



ICCAUA Proceedings Journal

Proceedings of the international conference of contemporary affairs in architecture and urbanism-ICCAUA
Volume 9 (December 2026), 2610185

ICCAUA
Proceedings *Journal*
<https://journal.iccaua.com>

Journal homepage: <https://journal.iccaua.com/>

DOI: <https://doi.org/10.38027/ICCAUA2026EN0185>

Identifying and Prioritizing Barriers to Construction 4.0 Adoption

* ¹ Gulden Gumusburun Ayalp, ² Esra Gökçe Pekmezci

¹ Gaziantep University, Faculty of Architecture, Gaziantep, Turkey

² Hasan Kalyoncu University, Faculty of Fine Arts and Architecture, Gaziantep, Turkey

¹ E-mail: guldenayalp@gantep.edu.tr, ² E-mail: egokce.pekmezci@std.hku.edu.tr

Abstract

Received: 28.04.2026
Revised: 27.06.2026
Accepted: 01.07.2026
Available online: 10.07.2026

Copyright © 2026 by the author(s).
All rights reserved.

This article is published under an open-access model and is made available in accordance with the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International Licence (CC BY).



The publisher maintains a neutral stance concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

This article has been selected and peer-reviewed for publication in this journal as part of the 9th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism, held on 7–8 May 2026 in Istanbul, Türkiye.

The transition to Construction 4.0 has the potential to transform productivity, sustainability, and decision-making across the construction industry; however, its adoption remains low in Turkey. This study aims to systematically determine and rank the key challenges hindering the implementation of Construction 4.0. A systematic literature review identifies technological, organizational, financial, regulatory, and human-related barriers to the adoption of Construction 4.0. A mixed research approach is adopted, and reliability and relative importance index (RII) are employed to evaluate the relative importance of these challenges and to reveal their interdependencies. The findings indicate that skills and training deficiencies, high initial investment costs, data interoperability, and organizational resistance to change are perceived as the most critical obstacles. By prioritizing these challenges, the study provides a clearer understanding of where policymakers, practitioners, and educators should focus their efforts. The results contribute to ongoing debates on digital transformation in construction and offer practical guidance.

Keywords: Construction 4.0; Barriers; Relative Importance Index.

İnşaat 4.0'ın Benimsenmesinin Önündeki Engellerin Belirlenmesi ve Önceliklendirilmesi

Özet

İnşaat 4.0'a geçiş süreci, inşaat sektöründe verimlilik, sürdürülebilirlik ve karar alma mekanizmalarını olumlu yönde dönüştürme potansiyeline sahip olmasına rağmen, bu yaklaşımın benimsenme düzeyi Türk inşaat sektöründe çok sınırlı düzeydedir. Bu çalışma, İnşaat 4.0 uygulamalarının hayata geçirilmesini zorlaştıran temel engelleri sistematik biçimde belirlemeyi ve öncelik sırasına koymayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen kapsamlı literatür incelemesi; teknolojik, örgütsel, finansal, yasal ve insan odaklı engelleri ortaya koymuştur. Araştırmada karma bir yöntem benimsenmiş; sistematik literatür taraması ile belirlenen engellere önce güvenilirlik analizi daha sonra göreceli önem düzeylerini değerlendirmek amacıyla Göreceli Önem İndeksi (RII) kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, nitelikli iş gücü ve eğitim eksikliği, yüksek başlangıç yatırım maliyetleri, veri uyumluluğu sorunları ve değişime yönelik kurumsal direnç gibi unsurların en kritik engeller arasında algılandığını göstermektedir. Bu engellerin önceliklendirilmesi sayesinde, politika yapıcılarının, sektör uygulayıcılarının ve eğitim kurumlarının hangi alanlara odaklanması gerektiğine dair daha net bir çerçeve sunulmaktadır. Çalışma, inşaat sektöründeki dijital dönüşüm tartışmalarına katkı sağlamakta ve uygulamaya dönük yol gösterici çıkarımlar sunmaktadır.

1.Giriş

Dijitalleşme, son yıllarda birçok sektörde olduğu gibi inşaat alanında da köklü bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmiştir (Maskuriy vd., 2019). Endüstri 4.0'ın üretim sistemlerinde yarattığı değişim, inşaat sektörüne uyarlanarak İnşaat 4.0 kavramının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Nesnelerin interneti, büyük veri analitiği, yapay zekâ, robotik sistemler ve siber-fiziksel üretim ortamları gibi teknolojiler, proje planlamasından şantiye yönetimine kadar pek çok süreçte daha entegre, veriye dayalı ve etkin karar alma mekanizmalarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır (El Jassar vd., 2021; Oesterreich & Teuteberg, 2016). Bu dönüşüm yalnızca üretkenliği artırma potansiyeli taşımamakta; aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma, maliyet ve zaman yönetimini iyileştirme ve riskleri daha öngörülebilir hale getirme açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır (Suferi & Rahman, 2021). Bununla birlikte, İnşaat 4.0 teknolojilerinin teorik düzeyde sunduğu avantajlara rağmen, bu dönüşümün sektörel ölçekte uygulamaya aktarılması beklenenden daha

yavaş ilerlemektedir (Jaiswal vd., 2024). İnşaat sektörünün proje bazlı, parçalı ve çok paydaşlı yapısı; değişken saha koşulları ve geleneksel iş yapma alışkanlıkları, dijital dönüşüm süreçlerinin benimsenmesini güçleştiren temel dinamikler arasında yer almaktadır (Axelsson vd., 2018). Özellikle gelişmekte olan ekonomilerde faaliyet gösteren inşaat firmalarının teknolojik altyapı eksiklikleri, finansal kısıtlar ve kurumsal adaptasyon sorunları gibi faktörler, bu süreci daha da karmaşık hale getirmektedir (Demirkesen & Tezel, 2022; Wang vd., 2024). Literatürde İnşaat 4.0'ın sunduğu potansiyel faydalar geniş ölçüde tartışılmış olsa da bu teknolojilerin uygulanmasını zorlaştıran engellerin sistematik biçimde ortaya konulması ve önem derecelerine göre değerlendirilmesi halen ihtiyaç duyulan bir araştırma alanıdır. Mevcut çalışmalar çoğunlukla belirli teknolojilere veya sınırlı bağlamlara odaklanmakta; sektörel dönüşümü etkileyen çok boyutlu faktörleri bütüncül biçimde ele almakta yetersiz kalabilmektedir. Oysa dijital dönüşümün başarılı bir şekilde hayata geçirilebilmesi, yalnızca teknolojik altyapının varlığına değil; aynı zamanda örgütsel yapı, insan kaynağı, finansal kapasite ve düzenleyici çevre gibi unsurların eş zamanlı olarak değerlendirilmesine bağlıdır. Bu noktadan hareketle, İnşaat 4.0'ın benimsenmesini sınırlayan faktörlerin belirlenmesi ve göreceli önem düzeylerinin ortaya konulması hem sektör uygulayıcıları hem de politika yapıcılar açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Nitekim dijital dönüşüm sürecinde karşılaşılan engellerin niteliği ve ağırlığı doğru şekilde anlaşılmadan, uygulanabilir stratejiler geliştirmek mümkün değildir. Bu durum, sektörün dijitalleşme sürecinde kaynakların etkin kullanımını ve önceliklendirilmiş müdahale alanlarının belirlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma, İnşaat 4.0 teknolojilerinin sektörel ölçekte benimsenmesini etkileyen başlıca engelleri sistematik bir yaklaşımla tanımlamayı ve bu engelleri önem düzeylerine göre sıralamayı amaçlamaktadır. Böylece, dijital dönüşüm sürecinin önündeki kritik darboğazların daha net biçimde anlaşılması ve gelecekte geliştirilecek stratejilere yön verecek bir değerlendirme çerçevesinin oluşturulması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın yöntemi nicel ve nitel analizlerin bir arada kullanıldığı karma yöntemdir, Nitel araştırma kapsamında literatürde yer alan basılı ve dijital kaynaklardan sistematik literatür taraması yöntemi kullanılarak araştırmanın materyali olan anket soruları oluşturulmuştur. Nicel araştırma kapsamında ise istatistiksel analizler kullanılmıştır. Çalışma birbirini takip eden 5 aşamadan oluşmaktadır. Araştırma yönteminin akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.

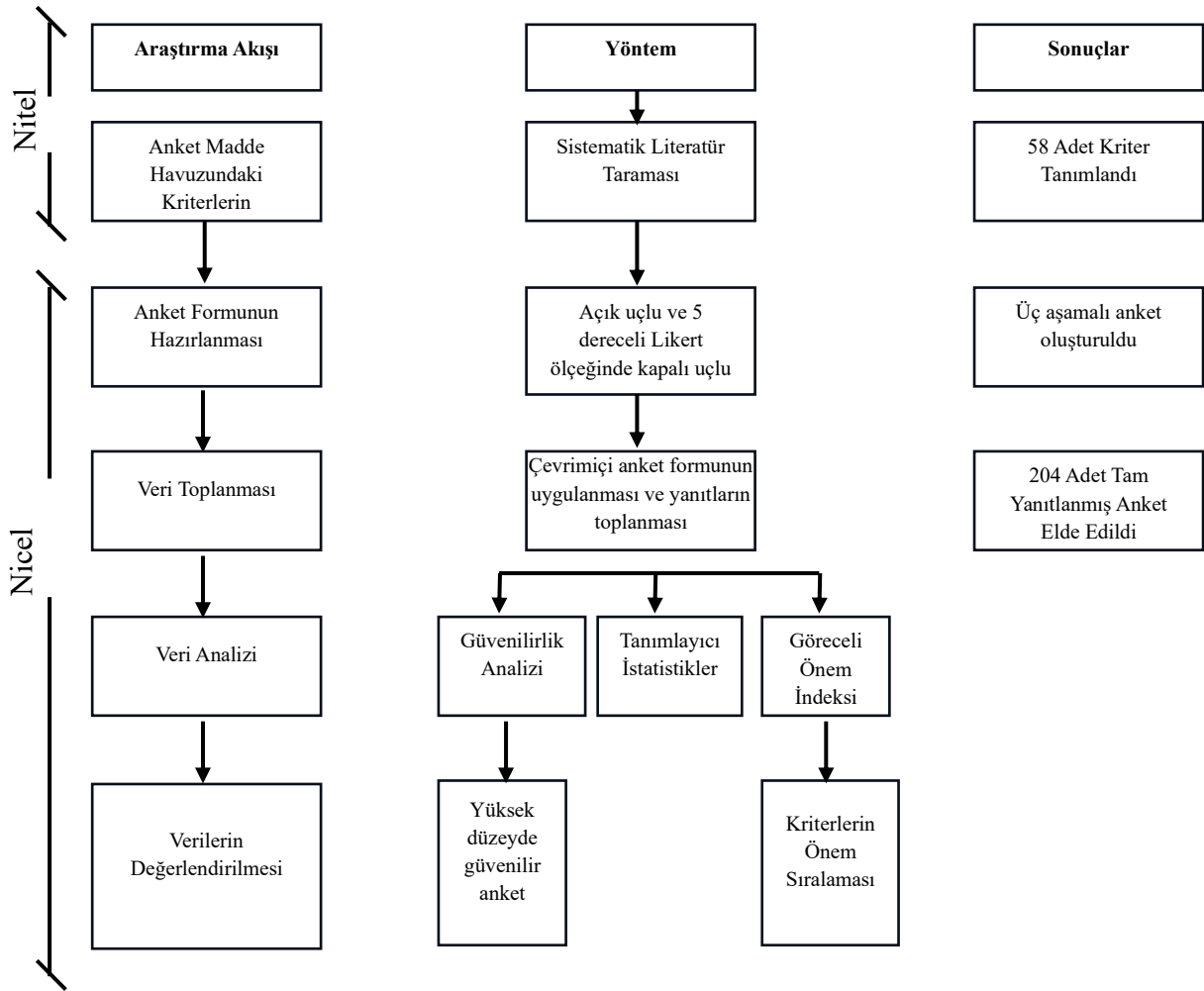


Figure 1. Flowchart of research method.
Şekil 1. Araştırma yöntemi akış şeması.

