletme maliyeti (€/m²) ve çevresel etki kriterleri (kgCO₂/m²) modelin girdi parametrelerini; halı, seramik, PVC ve ahşap kaplama malzemeleri ise modelin çıktı parametrelerini oluşturmaktadır.

Modelin girdi parametrelerini oluşturan seçim kriterleri, bulanık mantık kümeleriyle tanımlanmış, malzeme değer kümeleri üzerinden her bir seçim kriteri sınıfına, üçgen üyelik fonksiyonları tanımlanarak bulanıklaştırma işlemi yapılmıştır. Referans makaleden alınan malzeme değer kümelerine, bulanık mantık uygulaması doğrultusunda veri

işleme temelinde bulanıklaştırma işlemi yapılmış, üçgen fonksiyonların minimum, maksimum ve tepe noktaları belirlenmiştir. Yatırım maliyeti (€/m²) için dört kriter sınıfı belirlenmiş olup, 1. derece en yüksek, 4. derece ise en düşük maliyet sınıfını ifade etmektedir. Hizmet ömrü (yıl) için dört kriter sınıfı belirlenmiş, 1. derece en uzun, 4. derece ise en kısa hizmet ömrü sınıfını ifade etmektedir. İşletme maliyeti (€/m²) dört kriter sınıfı belirlenmiş olup, 1. derece en yüksek, 4. derece ise en düşük işletme maliyeti sınıfını ifade etmektedir. Çevresel Etki (kgCO₂/m²) için dört kriter sınıfı belirlenmiş, 1. derece en yüksek, 4. derece ise en düşük çevresel etkiyi ifade etmektedir (**Tablo 2**).

Model Girdi Parametreleri			
Döşeme Kaplama Malzemesi Seçim Kriteri	Kriter Sınıfı	Malzeme Değer kümeleri	Tanımlanan üçgen üyelik fonksiyonları
Yatırım Maliyeti (€/m ²)	1.derece	77,6	[40.18 66 1e+04]
	2.derece	54,4	[20.58 40.18 66]
	3.derece	25,95	[7.6 20.58 40.18]
	4.derece	15,2	[-1e+04 7.6 20.58]
Hizmet Ömrü (yıl)	1.derece	50	[30 45 1e+04]
	2.derece	40	[15 30 45]
	3.derece	20	[5 15 30]
	4.derece	10	[-1e+04 5 15]
İşletme Maliyeti (€/m ²)	1.derece	9,9	[5.651 8.4 1e+04]
	2.derece	6,9	[3.4 5.651 8.4]
	3.derece	4,4	[1.2 3.4 5.651]
	4.derece	2,4	[-1e+04 1.2 3.4]
Çevresel Etki (kgCO ₂ /m ²)	1.derece	6,39	[3.47 5.11 1e+04]
	2.derece	3,83	[2.16 3.47 5.11]
	3.derece	3,11	[0.76 2.16 3.47]
	4.derece	1,52	[-1e+04 0.76 2.16]

Tablo 2: Bulanık Kümelerle Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması-Girdi (Defining Membership Functions with Fuzzy Sets-Input) .

Model Çıktı Parametreleri		
Döşeme Kaplama Malzemeleri	Kriter Sınıfı	Tanımlanan üçgen üyelik fonksiyonları
Halı	Halı	[0 <u>100</u> 200]
	Halı_değil	[-100 <u>0</u> 100]
Seramik	Seramik	[0 <u>100</u> 200]
	Seramik_değil	[-100 <u>0</u> 100]
PVC	PVC	[0 <u>100</u> 200]
	PVC_değil	[-100 <u>0</u> 100]
Ahşap	Ahşap	[0 <u>100</u> 200]
	Ahşap_değil	[-100 <u>0</u> 100]

Tablo 3: Bulanık Kümelerle Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması- Çıktı (Defining Membership Functions with Fuzzy Sets-Output).