2.1 Sistematik Literatür Taraması

Sistematik incelemeler, belirli bir araştırma sorusuna ilişkin mevcut bilimsel kanıtları şeffaf, yapılandırılmış ve tekrarlanabilir bir yöntemle sentezlemeyi amaçlayan kanıta dayalı bir araştırma yaklaşımıdır (Snyder, 2019). Sistematik inceleme yöntemi, konuyla ilgili tüm mevcut literatürü kapsayıcı biçimde tanımlamayı, ilgili kanıtları dâhil etmeyi ve bu kanıtların metodolojik kalitesini değerlendirmeyi hedefler (Torraco, 2016). Araştırmanın kapsamı ve sınırları tanımlandıktan sonra belirlenen protokol dahilinde literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, “Web of Science (WoS)” veri tabanında tarama yapılmış ve araştırma dili “İngilizce” olarak belirlenmiştir. Araştırma kapsamında WoS veritabanının tercih edilmesinin nedeni, bu veritabanının tüm makale türlerini kapsamaması ve her bir yayın için yazar bilgilerini, kurumsal adresleri ve bibliyografik referansları ayrıntılı biçimde indekslemesidir (Mongeon & Paul-Hus, 2015). WoS veri tabanında gerçekleştirilen taramada kullanılan sorgu şeması; “Industry 4.0” OR “Construction 4.0” AND “Barrier” AND “Construction” anahtar kelimelerinden oluşmaktadır. Tarama kapsamında yapılan 11 Eylül 2025 tarihli görüntüleme, 37.997 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Bu görüntüleme makalelerin özet ve başlıkları okunarak, içerik ve konu bağlamında uyuşmayan 37.426 makale çalışma kapsamı dışında tutulmuş, 571 makale ile literatür taramasına devam edilmiştir. Konu ve içerik açısından uygun olan çalışmalara, belirli bir araştırma sorusunu yanıtlamaya yönelik dahil etme kriterleri uygulanır (Fisch & Block, 2018). Dahil etme ve hariç tutma kriterleri kapsamında araştırma dışında kalması gereken çalışmaları tespit etmek amacıyla ilk olarak elde edilen 571 çalışmanın başlıkları, özetleri ve anahtar kelimeleri taranmıştır. Çalışmaya başlık, anahtar kelime ve özet bağlamında uymayan 281, tam erişim imkanı olmayan 27 ve İngilizceden farklı dilde yayımlanan 8 çalışma olmak üzere toplamda 316 çalışma araştırma dışında bırakılmıştır. İkinci aşamada ise kalan 255 çalışma tam metin olarak okunmuştur. Tam metni okunan bu çalışmalar arasından araştırma için tanımlanan anahtar kelimelerle doğrudan ilgili olmayan, bağlamın dışında kalan, araştırma soruları ve araştırma konusu kapsamında olmayan 204 çalışma hariç tutulmuştur. Kalan 51 çalışma madde havuzunun oluşturulması için değerlendirilmeye alınmıştır ve tam metinleri detaylı bir şekilde tekrar incelenmiştir. Seçilen bu çalışmaların, mevcut araştırmanın amacı ve kapsamıyla uyumlu olduğu tespit edilmiş ve Türk inşaat sektöründe inşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonuna engel olan faktörlerin belirlenmesi için çalışmaya dahil edilmiştir. Dahil edilen çalışmalar okunarak 58 adet kriter belirlenmiştir. Elde edilen kriterle ve kodları Tablo 1’de yer almaktadır.

Table 1: Criteria Hindering the Integration of Construction 4.0 Technologies Identified Through a Systematic Literature Review.

Tablo 1: Sistematik literatür taramasıyla elde edilen inşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonuna engel olan kriterler.

| Kriter Kodu | Kriter | Kaynak |
|--|---|--|
| Bilgi ve farkındalık düzeyi | | |
| IA1 | Bilgi eksikliği | [1], [2], [3], [4], [5] |
| IA2 | Kötü Uzun Vadeli Planlama | [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13] |
| IA3 | İnşaat 4.0 konusunda sınırlı farkındalık | [10], [14], [71], |
| IA4 | Şirket içinde inşaat 4.0 için zayıf bilgi yönetimi ve değişim yeteneği eksikliği | [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25] |
| Yönetim ve yönetim sorunları | | |
| SL1 | İnşaat 4.0 için üst yönetimden destek eksikliği | [8], [9], [15], [16], [19], [20], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40] |
| SL2 | Şirketlerin belirsizlikler, değişen koşullar ve zorluklara etkin şekilde uyum sağlayamaması | [15], [24], [41] |
| SL3 | Yavaş karar alma süreçleri | [36], [42], [43] |
| SL4 | Yönetim sisteminin inşaat 4.0 için yeterli olmaması | [18], [21], [23], [24], [25] |
| SL5 | Değişime Direnç | [5], [7], [9], [32], [34], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52] |
| Ekonomik engeller, maliyet riskleri ve finansal zorluklar | | |
| EC1 | Ortaya çıkan teknolojilerin yüksek uygulama riskleri ve yatırım getirisi (YG) endişeleri | [15], [17], [21], [23], [24], [27], [53], [54], [55], [56], [57] |
| EC2 | İnşaat 4.0 ile ilgili yapılan araştırma ve geliştirmeye yatırımın az olması | [58], [59], [60], [61] |
| EC3 | İnşaat 4.0 uygulamaları için ilk yatırım maliyetinin yüksek olması | [59], [62], [63], [64] |
| EC4 | Bütçe kısıtlamaları | [65], [66], [67] |
| EC5 | Finansal teşviklerin eksikliği | [68], [69], [70] |
| EC6 | Şirketin İnşaat 4.0 uygulamaları için mali kaynak eksikliği | [5], [7], [32], [49], [50], [71], [72] |
| EC7 | Veri güvenliği ve veri koruması için yüksek maliyet | [59], [70], [73] |
| EC8 | Yatırımın belirsiz- etkisiz getirisi | [32], [49], [51], [74], [75], [76] |

| | | | |
|---|--|---|--|
| EC9 | Yüksek bakım maliyetleri | [52], [59], [77], [78] | |
| EC10 | Yüksek eğitim maliyetleri | [48], [59], [79] | |
| EC11 | Yüksek uygulama maliyetleri | [7], [9], [46], [48], [58], [80], [81], [82] | |
| İnsan kaynakları ve eğitim engelleri | | | |
| HRE1 | Çalışanlar için performans kriterlerinin net tanımlanamaması | [7], [59], [83], [84] | |
| HRE2 | Çalışanların değişime direnci | [10], [13], [23], [52], [59], [85], [86], [87], [88], [89] | |
| HRE3 | Şirket içindeki iletişim sorunları | [13], [16], [18], [25], [35], [90], [91] | |
| HRE4 | Dijitalleştirme yazılımlarının kullanımıyla ilişkili eğitim sistemlerinin verimsizliği | [11], [19], [29], [32], [34], [49], [57], [71], [76], [80], [85], [92], [93], [94], [95], [96], [97], [98], [99], [100] | |
| HRE5 | Dijitalleştirmeyi uygulamak, takip etmek ve geliştirmek için etkili bir Bilgi Teknolojileri departmanının olmaması | [32], [92], [93], [94] | |
| HRE6 | Dijital dönüşüm nedeniyle iş değişikliği ve kar kaybı korkusu | [19], [27], [53], [57] | |
| HRE7 | Hizmet sağlayıcılardan yetersiz destek | [29], [32], [92], [93], [94] | |
| HRE8 | Çalışanların İş kaybı korkusu | [11], [52], [99], [100] | |
| HRE9 | Sektörde dijital yeniliği uygulamak için dijital becerilerin ve kalifiye kişilerin eksikliği | [13], [15], [17], [18], [21], [22], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [32], [34], [48], [54], [56], [57], [58], [59], [85], [101], [102], [103] | |
| Sektöre özgü kronik engeller | | | |
| SDB1 | İnşaat projesinin belirsizliği | [12], [59], [73] | |
| SDB2 | İnşaat projesinin karmaşık yapısı | [12], [34], [59] | |
| SDB3 | Projelerin şantiye bazlı, geçici ve değişken koşullara bağlı yapısı | [12], [59], [104] | |
| SDB4 | İnşaat 4.0 dijital araçların, şantiyelerdeki faaliyetlerin doğası gereği uygun şekilde bakımının yapılmasında zorluk | [5], [10], [80] | |
| SDB5 | Projenin karmaşıklığı, konumu, maliyetleri ve uygulama süresi açısından özellikleri | [5], [7], [29], [32], [92], [105], [106] | |
| Pazar Koşulları | | | |
| SMC1 | İnşaat sektörünün İnşaat 4.0 uygulamaları için yeterince olgunlaşmamış olması | [48], [107], [108] | |
| SMC2 | İş birliği ortaklarının isteksizliği | [18], [21], [24], [25], [28], [101] | |
| SMC3 | Rekabet eksikliği | [48], [53], [109] | |
| SMC4 | Talep eksikliği | [15], [48], [108] | |
| SMC5 | Tedarik zinciri karmaşıklığı | [15], [48], [110] | |
| SMC6 | Üniversiteler ve araştırma merkezleriyle ortaklık geliştirmede zorluklar | [13], [18], [21] | |
| Teknolojik zorluklar | | | |
| TT1 | Belirli teknolojilerin teknik uyumluluk ve kullanım zorlukları | [26], [27], [111], [112] | |
| TT2 | Teknoloji entegrasyonunun gelişmiş donanım altyapısı talep etmesi, | [59], [113], [114] | |
| TT3 | Yazılım performansı ile kullanıcı beklentileri arasındaki uyumsuzluk, | [32], [40], [94] | |
| TT4 | Dijital dönüşüm için net bir vizyon, strateji ve yön eksikliği | [13], [15], [17], [21], [24], [27], [28], [56], [57], [99], [100], [109], [115], [116], [117] | |
| TT5 | Satın alınan yazılımın beklenen iş ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalması | [29], [32], [49], [50], [76], [92], [93] | |
| TT6 | Standardizasyon eksikliği | [58], [109], [116], [117] | |
| TT7 | Şirketlerin yalnızca bireysel teknolojilere odaklanıyor olması ve teknoloji odaklı bir kültüre sahip olması | [21], [23], [27] | |
| TT8 | Teknoloji altyapısı ve ağ ortamının eksikliği | [11], [13], [15], [18], [20], [22], [24], [25], [26], [28], [29], [32], [49], [52], [54], [85], | |