Modelin çıktı parametrelerini oluşturan her bir döşeme kaplama malzemesi için kriter sınıfı belirlenmiş ve üçgen üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Her bir döşeme kaplama malzemesi için iki kriter sınıfı belirlenmiştir. Bu kriter sınıflarından biri örneğin halı malzemesi için halı seçme durumunu, diğeri ise seçmeme durumunu ifade etmektedir (Tablo 3).

6. PROBLEMİN KURALLARININ YÖNTEME UYARLANMASI (ADAPTING THE RULES OF THE PROBLEM TO THE METHOD)

Üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanıklaştırılan seçim kriteri verileri, bulanık mantığın “veya” kural sistemine göre aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

- Kural:** IF (Yatırım_Maliyeti_(€/m²) is 4.derece) OR (Hizmet_Ömrü(yıl) is 4.derece) OR (İşletme_Maliyeti(€/m²) is 3.derece) OR (Çevresel_Etki(kgCO₂/m²) is 4.derece) THEN (Halı is Halı) (Seramik is Seramik_değil)(PVC is PVC_değil)(Ahşap is Ahşap_değil) (1)
- Kural:** IF(Yatırım_Maliyeti_(€/m²) is 2.derece) OR (Hizmet_Ömrü(yıl) is 1.derece) OR (İşletme_Maliyeti(€/m²) is 4.derece) OR (Çevresel_Etki(kgCO₂/m²) is 1.derece) THEN (Halı is Halı_değil) (Seramik is Seramik)(PVC is PVC_değil)(Ahşap is Ahşap_değil) (1)

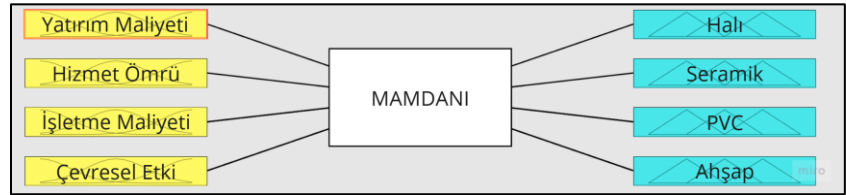
3. **Kural:** IF(Yatırım_Maliyeti_(€/m²) is 3.derece) OR
(Hizmet_Ömrü(yıl) is 3.derece) OR
(İşletme_Maliyeti(€/m²) is 2.derece) OR
(Çevresel_Etki(kgCO₂/m²) is 2.derece) THEN
(Halı is Halı_değil)(Seramik is Seramik_değil)(PVC is PVC)(Ahşap is Ahşap_değil) (1)

4. **Kural:** IF(Yatırım_Maliyeti_(€/m²) is 1._derece) OR
(Hizmet_Ömrü(yıl) is 2.derece) OR
(İşletme_Maliyeti(€/m²) is 1.derece) OR
(Çevresel_Etki(kgCO₂/m²) is 3.derece) THEN
(Halı is Halı_değil)(Seramik is Seramik_değil)(PVC is PVC_değil)(Ahşap is Ahşap) (1)