| | | |
|--|--|--|
| | | [93], [98], [99], [100], [101], [109], [116], [117] |
| TT9 | Yeni teknolojinin çıktısını müşteriye açıklamanın zorluğu | [42], [59], [118] |
| TT10 | Yeni yazılımın mevcut araçlar ve sistemlerle uyumsuzluğu | [32], [76], [93], [119], [120] |
| Düzenleyici mevzuat boşlukları ve politika zorlukları | | |
| RG1 | Dijital dönüşüm mevcut iş sürecini veya organizasyon yapısını bozma ihtimali | [15], [17], [20], [53], [101] |
| RG2 | Hükümet politikası belirsizliği | [13], [21], [26], [27], [32], [48], [71] |
| RG3 | Mevcut verilerin yetersizliği | [11], [13], [18], [25], [99], [100] |
| RG4 | Sektöre özgü standartların ve yasaların eksikliği | [7], [13], [15], [17], [18], [19], [20], [21], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [32], [49], [50], [52], [55], [56], [57], [59], [76], [85], [94], [101] |
| RG5 | Siber güvenlik, gizlilik ve veri dayanıklılığı konusunda endişe | [13], [15], [16], [17], [18], [19], [21], [24], [25], [26], [27], [28], [52], [64], [101], [121], [122], [123] |
| RG6 | Teknoloji kullanımında doğabilecek hukuki sorumluluklar | [48], [52], [108], [124] |
| RG7 | Taraflar arasında akdedilen proje sözleşmesinin türünün inşaat 4.0 ile uyumlu olmaması | [29], [32], [76] |
| RG8 | Veri bütünleştirme zorluğu | [18], [25], [119] |

Kaynaklar: [1] Carlander ve Thollander, (2023); [2] Fitriani ve Ajayi, (2023); [3] Trotta ve Garengo, (2018); [4] Zabidin vd., (2020); [5] Osunsanmi vd., (2020); [6] Attiany vd., (2023); [7] Demirkesen ve Tezel, (2022); [8] Goel vd., (2022); [9] Newman vd., (2021); [10] AlBalkhy vd., (2024); [11] Kumar vd., (2020); [12] You ve Feng, (2020); [13] Afraz vd., (2021); [14] Shcherbakov ve Silkina, (2021); [15] Ozkan-Ozen vd., (2020); [16] Vial, (2019); [17] Agrawal vd., (2020); [18] Kamble vd., (2018); [19] Kent vd., (2019); [20] Khahro vd., (2021); [21] Tijan vd., (2021); [22] Luthra ve Mangla, (2018); [23] Olanipekun ve Sutrisna, (2021); [24] Jones vd., (2021); [25] Chauhan vd., (2021); [26] Vogelsang vd., (2018); [27] Diener ve Špaček, (2021); [28] Shahi ve Sinha, (2021); [29] Nitithamyong ve Skibniewski, (2006); [30] Dossick ve Sakagami, (2008); [31] Chen ve Kamara, (Yıl belirtilmemiş); [32] Jahanger vd., (2021); [33] Ren vd., (2022); [34] Al Balkhy vd., (2021); [35] Pasi ve Chavan, (Yıl belirtilmemiş); [36] Pasi vd., (2020); [37] Pasi vd., (2024); [38] Prabakaran ve Shanmugapriya, (2023); [39] Chan vd., (2019); [40] Oesterreich ve Teuteberg, (2016); [41] Nagy vd., (2021); [42] Shafci vd., (2022); [43] El Jazzar vd., (2021); [44] Narkhede vd., (2023); [45] Narkhede vd., (2025); [46] Nnaji ve Karakhan, (2020); [47] Sony ve Naik, (2019); [48] Dhamak vd., (2025); [49] Bajpai ve Misra, (2022); [50] Alsahli, (2011); [51] Peansupap vd., (2005); [52] Dhamak vd., (2025); [53] Vogelsang vd., (2019); [54] Chen vd., (2021); [55] Alrawadieh vd., (2021); [56] Pessot vd., (2021); [57] Kutnjak, (2021); [58] Olatunde vd., (2023); [59] Alwashah vd., (2024); [60] Mathew vd., (2021); [61] McNamara ve Sepasgozar, (2021); [62] Akbari, (2023); [63] AlHinai, (2020); [64] Abdeldayem ve Aldulaimi, (2024); [65] Goroorchurn, (2022); [66] Grybauskas vd., (2022); [67] Aldulaimi vd., (2022); [68] Kumar Singh vd., (2023); [69] Kumar Singh vd., (2023); [70] Aygün ve Ecevit Satı, (2022); [71] Zabidin vd., (2021); [72] Wong ve Lam, (2011); [73] Alsehaimi ve Sanni-Anibire, (2024); [74] Haushdhd vd., (2024); [75] Jane Fox, (2022); [76] Rezgü ve Zarfi, (2006); [77] Khan vd., (2023); [78] Krishna, (2024); [79] Jaiswal vd., (2024); [80] Singh vd., (2023); [81] Singhal vd., (2019); [82] Sarhan vd., (2018); [83] Barbero vd., (2023); [84] Whysall vd., (2019); [85] Szabo vd., (2020); [86] Musarat vd., (2024); [87] Thakur, (2021); [88] Thomas vd., (2023); [89] Varbanov vd., (2021); [90] Raj vd., (2022); [91] Aldulaimi ve Abdeldayem, (2019); [92] Wong ve Lam, (2011); [93] Lam vd., (2009); [94] Peansupap ve Walker, (2005); [95] Sánchez vd., (2024); [96] Scipioni vd., (2023); [97] Siriwardhana ve Moehler, (2023); [98] Vicente vd., (2020); [99] Ling vd., (2020); [100] Bhatt ve Jani, (2019); [101] Sumrit, (2021); [102] Balogun vd., (2020); [103] Costa vd., (2023); [104] Perrier vd., (2024); [105] Sweis, (2015); [106] Doloi, (2014); [107] Menegon ve da Silva Filho, (2023); [108] Begić ve Galić, (2021); [109] Raj vd., (2020); [110] Selvanesan ve Satnarachchi, (2023); [111] Anand vd., (2024); [112] Askerbekov vd., (2024); [113] Topal vd., (2021); [114] Ghoobakhloo vd., (2022); [115] Kumar vd., (2020); [116] Tseng vd., (2022); [117] Hwang vd., (2022); [118] Turk, (2020); [119] Engäs vd., (2023); [120] Faccia vd., (2022); [121] Freddi vd., (2021); [122] Davis vd., (2021); [123] Dwivedi vd., (2022); [124] Yap vd., (2022)

2.2 Araştırma Evreni ve Örneklem Grubu

Araştırmanın evreni, Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren müteahhitler, mimarlar, inşaat mühendisleri, proje yöneticileri, şantiye şefleri ve sektörde dijitalleşme ile ilgili karar verici konumda olan uzmanlardan oluşmaktadır. Araştırma kapsamında oluşturulan anket formu çevrimiçi olarak katılımcılar ile paylaşılmıştır. İnşaat sektörü dışında çalışan kişiler, henüz mezun olmayan mimarlık ve mühendislik bölümü öğrencileri ve araştırmaya gönüllü katılım sağlamak istemeyen bireyler araştırma kapsamı dışında bırakılmıştır. Veri toplama süreci 20 Ekim- 15 Aralık 2025 tarihlerini kapsamaktadır. 16 Aralık 2025 tarihinde veri toplama süreci durdurulmuş ve 216 katılımcıdan veri toplanmıştır. Elde edilen 216 anketten; 10'u meslek tanımı uymadığı için, 2'si yurt dışından katılım sağladığı için araştırma dışı bırakılmış, geriye kalan 204 veri çalışmanın veri setini oluşturmuştur.

Tablo 2: Örneklem grubunun demografik özellikleri.
Table 2: Demographic characteristics of the sample group.

| Genel Bilgiler | | Katılımcı Sayısı (n) | Yüzde (%) |
|----------------|-----------------|----------------------|-----------|
| Cinsiyet | Kadın | 76 | 37,3 |
| | Erkek | 128 | 62,7 |
| Yaş | 22-28 | 95 | 46,6 |
| | 29-34 | 66 | 32,4 |
| | 35-40 | 24 | 11,8 |
| | 41-46 | 14 | 6,9 |
| | 47 (veya üzeri) | 5 | 2,5 |
| Eğitim durumu | Lisans | 146 | 71,5 |
| | Lisans üstü | 58 | 28,5 |

| | | | |
|-----------------------|---|---|-------|
| Meslek | Mimar | 99 | 48,5 |
| | İnşaat mühendisi | 92 | 45,1 |
| | Müteahhit | 3 | 1,5 |
| | Taşınmaz mal, yatırım alanı (arsa) sahipliği | 1 | 0,5 |
| | Malzeme tedarikçisi | 3 | 1,5 |
| | Bilgi teknolojileri uzmanı | 6 | 2,9 |
| | Çalışma alanı | Ana yüklenici, yatırımcı ve proje müellifi-sahibi | 32 |
| | İnşaat proje yönetimi (proje yöneticisi) | 41 | 20,1 |
| | Mühendislik ofisi | 39 | 19,1 |
| | Mimari tasarım ofisi | 60 | 29,4 |
| | Danışmanlık hizmetleri | 3 | 1,5 |
| | Malzeme üreticisi ve tedarikçisi | 10 | 4,9 |
| | Denetim ve sertifikasyon kuruluşu | 4 | 2,0 |
| | Kamu kurumu (belediyeler, çevre bakanlıkları vb.) | 8 | 3,9 |
| | İnşaat alt taşeronu ve teknikerlik hizmetleri | 7 | 3,4 |
| Çalışma süresi | 0-1 yıl | 25 | 12,3 |
| | 2-7 yıl | 113 | 55,4 |
| | 8-13 yıl | 40 | 19,6 |
| | 14-19 yıl | 14 | 6,9 |
| | 20 yıl ve üzeri | 12 | 5,9 |
| | Total | 204 | 100,0 |

2.3 Verilerin Analizi

Türk inşaat sektöründe İnşaat 4.0'ın önündeki engelleri ortaya koymak amacıyla geliştirilen anketin iç tutarlılığı, Cronbach Alfa katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir. Cronbach Alfa değerinin 0,70'in üzerinde olması, ölçekte yer alan değişkenlerin yeterli düzeyde güvenilir ve tutarlı olduğunu göstermektedir (Cronbach, 1951). Veri analizinin izleyen aşamasında, elde edilen bulgular tanımlayıcı istatistikler aracılığıyla incelenmiştir. Beşli Likert ölçeğiyle elde edilen yanıtların ortalama değerlerinin anlamlandırılabilirliği ve etki düzeylerinin sınıflandırılabilirliği için puan

aralıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, Gökdaş (1996) ve Tekin (1996) tarafından önerilen istatistiksel yaklaşım esas alınmıştır. Buna göre aralık genişliği,

Aralık Genişliği = Dizi Genişliği / Grup Sayısı

Şeklinde belirlenmektedir. Likert ölçeğinde kullanılan en düşük ve en yüksek değerler arasındaki fark dizi genişliğini ifade etmektedir ($5 - 1 = 4$).

Ölçekte yer alan derece sayısı ise oluşturulacak grup sayısını göstermektedir. Bu çalışmada beşli Likert ölçeği kullanıldığından grup sayısı 5 olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda aralık genişliği $4 / 5 = 0,80$ olarak hesaplanmış ve buna bağlı olarak puan aralıkları oluşturulmuştur. Aralık genişliğine göre belirlenen bu sınıflandırma Tablo 3'te sunulmaktadır.

Table 3: Evaluation/scoring criteria used in the evaluation of surveys.

Tablo 3: Anketlerin değerlendirilmesinde kullanılan değerlendirme/puanlama kriterleri.

| Likert Ölçeği | Puan Aralıkları | Değerlendirme Kriterleri |
|---------------|-----------------|--------------------------|
| 1 | 1,00 – 1,79 | Çok Düşük |
| 2 | 1,80 – 2,59 | Düşük |
| 3 | 2,60 – 3,39 | Orta Düzey |
| 4 | 3,40 – 4,19 | Yüksek |
| 5 | 4,20 – 5,00 | Çok Yüksek |

SLT kapsamında belirlenen 58 kritere ilişkin olarak, örneklem grubundan elde edilen yanıtlar doğrultusunda veri setine etki eden unsurlar değerlendirilmiş ve beşli Likert ölçeğinde verilen puanlara dayanarak bu kriterlerin göreceli önem düzeyleri sıralanmıştır.

Önem derecesinin belirlenmesi için öncelikle, Zhao & Chen (2018) tarafından geliştirilen formül kullanılmıştır (Formül 1).

$$GÖİ_k(\%) = \frac{5(n5) + 4(n4) + 3(n3) + 2(n2) + n1}{5(n5 + n4 + n3 + n2 + n1)} \times 100 \text{ Formül 1.}$$

İnşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonunu engelleyen kriterlerin göreceli önem indeksi hesaplandıktan sonra (El-Gohary & Aziz, 2014) tarafından geliştirilen formül (Formül 2) kullanılarak genel göreceli önem indeksi hesaplanmıştır.

$$\text{Genel Göreceli Önem İndeksi}_k(\%) = \frac{\sum_{k=1}^5 (k \times GÖİ_k)}{\sum_{k=1}^5 k} \times 100 \text{ Formül 2}$$

3. Bulgular

3.1 Güvenilirlik Analizi

Çalışma kapsamında elde edilen verilerin içsel tutarlılığı Cronbach Alfa katsayısı kullanılarak güvenilirlik analizi ile test edilmiştir. Araştırmada kullanılan anket, 5'li Likert ölçeğiyle oluşturulmuş olup toplamda 58 sorudan oluşmaktadır. Verilere uygulanan güvenilirlik analizi sonucunda Cronbach alfa değeri 0,975 olarak belirlenmiştir. Güvenilirlik analizlerinde Cronbach alfa değeri 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Bu değer aralığında 0,7 sınır değer kabul edilmekte olup (Tavakol & Dennick, 2011) yüksek alfa değeri ($\alpha > 0,90$) veri setinin içsel tutarlılığının mükemmel olduğunu göstermektedir (Bolarinwa, 2015).

3.2 İnşaat 4.0 Teknolojilerinin Türk İnşaat sektöründe benimsenme düzeyine ait tanımlayıcı istatistik bulguları

İnşaat 4.0'ın Türk İnşaat sektöründe benimsenme düzeyini belirlemeye yönelik sorulan soruya katılımcıların verdikleri cevapların yüzde, frekans, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4'te yer almaktadır.

Table 4: Frequency, percentage, standard deviation, and mean values of data obtained from participants regarding the adoption of Construction 4.0 technologies in the Turkish construction sector.

Tablo 4: İnşaat 4.0 teknolojilerinin Türk İnşaat sektöründe benimsenmesine dair katılımcılardan elde edilen verilerin rekans, yüzde, standart sapma ve ortalama değerleri.

| İnşaat 4.0'ın Türk İnşaat sektöründe benimsenme düzeyi | Frekans f | Yüzde % | Ortalama (\bar{X}) | Standart Sapma (σ) |
|--|--------------|------------|---------------------------|--------------------------------|
| Çok düşük | 32 | 15,7 | 2,299 | 0,8899 |
| Düşük | 100 | 49,0 | | |
| Orta düzey | 57 | 27,9 | | |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Yüksek | 9 | 4,4 |
| Çok yüksek | 6 | 2,9 |

Tablo 4 incelendiğinde katılımcıların %64,7'si (çok düşük ve düşük) Türk inşaat sektöründe İnşaat 4.0'ın benimsenme düzeyini çok yetersiz bulmaktadır.

3.3 Türk inşaat sektöründe inşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonuna etki eden kriterlerin değerlendirilmesi

Türk inşaat sektöründe inşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonuna etki eden kriterlere ilişkin örneklem grubunda elde edilen verilerin yüzde ve frekans dağılımları ile bu kriterlerin etki düzeyleri analiz edilmiş, analiz sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Table 5: The percentage and frequency distributions, impact levels, relative importance index (RII) values, and importance rankings of the criteria hindering the integration of Construction 4.0 technologies.

Tablo 5: İnşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonuna engel olan kriterlerin yüzde ve frekans dağılımları, etki düzeyleri, göreceli önem indeks değerleri (GÖİ) ve önem sıralamaları.