7. MODELLEME VE DURULAŞTIRMA (MODELING AND DEFUZZIFICATION)

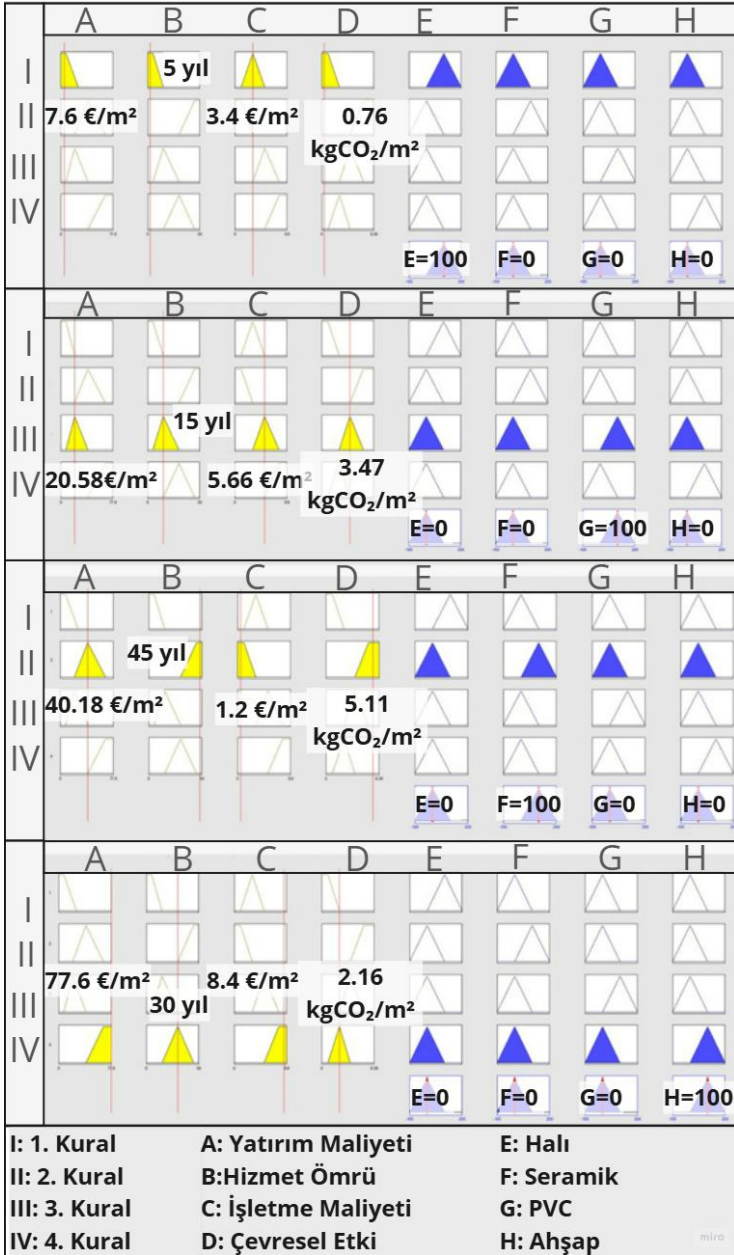
Döşeme kaplama malzemesi seçim kriterleri, belirlenen parametre aralığına göre Matlab'de girdi oluşturacak şekilde Mamdani çıkarım sisteminde modellenmiştir. Döşeme kaplama malzemesi alternatiflerinin çıktı olarak düzenlendiği modelde bir önceki bölümde yonteme uyarlanan problem kuralları modele dahil edilmiş ve model oluşturulmuştur (Şekil 2).

Şekil 2: Belirlenen Girdi ve Çıktıların Mamdani Çıkarım Sisteminde Modellenmesi, Matlab Arayüzü (Modeling of Specified Inputs and Outputs in Mamdani Inference System, Matlab Interface).



Oluşturulan modelde, modelin çalıştığını doğrulamak amacıyla ayrı ayrı tüm çıktılarına tanımlanan üçgen fonksiyon aralığında 100 değerini verecek kurallar denenerek gerekli kontroller yapılmıştır. Halı için yatırım maliyeti 7.6 €/m², hizmet ömrü 5 yıl, işletme maliyeti 3.4 €/m² ve çevresel etki değeri 0.76 kgCO₂/m² olarak girilmiş ve “Halı=100, Seramik=0, PVC=0, Ahşap=0” sonucu elde edilmiştir. PVC için yatırım maliyeti 20.58 €/m², hizmet ömrü 15 yıl, işletme maliyeti 5.65 €/m² ve çevresel etki değeri 3.47 kgCO₂/m² olarak girilmiş ve “Halı=0, Seramik=0, PVC=100, Ahşap=0” sonucu elde edilmiştir. Seramik için yatırım maliyeti 40.18 €/m², hizmet ömrü 45 yıl, işletme maliyeti 1.2 €/m² ve çevresel etki değeri 5.11 kgCO₂/m² olarak girilmiş ve “Halı=0, Seramik=100, PVC=0, Ahşap=0” sonucu elde edilmiştir. Ahşap için