| Kriter Kodu | Frekans (f) ve Yüzde (%) | Çok düşük | Düşük | Orta | Yüksek | Çok yüksek | Ortalama (X̄) | Çarpıklık | Basıklık | Standart Sapma (σ) | Etki düzeyi | GÖİ % | Önem Sırası |
|-------------|--------------------------|-----------|-------|------|--------|------------|---------------|-----------|----------|--------------------|-------------|-------|-------------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| IA1 | f | 2 | 18 | 48 | 76 | 60 | 3,85 | -0,534 | -0,400 | 0,977 | Yüksek | 78,78 | 6 |
| | % | 1,0 | 8,8 | 23,5 | 37,3 | 29,4 | | | | | | | |
| IA2 | f | 7 | 21 | 52 | 78 | 46 | 3,66 | -0,568 | -0,193 | 1,045 | Yüksek | 75,46 | 21 |
| | % | 3,4 | 10,3 | 25,5 | 38,2 | 22,5 | | | | | | | |
| IA3 | f | 8 | 18 | 50 | 66 | 62 | 3,76 | -0,649 | -0,239 | 1,098 | Yüksek | 78,66 | 7 |
| | % | 3,9 | 8,8 | 24,5 | 32,4 | 30,4 | | | | | | | |
| IA4 | f | 3 | 23 | 50 | 64 | 64 | 3,80 | -0,486 | -0,650 | 1,052 | Yüksek | 75,96 | 19 |
| | % | 1,5 | 11,3 | 24,5 | 31,4 | 31,4 | | | | | | | |
| SL1 | f | 6 | 27 | 43 | 73 | 55 | 3,71 | -0,561 | -0,497 | 1,093 | Yüksek | 80,89 | 3 |
| | % | 2,9 | 13,2 | 21,1 | 35,8 | 27,0 | | | | | | | |
| SL2 | f | 6 | 27 | 53 | 61 | 57 | 3,67 | -0,428 | -0,680 | 1,108 | Yüksek | 75,30 | 23 |
| | % | 2,9 | 13,2 | 26,0 | 29,9 | 27,9 | | | | | | | |
| SL3 | f | 8 | 33 | 58 | 61 | 44 | 3,49 | -0,286 | -0,737 | 1,116 | Yüksek | 75,68 | 20 |
| | % | 3,9 | 16,2 | 28,4 | 29,9 | 21,6 | | | | | | | |
| SL4 | f | 7 | 28 | 66 | 59 | 44 | 3,51 | -0,263 | -0,627 | 1,080 | Yüksek | 72,59 | 36 |
| | % | 3,4 | 13,7 | 32,4 | 28,9 | 21,6 | | | | | | | |
| SL5 | f | 13 | 25 | 49 | 51 | 66 | 3,65 | -0,537 | -0,703 | 1,229 | Yüksek | 78,94 | 5 |
| | % | 6,4 | 12,3 | 24,0 | 25,0 | 32,4 | | | | | | | |
| EC1 | f | 10 | 31 | 57 | 57 | 49 | 3,51 | -0,334 | -0,748 | 1,155 | Yüksek | 77,74 | 11 |
| | % | 4,9 | 15,2 | 27,9 | 27,9 | 24,0 | | | | | | | |
| EC2 | f | 6 | 33 | 46 | 61 | 58 | 3,65 | -0,418 | -0,832 | 1,142 | Yüksek | 74,16 | 28 |
| | % | 2,9 | 16,2 | 22,5 | 29,9 | 28,4 | | | | | | | |
| EC3 | f | 9 | 33 | 45 | 57 | 60 | 3,62 | -0,441 | -0,841 | 1,191 | Yüksek | 76,37 | 15 |
| | % | 4,4 | 16,2 | 22,1 | 27,9 | 29,4 | | | | | | | |
| EC4 | f | 6 | 34 | 51 | 53 | 60 | 3,62 | -0,340 | -0,941 | 1,157 | Yüksek | 82,52 | 1 |
| | % | 2,9 | 16,7 | 25,0 | 26,0 | 29,4 | | | | | | | |
| EC5 | f | 5 | 30 | 56 | 63 | 50 | 3,60 | -0,326 | -0,747 | 1,085 | Yüksek | 82,11 | 2 |
| | % | 2,5 | 14,7 | 27,5 | 30,9 | 24,5 | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|------|------|------|------|------|------|--------|--------|-------|------------|-------|----|
| EC6 | f | 10 | 36 | 50 | 60 | 48 | 3,49 | -0,328 | -0,846 | 1,172 | Yüksek | 78,52 | 8 |
| | % | 4,9 | 17,6 | 24,5 | 29,4 | 23,5 | | | | | | | |
| EC7 | f | 15 | 48 | 51 | 53 | 37 | 3,24 | -0,101 | -1,000 | 1,210 | Orta düzey | 76,15 | 16 |
| | % | 7,4 | 23,5 | 25,0 | 26,0 | 18,1 | | | | | | | |
| EC8 | f | 13 | 36 | 56 | 49 | 50 | 3,43 | -0,251 | -0,921 | 1,215 | Yüksek | 77,41 | 12 |
| | % | 6,4 | 17,6 | 27,5 | 24,0 | 24,5 | | | | | | | |
| EC9 | f | 13 | 45 | 67 | 45 | 34 | 3,21 | 0,000 | -0,816 | 1,152 | Orta düzey | 72,25 | 40 |
| | % | 6,4 | 22,1 | 32,8 | 22,1 | 16,7 | | | | | | | |
| EC10 | f | 13 | 50 | 59 | 48 | 34 | 3,20 | 0,003 | -0,924 | 1,171 | Orta düzey | 72,10 | 43 |
| | % | 6,4 | 24,5 | 28,9 | 23,5 | 16,7 | | | | | | | |
| EC11 | f | 12 | 34 | 57 | 63 | 38 | 3,40 | -0,305 | -0,701 | 1,142 | Yüksek | 76,03 | 17 |
| | % | 5,9 | 16,7 | 27,9 | 30,9 | 18,6 | | | | | | | |
| HRE1 | f | 7 | 35 | 70 | 54 | 38 | 3,40 | -0,110 | -0,718 | 1,080 | Yüksek | 74,72 | 25 |
| | % | 3,4 | 17,2 | 34,3 | 26,5 | 18,6 | | | | | | | |
| HRE2 | f | 17 | 44 | 63 | 49 | 31 | 3,16 | -0,060 | -0,827 | 1,174 | Orta düzey | 71,32 | 45 |
| | % | 8,3 | 21,6 | 30,9 | 24,0 | 15,2 | | | | | | | |
| HRE3 | f | 16 | 35 | 70 | 52 | 31 | 3,23 | -0,161 | -0,652 | 1,141 | Orta düzey | 72,24 | 41 |
| | % | 7,8 | 17,2 | 34,3 | 25,5 | 15,2 | | | | | | | |
| HRE4 | f | 11 | 26 | 66 | 62 | 39 | 3,45 | -0,343 | -0,481 | 1,102 | Yüksek | 74,51 | 26 |
| | % | 5,4 | 12,7 | 32,4 | 30,4 | 19,1 | | | | | | | |
| HRE5 | f | 9 | 19 | 59 | 64 | 53 | 3,65 | -0,518 | -0,336 | 1,097 | Yüksek | 76,58 | 14 |
| | % | 4,4 | 9,3 | 28,9 | 31,4 | 26,0 | | | | | | | |
| HRE6 | f | 13 | 30 | 51 | 61 | 49 | 3,50 | -0,420 | -0,716 | 1,189 | Yüksek | 75,39 | 22 |
| | % | 6,4 | 14,7 | 25,0 | 29,9 | 24,0 | | | | | | | |
| HRE7 | f | 13 | 43 | 69 | 52 | 27 | 3,18 | -0,056 | -0,681 | 1,106 | Orta düzey | 69,49 | 52 |
| | % | 6,4 | 21,1 | 33,8 | 25,5 | 13,2 | | | | | | | |
| HRE8 | f | 27 | 44 | 58 | 41 | 34 | 3,05 | 0,000 | -0,999 | 1,272 | Orta düzey | 68,68 | 56 |
| | % | 13,2 | 21,6 | 28,4 | 20,1 | 16,7 | | | | | | | |
| HRE9 | f | 5 | 24 | 47 | 69 | 59 | 3,75 | -0,546 | -0,491 | 1,074 | Yüksek | 80,26 | 4 |
| | % | 2,5 | 11,8 | 23,0 | 33,8 | 28,9 | | | | | | | |
| SDB1 | f | 22 | 42 | 54 | 41 | 45 | 3,22 | -0,103 | -1,078 | 1,296 | Orta düzey | 66,62 | 57 |
| | % | 10,8 | 20,6 | 26,5 | 20,1 | 22,1 | | | | | | | |
| SDB2 | f | 32 | 59 | 46 | 36 | 31 | 2,88 | 0,216 | -1,067 | 1,302 | Orta düzey | 69,46 | 53 |
| | % | 15,7 | 28,9 | 22,5 | 17,6 | 15,2 | | | | | | | |
| SDB3 | f | 16 | 41 | 59 | 51 | 37 | 3,25 | -0,138 | -0,882 | 1,197 | Orta düzey | 72,02 | 44 |
| | % | 7,8 | 20,1 | 28,9 | 25,0 | 18,1 | | | | | | | |
| SDB4 | f | 16 | 43 | 75 | 42 | 28 | 3,11 | 0,025 | -0,646 | 1,128 | Orta düzey | 69,27 | 54 |
| | % | 7,8 | 21,1 | 36,8 | 20,6 | 13,7 | | | | | | | |
| SDB5 | f | 16 | 50 | 74 | 40 | 24 | 3,03 | 0,116 | -0,616 | 1,109 | Orta düzey | 64,65 | 58 |
| | % | 7,8 | 24,5 | 36,3 | 19,6 | 11,8 | | | | | | | |
| SMC1 | f | 10 | 31 | 57 | 50 | 56 | 3,54 | -0,331 | -0,841 | 1,184 | Yüksek | 76,70 | 13 |
| | % | 4,9 | 15,2 | 27,9 | 24,5 | 27,5 | | | | | | | |
| SMC2 | f | 14 | 38 | 54 | 55 | 43 | 3,37 | -0,243 | -0,888 | 1,202 | Orta | 72,91 | 34 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|------|------|------|------|------|------|--------|--------|-------|--|---------------|-------|----|
| | % | 6,9 | 18,6 | 26,5 | 27,0 | 21,1 | | | | | | | | |
| SMC3 | f | 27 | 46 | 57 | 35 | 39 | 3,06 | 0,043 | -1,061 | 1,302 | | Orta düzey | 70,17 | 50 |
| | % | 13,2 | 22,5 | 27,9 | 17,2 | 19,1 | | | | | | | | |
| SMC4 | f | 14 | 25 | 59 | 52 | 54 | 3,52 | -0,411 | -0,688 | 1,201 | | Yüksek | 75,15 | 24 |
| | % | 6,9 | 12,3 | 28,9 | 25,5 | 26,5 | | | | | | | | |
| SMC5 | f | 20 | 43 | 71 | 42 | 28 | 3,07 | 0,006 | -0,728 | 1,166 | | Orta düzey | 70,92 | 47 |
| | % | 9,8 | 21,1 | 34,8 | 20,6 | 13,7 | | | | | | | | |
| SMC6 | f | 18 | 36 | 57 | 49 | 44 | 3,32 | -0,219 | -0,918 | 1,240 | | Orta düzey | 74,24 | 27 |
| | % | 8,8 | 17,6 | 27,9 | 24,0 | 21,6 | | | | | | | | |
| TT1 | f | 15 | 40 | 69 | 49 | 31 | 3,20 | -0,081 | -0,718 | 1,142 | | Orta düzey | 72,17 | 42 |
| | % | 7,4 | 19,6 | 33,8 | 24,0 | 15,2 | | | | | | | | |
| TT2 | f | 13 | 37 | 67 | 50 | 37 | 3,30 | -0,136 | -0,755 | 1,151 | | Orta düzey | 73,82 | 31 |
| | % | 6,4 | 18,1 | 32,8 | 24,5 | 18,1 | | | | | | | | |
| TT3 | f | 14 | 46 | 66 | 48 | 30 | 3,17 | -0,010 | -0,783 | 1,141 | | Orta düzey | 69,59 | 51 |
| | % | 6,9 | 22,5 | 32,4 | 23,5 | 14,7 | | | | | | | | |
| TT4 | f | 11 | 21 | 53 | 60 | 59 | 3,66 | -0,564 | -0,460 | 1,157 | | Yüksek | 75,99 | 18 |
| | % | 5,4 | 10,3 | 26,0 | 29,4 | 28,9 | | | | | | | | |
| TT5 | f | 25 | 50 | 71 | 39 | 19 | 2,89 | 0,102 | -0,657 | 1,137 | | Orta düzey | 68,93 | 55 |
| | % | 12,3 | 24,5 | 34,8 | 19,1 | 9,3 | | | | | | | | |
| TT6 | f | 11 | 27 | 74 | 51 | 41 | 3,41 | -0,219 | -0,569 | 1,113 | | Yüksek | 78,04 | 10 |
| | % | 5,4 | 13,2 | 36,3 | 25,0 | 20,1 | | | | | | | | |
| TT7 | f | 17 | 37 | 57 | 52 | 41 | 3,31 | -0,215 | -0,885 | 1,219 | | Orta düzey | 72,48 | 38 |
| | % | 8,3 | 18,1 | 27,9 | 25,5 | 20,1 | | | | | | | | |
| TT8 | f | 17 | 41 | 59 | 46 | 41 | 3,26 | -0,120 | -0,943 | 1,226 | | Orta düzey | 73,09 | 32 |
| | % | 8,3 | 20,1 | 28,9 | 22,5 | 20,1 | | | | | | | | |
| TT9 | f | 15 | 51 | 56 | 46 | 36 | 3,18 | 0,005 | -0,984 | 1,204 | | Orta düzey | 70,70 | 48 |
| | % | 7,4 | 25,0 | 27,5 | 22,5 | 17,6 | | | | | | | | |
| TT10 | f | 23 | 41 | 48 | 58 | 34 | 3,19 | -0,201 | -0,994 | 1,255 | | Orta düzey | 73,96 | 29 |
| | % | 11,3 | 20,1 | 23,5 | 28,4 | 16,7 | | | | | | | | |
| RG1 | f | 24 | 44 | 54 | 43 | 39 | 3,14 | -0,057 | -1,053 | 1,284 | | Orta düzey | 70,50 | 49 |
| | % | 11,8 | 21,6 | 26,5 | 21,1 | 19,1 | | | | | | | | |
| RG2 | f | 20 | 42 | 52 | 47 | 43 | 3,25 | -0,146 | -1,039 | 1,272 | | Orta düzey | 73,84 | 30 |
| | % | 9,8 | 20,6 | 25,5 | 23,0 | 21,1 | | | | | | | | |
| RG3 | f | 17 | 38 | 56 | 59 | 34 | 3,27 | -0,233 | -0,819 | 1,187 | | Orta düzey | 72,58 | 37 |
| | % | 8,3 | 18,6 | 27,5 | 28,9 | 16,7 | | | | | | | | |
| RG4 | f | 13 | 31 | 56 | 53 | 51 | 3,48 | -0,341 | -0,804 | 1,201 | | Yüksek | 72,29 | 39 |
| | % | 6,4 | 15,2 | 27,5 | 26,0 | 25,0 | | | | | | | | |
| RG5 | f | 25 | 63 | 48 | 38 | 30 | 2,93 | 0,215 | -1,010 | 1,255 | | Orta düzey | 73,01 | 33 |
| | % | 12,3 | 30,9 | 23,5 | 18,6 | 14,7 | | | | | | | | |
| RG6 | f | 33 | 53 | 51 | 38 | 29 | 2,89 | 0,156 | -1,035 | 1,287 | | Orta düzey | 72,75 | 35 |
| | % | 16,2 | 26,0 | 25,0 | 18,6 | 14,2 | | | | | | | | |
| RG7 | f | 15 | 38 | 56 | 48 | 47 | 3,36 | -0,208 | -0,950 | 1,230 | | Orta düzey | 78,05 | 9 |
| | % | 7,4 | 18,6 | 27,5 | 23,5 | 23,0 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|-----|------|------|------|------|------|--------|--------|-------|---------------|-------|----|
| RG8 | f | 17 | 41 | 67 | 46 | 33 | 3,18 | -0,064 | -0,792 | 1,175 | Orta düzey | 71,26 | 46 |
| | % | 8,3 | 20,1 | 32,8 | 22,5 | 16,2 | | | | | | | |