yatırım maliyeti 77.6 €/m², hizmet ömrü 30 yıl, işletme maliyeti 8.4 €/m² ve çevresel etki değeri 2.16 kgCO₂/m² olarak girilmiş ve “Halı=0, Seramik=0, PVC=0, Ahşap=100” sonucu elde edilmiştir. Girilen değerlere göre elde edilen sonuçları oluşturan modelin doğru çalıştığını göstermektedir (Şekil 3).



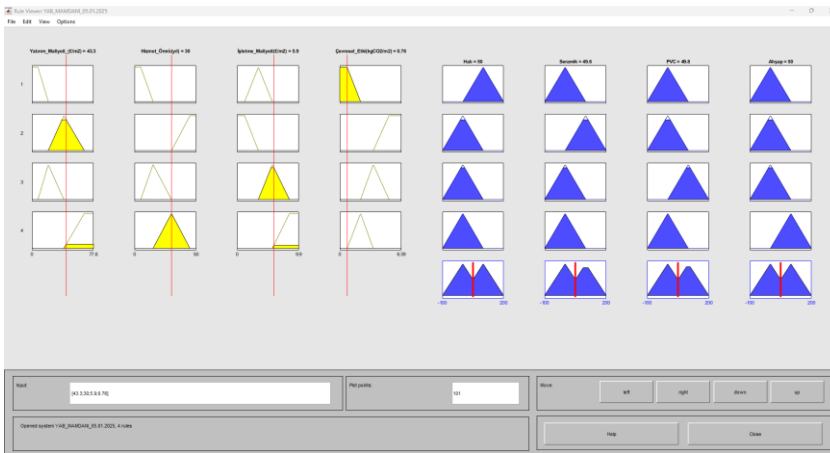
Şekil 3: Modelin Kontrol Edilmesi, Matlab Arayüzü (Checking the Model, Matlab Interface).

8.BELİRLENEN KRİTERLER KAPSAMINDA TERCİH SENARYOLARI (PREFERENCE SCENARIOS WITHIN THE SCOPE OF DETERMINED CRITERIA)

Hazırlanan modelde denenmek üzere üç farklı senaryo belirlenmiştir. 1.senaryoda seçim kriterleri üzerinden dengeli; 2. senaryoda işletme maliyeti odaklı, 3. senaryoda ise çevre odaklı bir yaklaşım benimsenmiştir. 1. senaryoda yatırım maliyeti 43.3 €/m², hizmet ömrü 30 yıl, işletme maliyeti 5.9 €/m² ve çevresel etki değeri 3.7 kgCO₂/m² olarak girilmiş ve “Halı=0, Seramik=49.6, PVC=49.8, Ahşap=50.2” sonucu elde edilmiştir. 2. senaryoda yatırım maliyeti 43.3 €/m², hizmet ömrü 30 yıl, işletme maliyeti 2.4 €/m² ve çevresel etki değeri 3.7 kgCO₂/m² olarak girilmiş ve “Halı=43.3, Seramik=49.6, PVC=49.4, Ahşap=50.4” sonucu elde edilmiştir. 3. senaryoda yatırım maliyeti 43.3 €/m², hizmet ömrü 30 yıl, işletme maliyeti 5.9 €/m² ve çevresel etki değeri 0.76 kgCO₂/m² olarak girilmiş ve “Halı=50, Seramik=49,6, PVC=49.8, Ahşap=50” sonucu elde edilmiştir (**Şekil 4**).

Seçim kriterleri üzerinden dengeli bir yaklaşım benimsenen 1. senaryoda en uygun seçimin ahşap sonrasında sırasıyla PVC ve seramik olduğu görülmüştür. Bu senaryoda halının uygun bir seçim olmadığı görülmüştür. İşletme maliyeti odaklı oluşturulan 2. senaryoda ise en uygun seçimin ahşap sonrasında sırasıyla seramik, PVC ve halı olduğu görülmüştür. Çevre odaklı oluşturulan 3. senaryoda ise en uygun seçimin ahşap ve halı sonrasında sırasıyla seramik ve PVC olduğu görülmüştür.

Döşeme kaplaması alternatiflerine bakıldığında, seçim kriterlerine göre her malzemenin kendine özgü avantajlı ve dezavantajlı yönleri olduğu görülmektedir. Fakat tüm senaryolara bakıldığında ağırlıklı olarak ahşabın en uygun kaplama malzemesi olduğu görülmüş, halının ise 3. senaryoda ahşapla birlikte en uygun kaplama malzemesi alternatifi olduğu görülmüştür.



Şekil 4: Senaryo 1,2,3, Matlab Rule Viewer Arayüzü (Scenarios 1,2,3, Matlab Rule Viewer Interface).

Çalışmada; model girdilerindeki hassas değişiklerin çıktı üzerindeki etkilerini incelemek için tercih edilen $\pm 10\%$ duyarlılık analizi uygulanmıştır. Mevcut senaryo değerlerinde $\pm 10\%$ değişiklikler

yapılarak veriler modele girilmiş, sonuçlar mevcut senaryo değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçların eşleşme durumuna göre TP(Doğru Pozitif), TN(Doğru Negatif), FP(Yanlış Pozitif), FN (Yanlış Negatif) değerleri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; modelin doğruluk oranı (Accuracy) 0.667, kesinlik (Precision) 1, duyarlılık (Recal) 0.667 ve F1 skoru 0.8 olarak bulunmuştur. Sonuçlar doğrultusunda modelin genel olarak güvenilir olduğu ancak küçük kriter değişimlerinde alternatifler arasında kaymaların olabildiğini görülmüştür. Bu kayma modelin tutarsızlığından değil, alternatiflerin birbirine yakınlığından kaynaklanması sebebiyle modelin kriterlere duyarlılığını ortaya koymaktadır (Tablo 4, 5, 6, 7).

Tablo 4: Mevcut Senaryo Verileri (Current Scenario Data).

Mevcut Senaryo Verileri					
Senaryo	Yatırım Maliyeti	Hizmet Ömrü	İşletme Maliyeti	Çevresel Etki	Tahmin (max puan)
1	43,3	30	5,9	3,7	Ahşap
2	43,3	30	2,4	3,7	Ahşap
3	43,3	30	5,9	0,76	Halı

Tablo 5: ±%10 Değişim Tablosu (±10% Change Table).

±%10 Değişim Tablosu					
Senaryo	Yatırım Maliyeti(-%10)	Hizmet Ömrü (+%10)	İşletme Maliyeti (-%10)	Çevresel Etki (-%10)	Varyasyon Tahmini (max puan)
1a	38,97	33	5,31	3,33	Seramik
2a	38,97	33	2,16	3,33	Seramik
3a	38,97	33	5,31	0,684	Halı
Senaryo	Yatırım Maliyeti(+%10)	Hizmet Ömrü (-%10)	İşletme Maliyeti (+%10)	Çevresel Etki (+%10)	Varyasyon Tahmini (max puan)
1b	47,63	27	6,49	4,07	Ahşap
2b	47,63	27	2,64	4,07	Ahşap
3b	47,63	27	6,49	0,836	Halı

Senaryo	Tahmin (max puan)	Varyasyon Tahmini (max puan)	±%10 Değişim Senaryoları
1	Ahşap	Seramik*	1a
		Ahşap	1b
2	Ahşap	Seramik*	2a
		Ahşap	2b
3	Hali	Hali	3a
		Hali	3b
TP:4	FN*:2	FP:0	TN:0

Tablo 6: Model Tahmin ve Varyasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması (Comparison of Model Estimation and Variation Results).