Tablo 5'te yer alan veriler incelendiğinde Türk inşaat sektöründe İnşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonunu engelleyen 58 kriterden 27 kriterin yüksek, 31 kriterin orta düzeyde etki ettiği belirlenmiştir.

3.4 İnşaat 4.0 Teknolojilerinin Entegrasyonunu Engelleyen Kriterlerin Göreceli Önem Sıralaması

Türk inşaat sektöründe İnşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonunu engelleyen 58 kriter 204 katılımcının beş dereceli Likert ölçeği ile vermiş oldukları yanıtlara göre göreceli önem sıralaması yapılmıştır (Tablo 5). Kriterin GÖİ değeri ne kadar yüksekse, teknoloji entegrasyonuna etki düzeyi de o kadar önemli kabul edilmektedir. İnşaat 4.0 teknolojilerinin entegrasyonuna engel olan kriterlerin GÖİ değerleri incelendiğinde,

1. “Bütçe kısıtlamaları (EC4)” kriterinin 58 kriter içerisindeki en önemli kriter olduğu belirlenmiştir.
2. “Finansal teşviklerin eksikliği (EC5)” kriterinin önem sıralamasında ikinci sırada olduğu görülmektedir.
3. “İnşaat 4.0 için üst yönetimden destek eksikliği (SL1)” kriterinin üçüncü sırada olduğu görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmanın bulguları, İnşaat 4.0 teknolojilerinin Türk inşaat sektöründe henüz yaygın bir uygulama alanı bulmadığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Katılımcıların büyük çoğunluğunun sektörün dijital dönüşüm düzeyini düşük olarak değerlendirmesi, teknolojik dönüşümün teorik düzeyde kabul görmesine rağmen pratikte sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, sektörde dijitalleşmenin yalnızca teknolojik bir mesele olmadığını; aynı zamanda örgütsel, finansal ve kültürel boyutları olan çok katmanlı bir dönüşüm süreci olduğunu doğrulamaktadır. Araştırma kapsamında değerlendirilen engellerin önemli bir bölümünün yüksek etki düzeyine sahip olması, İnşaat 4.0'ın benimsenmesini sınırlandıran faktörlerin tekil değil, birbirini besleyen yapılar şeklinde ortaya çıktığını göstermektedir. Özellikle bütçe kısıtları ve finansal teşvik eksikliği gibi ekonomik temelli engellerin en üst sıralarda yer alması, dijital dönüşüm süreçlerinin başlangıç aşamasında önemli yatırım gerektirdiğini ve bu durumun karar vericiler üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, üst yönetim desteğinin yetersizliği de dönüşüm süreçlerinde kurumsal yönetimin kritik bir unsur olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, teknolojik adaptasyonun yalnızca teknik altyapı ile değil, stratejik liderlik ve kurumsal vizyon ile de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. İnsan kaynakları ve yetkinlik temelli engellerin üst sıralarda yer alması ise dijital dönüşümün teknik olduğu kadar sosyal bir süreç olduğunu hatırlatmaktadır. Nitelikli iş gücü eksikliği, değişime yönelik direnç ve dijital becerilerin sınırlı olması gibi faktörler, teknolojik yatırımların etkin kullanımını zorlaştıran temel unsurlar arasında öne çıkmaktadır. Bu durum, eğitim ve kapasite geliştirme mekanizmalarının dijital dönüşüm stratejilerinin ayrılmaz bir parçası olması gerektiğine işaret etmektedir. Teknolojik altyapı, standardizasyon eksikliği ve veri uyumluluğu gibi konuların da belirli ölçüde etkili olduğu görülmekle birlikte, bunların tek başına belirleyici olmadığı anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, düzenleyici ve yapısal faktörlerin orta düzeyde etki göstermesi, dönüşümün yalnızca dışsal koşullarla açıklanamayacağını; sektör içi dinamiklerin daha baskın rol oynadığını düşündürmektedir. İnşaat sektörünün proje bazlı ve geçici organizasyon yapısı da bu dönüşümün uygulanabilirliğini karmaşık hale getiren önemli bir yapısal özellik olarak değerlendirilebilir. Elde edilen sonuçlar, İnşaat 4.0'ın sektörel ölçekte benimsenebilmesi için öncelikle ekonomik ve yönetsel engellerin ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda finansal destek mekanizmalarının geliştirilmesi, üst yönetim düzeyinde farkındalığın artırılması ve dijital yetkinliklerin güçlendirilmesine yönelik stratejilerin oluşturulması kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, sektör paydaşları arasında iş birliğini artıracak ve bilgi paylaşımını teşvik edecek yapılar, dönüşüm sürecini hızlandırabilecek önemli araçlar olarak değerlendirilebilir. Sonuç olarak, İnşaat 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi, yalnızca teknolojik yatırımların artırılmasına değil; aynı zamanda kurumsal kapasitenin geliştirilmesine, insan kaynağının güçlendirilmesine ve uygun politika ortamının oluşturulmasına bağlıdır. Bu çalışma, dijital dönüşüm sürecinde hangi alanlara öncelik verilmesi gerektiğine ilişkin bütüncül bir çerçeve sunmakta ve gelecekte geliştirilecek stratejik yaklaşımlar için yol gösterici nitelikte çıkarımlar ortaya koymaktadır. **Acknowledgements**

Bu araştırma, kamusal, ticari veya kâr amacı gütmeyen sektörlerdeki fonlama ajanslarından herhangi spesifik bir hibe almamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olduğunu beyan etmemektedir.

Kaynakça

- Abdeldayem, M. M., & Aldulaimi, S. H. (2024). Sustainable Leadership and Sustainability: Insights from the GCC. In *Technical and Vocational Education and Training* (Vol. 38, pp. 401–411). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6909-8_35
- Afraz, M. F., Bhatti, S. H., Ferraris, A., & Couturier, J. (2021). The impact of supply chain innovation on competitive advantage in the construction industry: Evidence from a moderated multi-mediation model. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120370. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2020.120370>
- Agrawal, P., Narain, R., & Ullah, I. (2020). Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach. *Journal of Modelling in Management*, 15(1), 297–317. <https://doi.org/10.1108/JM2-03-2019-0066>

- Akbari, M. (2023). Data-driven review of additive manufacturing on supply chains: Regionalization, key research themes and future directions. *Computers & Industrial Engineering*, 184, 109600. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109600>
- AlBalkhy, W., Karmaoui, D., Ducoulombier, L., Lafhaj, Z., & Linner, T. (2024). Digital twins in the built environment: Definition, applications, and challenges. *Automation in Construction*, 162, 105368. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2024.105368>
- Aldulaimi, S. H., Yousif, M., Keir, A., & Abdeldayem, M. M. (2022). Implementing Green Human Resources Management to Promote Sustainability Development: Application from Telecommunication Companies in Kingdom of Bahrain. *Journal of Statistics Applications and Probability*, 11(1), 321–330. <https://doi.org/10.18576/jsap/110125>
- AlHinai, Y. S. (2020). Disaster management digitally transformed: Exploring the impact and key determinants from the UK national disaster management experience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101851. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2020.101851>
- Alrawadieh, Z., Alrawadieh, Z., & Cetin, G. (2021). Digital transformation and revenue management: Evidence from the hotel industry. *Tourism Economics*, 27(2), 328–345. <https://doi.org/10.1177/1354816620901928>
- Alsahli, A. (2011). *A FRAMEWORK FOR SUCCESSFUL IMPLEMENTATION OF IT FOR THE CONSTRUCTION ORGANAZATIONS IN SAUDI ARABIA*.
- Alsehami, A. O., & Sanni-Anibire, M. O. (2024). Industry 4.0 technologies: an examination of benefits, challenges and critical success factors for implementation in the Saudi construction industry. *Construction Innovation*. <https://doi.org/10.1108/CI-01-2024-0001>
- Alwashah, Z., Sweis, G. J., Abu Hajar, H., Abu-Khader, W., & Sweis, R. J. (2024). Challenges to adopt digital construction technologies in the Jordanian construction industry. *Construction Innovation*. <https://doi.org/10.1108/CI-03-2023-0056>
- Anand, S., Enayati, M., Raj, D., Montresor, A., & Ramesh, M. V. (2024). Internet over the ocean: A smart IoT-enabled digital ecosystem for empowering coastal fisher communities. *Technology in Society*, 79, 102686. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2024.102686>
- Askerbekov, D., Garza-Reyes, J. A., Roy Ghatak, R., Joshi, R., Kandasamy, J., & Luiz de Mattos Nascimento, D. (2024). Embracing drones and the Internet of drones systems in manufacturing – An exploration of obstacles. *Technology in Society*, 78, 102648. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2024.102648>
- Attiany, M. S., Al-Kharabsheh, S. A., Al-Makhariz, L. S., Abed-Qader, M. A., Al-Hawary, S. I. S., Mohammad, A. A., & Rahamneh, A. A. A. L. (2023). Barriers to adopt industry 4.0 in supply chains using interpretive structural modeling. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(1), 299–306. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.9.013>
- Axelsson, J., Fröberg, J., & Eriksson, J. (2018). Towards a system-of-systems for improved road construction efficiency using lean and Industry 4.0. *13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, 576–582.
- Aygün, D., & Ecevit Satı, Z. (2022). Evaluation of Industry 4.0 Transformation Barriers for SMEs in Turkey. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1), 239–255. <https://doi.org/10.17153/oguibf.991213>
- Bajpai, A., & Misra, S. C. (2022). Barriers to implementing digitalization in the Indian construction industry. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 39(10), 2438–2464. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2020-0318>
- Balkhy, W. Al, Sweis, R., & Lafhaj, Z. (2021). Barriers to adopting lean construction in the construction industry—the case of Jordan. *Buildings*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/buildings11060222>
- Balogun, A. L., Marks, D., Sharma, R., Shekhar, H., Balmes, C., Maheng, D., Arshad, A., & Salehi, P. (2020). Assessing the Potentials of Digitalization as a Tool for Climate Change Adaptation and Sustainable Development in Urban Centres. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101888. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2019.101888>
- Barbero, I., Rezgui, Y., & Petri, I. (2023). A European-wide exploratory study to analyse the relationship between training and energy efficiency in the construction sector. *Environment Systems and Decisions*, 43(3), 337–357. <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09891-x>
- Begić, H., & Galić, M. (2021). A systematic review of construction 4.0 in the context of the BIM 4.0 premise. In *Buildings* (Vol. 11, Number 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS11080337>
- Bhatt J.G., & Jani, O. K. (2019). Smart Development of Ahmedabad-Gandhinagar Twin City Metropolitan Region, Gujarat, India. In *Smart Metropolitan Regional Development*. Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-10-8588-8_5
- Bolarinwa, O. (2015). Principles and methods of validity and reliability testing of questionnaires used in social and health science researches. *Nigerian Postgraduate Medical Journal*, 22(4), 195. <https://doi.org/10.4103/1117-1936.173959>
- Carlander, J., & Thollander, P. (2023). Barriers to implementation of energy-efficient technologies in building construction projects — Results from a Swedish case study. *Resources, Environment and Sustainability*, 11, 100097. <https://doi.org/10.1016/J.RESENV.2022.100097>
- Chan, D. W. M., Olawumi, T. O., & Ho, A. M. L. (2019). Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong. *Journal of Building Engineering*, 25, 100764. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100764>
- Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, S. (2021). Barriers to industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124809. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124809>