Accuracy	$(TP+TN)/\text{Toplam}$	$(4+0)/6$	0.667	%66.7
Precision	$TP/(TP+FP)$	$4/(4+0)$	1	100%
Recall	$TP/(TP+FN)$	$4/(4+2)$	0.667	%66.7
F1	$(2 \times TP)/(2TP+FP+FN)$	$2 \times (1 \times 0,667)/(1+0,667)$	0,8	80%

Tablo 7: F1 Skor tablosu (F1 Scoreboard).

9. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmada ofis mekanlarında yaygın olarak kullanılan kaplama malzemelerinin seçiminde bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak, malzeme alternatiflerinin yatırım maliyet, hizmet ömrü, işletme maliyeti ve çevresel etki kriterleri açısından değerlendirilmesi sağlanmıştır. Girdi olarak belirlenen seçim kriterlerine ve çıktı olarak belirlenen kaplama malzemelerine referans alınan malzeme değer kümeleri kapsamında bulanık kümelerle tanımlanmıştır. Bu veriler ışığında Matlab’de belirlenen tanımlanan kurallar doğrultusunda farklı senaryolara göre malzeme seçim sıralaması yapılmıştır. 3 farklı senaryoya göre yapılan değerlendirmeler sonucunda; ahşabın her 3 senaryo, içinde ağırlıklı en uygun tercih olduğu görülmüştür. Halinin 3. Senaryo için ahşap ile PVC ve seramiğe göre daha uygun malzemeler olduğu görülmüştür. Düşük çevresel etki ve yatırım maliyeti değerinden dolayı avantajlı, hizmet ömrü açısından dezavantajlı olan halinin daha farklı senaryolar için uygun bir malzeme olabileceği saptanmıştır. Seramik ise uzun hizmet ömrü ve düşük işletme maliyeti açısından avantajlı bir malzemeyken, çevresel etki değerinden dolayı dezavantajlı bir malzeme olduğu görülmektedir. Tüm bu avantaj ve dezavantajlar, bulanık mantık sayesinde birlikte değerlendirilmiş ve bu sayede uygun tercih sırası elde edilmiştir.

Çalışma bulanık mantık modelinin çok kriterli karar verme süreçlerinde etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Bulanık mantığın kullanılması “doğru (1)” ve “yanlış (0) olarak keskin değerlendirmeler yapan klasik mantıklı bilgisayar seçim sisteminin aksine tıpkı insan beyni gibi birçok kriteri birlikte ele alarak değerlendirme yapılmasını sağlamıştır. Sonuç olarak ofis mekanların döşeme kaplama malzemesi seçim sürecinde bulanık mantık yaklaşımının kullanılması daha gerçekçi bir karar süreci oluşturulmuştur.

Günümüzde; malzeme seçimi sürecinde çok boyutlu ve birbirinden bağımsız gibi görünen kriterlerin doğru ve esnek bir karar mekanizmasıyla ele alınması, döngüsel ekonomi ve yenilikçi tasarım yaklaşımlarının hayata geçirilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Bulanık mantık yaklaşımıyla oluşturulan döşeme kaplama malzemesi seçim modeli sayesinde malzemelerin; çevresel etkileri, hizmet ömürleri, işletme ve yatırım maliyetleri birlikte değerlendirilerek hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması konusunda güçlü bir araç olarak değerlendirilebilir. Model kapsamı, her çıktı için çakışmasız bir kural tabanı oluşturulmasını sağlamak amacıyla malzeme alternatifleri ve seçim kriterleri açısından optimize edilmiş olup; daha

yüksek hassasiyetli ve ayırt edici bir veri seti kullanılması durumunda ise değişkenlerin modele kolayca entegresi mümkündür. Bu sayede model diğer mimarlık, mühendislik karar verme süreçlerine entegre edilmesinin de önünü açmaktadır. Gelecek çalışmalarda, bu çalışmada varsayımsal olarak oluşturulan senaryoların vaka çalışmalarıyla desteklenmesi modelin mimari gerçeklikle ilişkisini güçlendirecektir. Bu bağlamda ileride yapılacak çalışmalarda; oluşturulan model üzerinden yapılabilecek geliştirmeler sayesinde, inşaat sektöründe sürdürülebilir malzeme kullanımının artırılması konusuna daha fazla katkı sağlanabilecektir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest)

"Ofis Mekanlarında Döşeme Kaplama Malzemesinin Bulanık Kümeler Kullanılarak Seçimi " başlıklı yazı başka bir yerde yayınlanmamıştır ve başka bir yerde aynı anda yayınlanmak üzere gönderilmemiştir

Yazar Katkısı (Author contribution)

Bu makalede tüm yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Yapay Zekâ Kullanım Beyanı (AI Use Disclosure)

Bu makalenin hazırlanması sürecinde üretken yapay zekâ veya YZ destekli araçlar dil düzenleme, metin kontrolü amacıyla kullanılmıştır. Hiçbir YZ aracı bilimsel fikir üretimi, veri analizi, yorumlama veya özgün araştırma içeriği oluşturma amacıyla kullanılmamıştır. YZ tarafından sağlanan tüm öneriler makalenin bütünlüğü ve özgünlüğü kapsamında yazar tarafından gözden geçirilip, onaylanmıştır.

Referanslar (References)

- Abeyundara, U.G.Y., Babel, S., Piantanakulchai M. (2009). A matrix for selecting sustainable floor coverings for buildings in Sri Lanka. *Journal of Cleaner Production*, 17, 231-238. <https://10.1016/j.jclepro.2008.05.002>
- Ajusree, P.A., Jenson, J. (2020). Environmental and Economic Impact Assessment of Flooring Materials. *Springer Nature Switzerland AG* https://doi.org/10.1007/978-3-030-26365-2_8
- Alibaba, H.Z., Özdeniz M. B., (2004). Abuilding elements selection system for architects. *Building and Environment*, 39, 307-316. <https://10.1016/j.buildenv.2003.09.010>
- Almeida, M. I., Dias, A. C., Demertzi M., Arroja, L. (2016). Environmental profile of ceramic tiles and their potential for improvement. *Journal of*

Cleaner Production, 131, 583-593.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.131>

Athawale, V. M., Chakraborty, S. (2012). Material selection using multi-criteria decision-making methods: a comparative study. *Design and Applications*, 226(4), 266–285.
<https://doi.org/10.1177/146442071244897>

Cao, S. (2023). A Review of Decision Theory and Methods. *The Frontiers of Society, Science and Technology*, 5, 3, 58-63.
<https://10.25236/FSST.2023.050311>

Carvalho, C., Couceir O., M., Montagna, G., Morais, C., Mendonça, R. (2021). Textiles in Architecture: Floors and Wall Coverings. *Lecture Notes in Networks and Systems* 260, 632–637. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80829-7_78

Derler, S., Huber, R., Kausch, F., Meyer, V.R. (2015). Effectiveness, durability and wear of anti-slip treatments for resilient floor coverings. *Safety Science*, 76, 12–20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.002>

EN 15804, (2008). *Sustainability Of Construction Works - Environmental Product Declarations - Product Category Rules*.

Hall, W. (1997). *Floring*. Time-Saver Standards for Architectural Design Data, C-79.

Heralová, R. S. (2011). *Life cycle costing as innovative a decision-making tool in the construction design phase*. Business & IT, 1, 46-62.

Hwang, C., Yoon, K. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*.

Jönsson, A., Tillman, A. M., Svensson, T. (1997). Life Cycle Assessment of Flooring Materials: Case Study. *Building and Environment*, 32, 3, 245-255.