- Chen, C. L., Lin, Y. C., Chen, W. H., Chao, C. F., & Pandia, H. (2021). Role of government to enhance digital transformation in small service business. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su13031028>
- Chen, Y., & Kamara, J. M. (n.d.). *USING MOBILE COMPUTING FOR CONSTRUCTION SITE INFORMATION MANAGEMENT*.
- Costa, F., Freccassetti, S., Rossini, M., & Portioli-Staudacher, A. (2023). Industry 4.0 digital technologies enhancing sustainability: Applications and barriers from the agricultural industry in an emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 408, 137208. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137208>
- Cronbach, L. J. (1951). COEFFICIENT ALPHA AND THE INTERNAL STRUCTURE OF TESTS*. In *PSYCHOMETRIKA* (Vol. 16, Number 3).
- Davis, P., Aziz, F., Newaz, M. T., Sher, W., & Simon, L. (2021). The classification of construction waste material using a deep convolutional neural network. *Automation in Construction*, 122, 103481. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103481>
- Demirkesen, S., & Tezel, A. (2022). Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(3), 1470–1503. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2020-1059>
- Dhamak, P., Aital, P., & Daftardar, A. (2025a). A comprehensive overview of Construction 4.0 technologies and their implementation in the construction industry. In *Journal of Science and Technology Policy Management*. Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-09-2023-0162>
- Dhamak, P., Aital, P., & Daftardar, A. (2025b). Strategic management of barriers in the adoption of Construction 4.0: TOPSIS and 5W2H approach for sustainable development goal integration. *International Journal of Organizational Analysis*. <https://doi.org/10.1108/IJOA-12-2024-5114>
- Diener, F., & Špaček, M. (2021). Digital transformation in banking: A managerial perspective on barriers to change. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su13042032>
- Doloi, H. (2014). Rationalizing the Implementation of Web-Based Project Management Systems in Construction Projects Using PLS-SEM. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(7). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000859](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000859)
- Dossick, C. S., & Sakagami, M. (2008). Implementing Web-Based Project Management Systems in the United States and Japan. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(3), 189–196. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2008\)134:3\(189\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2008)134:3(189))
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Grover, P., Abbas, R., Andreini, D., Abumoghli, I., Barlette, Y., Bunker, D., Chandra Kruse, L., Constantiou, I., Davison, R. M., De, R., Dubey, R., Fenby-Taylor, H., Gupta, B., He, W., Kodama, M., ... Wade, M. (2022). Climate change and COP26: Are digital technologies and information management part of the problem or the solution? An editorial reflection and call to action. *International Journal of Information Management*, 63, 102456. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2021.102456>
- El Jazzar, M., Schranz, C., Urban, H., & Nassereddine, H. (2021). Integrating Construction 4.0 Technologies: A Four-Layer Implementation Plan. In *Frontiers in Built Environment* (Vol. 7). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.671408>
- El-Gohary, K. M., & Aziz, R. F. (2014). Factors Influencing Construction Labor Productivity in Egypt. *Journal of Management in Engineering*, 30(1). [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.000016](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.000016)
- Engås, K. G., Raja, J. Z., & Neufang, I. F. (2023). Decoding technological frames: An exploratory study of access to and meaningful engagement with digital technologies in agriculture. *Technological Forecasting and Social Change*, 190, 122405. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2023.122405>
- Faccia, A., Pandey, V., & Banga, C. (2022). Is Permissioned Blockchain the Key to Support the External Audit Shift to Entirely Open Innovation Paradigm? *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(2), 85. <https://doi.org/10.3390/JOITMC8020085>
- Fisch, C., & Block, J. (2018). Six tips for your (systematic) literature review in business and management research. In *Management Review Quarterly* (Vol. 68, Number 2, pp. 103–106). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s11301-018-0142-x>
- Fitriani H., & Ajayi, S. (2023). Barriers to sustainable practices in the Indonesian construction industry. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2028–2050. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09640568.2022.2057281>
- Freddi, F., Galasso, C., Cremen, G., Dall'Asta, A., Di Sarno, L., Giaralis, A., Gutiérrez-Urzúa, F., Málaga-Chuquitaype, C., Mitoulis, S. A., Petrone, C., Sextos, A., Sousa, L., Tarbali, K., Tubaldi, E., Wardman, J., & Woo, G. (2021). Innovations in earthquake risk reduction for resilience: Recent advances and challenges. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, 102267. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2021.102267>
- Frederiksen, M. H., Wolf, P., & Klotz, U. (2024). Citizen visions of drone uses and impacts in 2057: Far-future insights for policy decision-makers. *Technological Forecasting and Social Change*, 204, 123438. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2024.123438>
- George, Darren., & Mallery, Paul. (2016). *IBM SPSS statistics 23 step by step : a simple guide and reference*. Routledge.
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Vilkas, M., Grybauskas, A., & Amran, A. (2022). Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap. In *Journal of Manufacturing Technology Management* (Vol. 33, Number 6, pp. 1029–1058). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2021-0505>

- Goel, P., Kumar, R., Banga, H. K., Kaur, S., Kumar, R., Pimenov, D. Y., & Giasin, K. (2022). Deployment of Interpretive Structural Modeling in Barriers to Industry 4.0: A Case of Small and Medium Enterprises. *Journal of Risk and Financial Management*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/jrfm15040171>
- Gökdaş, İ. (1996). *Bilgisayar Eğitimi Öğrenme Teknolojisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi.
- Gooroochurn, M. (2022). Circular homes – An energy-water-materials nexus for community climate engagement and action at grassroots level in the built environment. *Results in Engineering*, 15, 100548. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2022.100548>
- Grybauskas, A., Stefanini, A., & Ghobakhloo, M. (2022). Social sustainability in the age of digitalization: A systematic literature Review on the social implications of industry 4.0. *Technology in Society*, 70, 101997. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2022.101997>
- Hameed Aldulaimi, S., & Mohamed Abdeldayem, M. (2019). How Changes In Leadership Behaviour And Management Influence Sustainable Higher Education In Bahrain. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 8(11). www.ijstr.org
- Hauashdh, A., Nagapan, S., Jailani, J., & Gamil, Y. (2024). An integrated framework for sustainable and efficient building maintenance operations aligning with climate change, SDGs, and emerging technology. *Results in Engineering*, 21, 101822. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2024.101822>
- Hwang, B.-G., Ngo, J., & Teo, J. Z. K. (2022). Challenges and Strategies for the Adoption of Smart Technologies in the Construction Industry: The Case of Singapore. *Journal of Management in Engineering*, 38(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000986](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000986)
- Jahanger, Q. K., Louis, J., Pestana, C., & Trejo, D. (2021). Potential positive impacts of digitalization of construction-phase information management for project owners. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 1–22. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.001>
- Jaiswal, S. V., Hunt, D. V. L., & Davies, R. J. (2024). Construction 4.0: A Systematic Review of Its Application in Developing Countries. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 14, Number 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app14146197>
- Jane Fox, S. (2022). Drones: Foreseeing a “risky” business? Policing the challenge that flies above. *Technology in Society*, 71, 102089. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2022.102089>
- Jones, M. D., Hutcheson, S., & Camba, J. D. (2021). Past, present, and future barriers to digital transformation in manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 936–948. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.03.006>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.004>
- Kent, J. S., Jensen, W., & Philipsen, K. (2019). *Drivers and Barriers for Industry 4.0 Readiness and Practice: A SME Perspective with Empirical Evidence*. <https://hdl.handle.net/10125/59952>
- Khahro, S. H., Hassan, S., & Javed, Y. (2021). Digital Transformation and E-Commerce in Construction Industry: A Prospective Assessment. *Academy of Strategic Management Journal*. <https://www.abacademies.org/articles/digital-transformation-and-ecommerce-in-construction-industry-a-prospective-assessment-10241.html>
- Khan, S. A., Al Rashid, A., & Koç, M. (2023). Adaptive response for climate change challenges for small and vulnerable coastal area (SVCA) countries: Qatar perspective. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, 103969. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2023.103969>
- Krishna, V. V. (2024). AI and contemporary challenges: The good, bad and the scary. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(1), 100178. <https://doi.org/10.1016/J.JOITMC.2023.100178>
- Kumar Singh, A., Kumar, V. R. P., Dehdasht, G., Mohandes, S. R., Manu, P., & Pour Rahimian, F. (2023). Investigating the barriers to the adoption of blockchain technology in sustainable construction projects. *Journal of Cleaner Production*, 403, 136840. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136840>
- Kumar Singh, R., Mishra, R., Gupta, S., & Mukherjee, A. A. (2023). Blockchain applications for secured and resilient supply chains: A systematic literature review and future research agenda. *Computers & Industrial Engineering*, 175, 108854. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108854>
- Kumar, A., Moktadir, A., Liman, Z. R., Gunasekaran, A., Hegemann, K., & Rehman Khan, S. A. (2020). Evaluating sustainable drivers for social responsibility in the context of ready-made garments supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119231. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119231>
- Kutnjak, A. (2021). Covid-19 Accelerates Digital Transformation in Industries: Challenges, Issues, Barriers and Problems in Transformation. *IEEE Access*, 9, 79373–79388. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3084801>
- Lam, P. T. I., Hk, B. E., Wong, F. W. H., & Tse, K. T. C. (2009). Effectiveness of ICT for Construction Information Exchange among Multidisciplinary Project Teams. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000038](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000038)
- Ling, Y. M., binti Abdul Hamid, N. A., & Chuan, L. Te. (2020). Is Malaysia ready for Industry 4.0? Issues and Challenges in Manufacturing Industry. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(7), 134–150. <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.07.016>
- Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168–179. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2018.04.018>
- Maskuriy, R., Selamat, A., Ali, K. N., Maresova, P., & Krejcar, O. (2019). Industry 4.0 for the construction industry- How ready is the industry? *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(14). <https://doi.org/10.3390/app9142819>