Kim, I. (2025). Surface engineering for safer walking environments: Optimising floor coatings for enhanced slip resistance. *Results in Engineering*, 25, 103987. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.103987>

Kim, I. (2018). Investigation of Floor Surface Finishes for Optimal Slip Resistance Performance. *Safety and Health at Work*, 9, 17-24.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.shaw.2017.05.005>

Mahmoud, M. A. A., Aref, M., Al-Hammad, A. An Expert System for Evaluation and Selection of Floor Finishing Materials. *Expert Systems With Applications*, 10, 2, 281-303.

Nicoletti, G. M., Notarnicola B., Tassielli G. (2002). Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal*

of *Cleaner Production*, 10, 283-296. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00028-2)

Nicoletti, G. M., Notarnicola B., Tassielli G. (2002). Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production*, 10, 283-296. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00028-2)

Nguyen, P.H.D, Fayek, A.R. (2022). Applications of fuzzy hybrid techniques in construction engineering and management research. *Automation in Construction*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104064>

Opricovic, S., *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*.

Pakdamar, F., Güler, K. (2012). Evaluation of Flexible Performance of Reinforced Concrete Structures Using A Nonlinear Static Procedure Provided by Fuzzy Logic. *Advances in Structural Engineering*, 15, 12. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.15.12.2173>

Reza, B., Sadiq, R., Hewage, K. (2010). Sustainability assessment of flooring systems in the city of Tehran: An AHP-based life cycle analysis. *Construction and Building Materials*, 25, 2053-2066. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.041>

Ros-Dosdá, T., Celades I., Vilalta, L., Fullana-i-Palmer, P., Monfort, E. (2019). Environmental comparison of indoor floor coverings. *Science of the Total Environment*, 693, 133519. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.325>

Saaty, R. W. (1987). The Analytic Hierarchy Process-What And How It Is Used. *Mathl Modelling*, 9, 161-176.

Silva, G., Munoz A., Feliu C., Vicent, M. Barbera J., Soler, C. (2004). *New Method For Accelerated Evaluation Of Ceramic Floor Tile Durability On Exposure To Abrasio*. Castellon, 353-366.

Tegegne, D., Abera, m., Alemayehu E. (2023). Selection of Sustainable Building Material Using Multicriteria Decision-Making Model: A Case of Masonry Work in Lideta Subcity, Addis Ababa. *Hindawi Advances in Civil Engineering*, 1, 9729169. <https://doi.org/10.1155/2023/9729169>

Tikul, N., (2014). Environmental and Economic of Flooring Building Materials. *Applied Environmental Research*, 36, 2, 47-59.

Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L. *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme*. (2000), Literatür Yayıncılık.

TS EN ISO 14040, (2007). *Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme - İlkeler Ve Çerçeve*.

- TS EN 14342, (2009). *Ahşap Yer Döşemeleri – Karakteristikler, Uygunluğun Değerlendirilmesi Ve İşaretleme.*
- TS EN 14411, (2013). *Seramik Karolar - Tarifler, Sınıflandırma, Özellikler, Uygunluk Değerlendirmesi Ve İşaretleme.*
- Tuscher, M., Hanák, M., Navrátilová, V., Tichá A. (2024). Usage of Building Passports and BIM in Multi-Criteria Evaluation. *Procedia Computer Science*, 239, 1086–1094.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.273>
- Walus, K. J., Warguła, L., Wieczorek, B., Krawiec P. (2022). Slip risk analysis on the surface of floors in public utility buildings. *Journal of Building Engineering*, 54, 104643.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104643>
- Zadeh, L.A., (1994). *Making Computers Think Like People.* IEEE Spectrum.
- Zadeh, L.A., (1968). *Fuzzy Algorithms.*, Information And Control, 8, 338-353.
- Zadeh, L.A., (1965). *Fuzzy Sets.*, Information And Control, 12, 94-102.