- Mathew, A. O., Jha, A. N., Lingappa, A. K., & Sinha, P. (2021). Attitude towards Drone Food Delivery Services—Role of Innovativeness, Perceived Risk, and Green Image. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2), 144. <https://doi.org/10.3390/JOITMC7020144>
- McNamara, A. J., & Sepasgozar, S. M. E. (2021). Intelligent contract adoption in the construction industry: Concept development. *Automation in Construction*, 122, 103452. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103452>
- Menegon Lopes, J., & Silva Filho, L. C. P. da. (2024). Adoption of Fourth Industrial Revolution Technologies in the Construction Sector: Evidence from a Questionnaire Survey. *Buildings*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/buildings14072132>
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2015). *The Journal Coverage of Web of Science and Scopus: a Comparative Analysis*. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Musarat, M. A., Alaloul, W. S., Khan, A. M., Ayub, S., & Jousseume, N. (2024). A survey-based approach of framework development for improving the application of internet of things in the construction industry of Malaysia. *Results in Engineering*, 21, 101823. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2024.101823>
- Nagy, O., Papp, I., & Szabó, R. Z. (2021). Construction 4.0 Organisational Level Challenges and Solutions. *Sustainability*, 13(21), 12321. <https://doi.org/10.3390/su132112321>
- Narkhede, G. B., Pasi, B. N., Rajhans, N., & Kulkarni, A. (2025). Industry 5.0 and sustainable manufacturing: a systematic literature review. *Benchmarking*, 32(2), 608–635. <https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2023-0196>
- Narkhede, G., Pasi, B., Rajhans, N., & Kulkarni, A. (2023). Industry 5.0 and the future of sustainable manufacturing: A systematic literature review. In *Business Strategy and Development* (Vol. 6, Number 4, pp. 704–723). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/bsd2.272>
- Newman, C., Edwards, D., Martek, I., Lai, J., Thwala, W. D., & Rillie, I. (2021). Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study. *Smart and Sustainable Built Environment*, 10(4), 557–580. <https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2020-0016>
- Nitithamyong, P., & Skibniewski, M. J. (2006). Success/Failure Factors and Performance Measures of Web-Based Construction Project Management Systems: Professionals' Viewpoint. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(1), 80–87. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:1\(80\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:1(80))
- Nnaji, C., & Karakhan, A. A. (2020). Technologies for safety and health management in construction: Current use, implementation benefits and limitations, and adoption barriers. *Journal of Building Engineering*, 29, 101212. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101212>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. In *Computers in Industry* (Vol. 83, pp. 121–139). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Olanipekun, A. O., & Sutrisna, M. (2021). Facilitating Digital Transformation in Construction—A Systematic Review of the Current State of the Art. In *Frontiers in Built Environment* (Vol. 7). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.660758>
- Olatunde, N. A., Gento, A. M., Okorie, V. N., Oyewo, O. W., Mewomo, M. C., & Awodele, I. A. (2023). Construction 4.0 technologies in a developing economy: awareness, adoption readiness and challenges. *Frontiers in Engineering and Built Environment*, 3(2), 108–121. <https://doi.org/10.1108/FEBE-08-2022-0037>
- Osunsanmi, T. O., Aigbavboa, C. O., Emmanuel Oke, A., & Liphadzi, M. (2020). Appraisal of stakeholders' willingness to adopt construction 4.0 technologies for construction projects. *Built Environment Project and Asset Management*, 10(4), 547–565. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-12-2018-0159>
- Ozkan-Ozen, Y. D., Kazancoglu, Y., & Kumar Mangla, S. (2020). SYNCHRONIZED BARRIERS FOR CIRCULAR SUPPLY CHAINS IN INDUSTRY 3.5/INDUSTRY 4.0 TRANSITION FOR SUSTAINABLE RESOURCE MANAGEMENT. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104986. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.104986>
- Pasi, B. N., & Chavan, M. R. (n.d.). *IMPLEMENTATION OF COURSE LEVEL PROJECT-BASED LEARNING TO ENHANCE PRODUCT DEVELOPMENT SKILLS: A CASE STUDY*.
- Pasi, B. N., Dongare, P. V., Rawat, S. J., Oza, A. D., Padheriya, H., Gupta, M., Kumar, S., & Kumar, M. (2024). Design and modeling to identify a defective workpiece in manufacturing process: an industry 4.0 perspective. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 18(8), 6123–6139. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01544-w>
- Pasi, B. N., Mahajan, S. K., & Rane, S. B. (2020a). Smart Supply Chain Management: A Perspective of Industry 4.0. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(5), 3016–3030.
- Pasi, B. N., Mahajan, S. K., & Rane, S. B. (2020b). Smart Supply Chain Management: A Perspective of Industry 4.0. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(5), 3016–3030.
- Peansupap, V., Walker, D. H. T., & Walker, D. (2005). *Peansupap and Walker* (Vol. 10). <http://www.itcon.org/2005/14/EDITOR:B.-C.Björk>
- Perrier, N., Bled, A., Bourgault, M., Cousin, N., Danjou, C., Pellerin, R., & Roland, T. (2024). CONSTRUCTION 4.0: A COMPARATIVE ANALYSIS OF RESEARCH AND PRACTICE. *Journal of Information Technology in Construction*, 24, 16–39. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.002>
- Pessot, E., Zangiacomi, A., Battistella, C., Rocchi, V., Sala, A., & Sacco, M. (2021). What matters in implementing the factory of the future: Insights from a survey in European manufacturing regions. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 795–819. <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2019-0169>
- Prabaharan, R., & Shanmugapriya, S. (2023). Identification of Critical Barriers in Implementing Lean Construction Practices in Indian Construction Industry. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 47(2), 1233–1249. <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00959-x>

- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2019.107546>
- Raj, P. V. R. P., Jauhar, S. K., Ramkumar, M., & Pratap, S. (2022). Procurement, traceability and advance cash credit payment transactions in supply chain using blockchain smart contracts. *Computers & Industrial Engineering*, 167, 108038. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108038>
- Ren, X., Vashisht, S., Aujla, G. S., & Zhang, P. (2022). Drone-Edge Coalescence for Energy-Aware and Sustainable Service Delivery for Smart City Applications. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103505. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103505>
- Rezgui, Y., & Zarli, A. (2006). Paving the Way to the Vision of Digital Construction: A Strategic Roadmap. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), 767–776. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:7\(767\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:7(767))
- Safura Zabidin, N., Belayutham, S., & Khairil Izam Che Ibrahim, C. (2021). Awareness and Barriers of Industry 4.0 and Education 4.0 between Construction Players and Academicians in Malaysia. *JOURNAL OF TECHNOLOGY MANAGEMENT AND BUSINESS*, 8(2), 26–37. <https://doi.org/10.30880/jtmb.2021.08.02.003>
- Sánchez, O., Castañeda, K., Vidal-Méndez, S., Carrasco-Beltrán, D., & Lozano-Ramírez, N. E. (2024). Exploring the influence of linear infrastructure projects 4.0 technologies to promote sustainable development in smart cities. *Results in Engineering*, 23, 102824. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2024.102824>
- Sarhan, J., Xia, B., Fawzia, S., Karim, A., & Olanipekun, A. (2018). Barriers to implementing lean construction practices in the Kingdom of Saudi Arabia (KSA) construction industry. *Construction Innovation*, 18(2), 246–272. <https://doi.org/10.1108/CI-04-2017-0033>
- Scipioni, S., Dini, G., & Niccolini, F. (2023). Exploring circular shipbuilding: A systematic review on circular economy business models and supporting technologies. *Journal of Cleaner Production*, 422, 138470. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138470>
- Shafei, H., Radzi, A. R., Algahtany, M., & Rahman, R. A. (2022). Construction 4.0 Technologies and Decision-Making: A Systematic Review and Gap Analysis. In *Buildings* (Vol. 12, Number 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/buildings12122206>
- Shahi, C., & Sinha, M. (2021). Digital transformation: challenges faced by organizations and their potential solutions. *International Journal of Innovation Science*, 13(1), 17–33. <https://doi.org/10.1108/IJIS-09-2020-0157>
- Shcherbakov, V., & Silkina, G. (2021). Supply Chain Management Open Innovation: Virtual Integration in the Network Logistics System. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 54. <https://doi.org/10.3390/JOITMC7010054>
- Singh, G., Rajesh, R., Daultani, Y., & Misra, S. C. (2023). Resilience and sustainability enhancements in food supply chains using Digital Twin technology: A grey causal modelling (GCM) approach. *Computers & Industrial Engineering*, 179, 109172. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109172>
- Singhal, S., Choudhary, S., & Biswal, P. C. (2019). Return and volatility linkages among International crude oil price, gold price, exchange rate and stock markets: Evidence from Mexico. *Resources Policy*, 60, 255–261. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2019.01.004>
- Siriwardhana, S., & Moehler, R. C. (2023). Enabling productivity goals through construction 4.0 skills: Theories, debates, definitions. *Journal of Cleaner Production*, 425, 139011. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.139011>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sony, M., & Naik, S. S. (2019). Ten Lessons for Managers while Implementing Industry 4.0. *IEEE Engineering Management Review*, 47(2), 45–52. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2913930>
- Suferi, N. S. M., & Rahman, M. M. (2021). Adopting Industry 4.0 in Construction Industry. *International Journal of Integrated Engineering*, 13(5), 27–33. <https://doi.org/10.30880/ijie.2021.13.07.004>
- Sumrit, D. (2021). What are the obstacles hindering digital transformation for small and medium enterprise freight logistics service providers? An interpretive structural modeling approach. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(3), 719–730. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2021.4.006>
- Sweis, R. (2015). An Investigation of Failure in Information Systems Projects: The Case of Jordan. *Journal of Management Research*, 7(1), 173. <https://doi.org/10.5296/jmr.v7i1.7002>
- Szabo, R. Z., Herceg, I. V., Hanák, R., Hortoványi, L., Romanová, A., Mocan, M., & Djuričin, D. (2020). Industry 4.0 implementation in b2b companies: Cross-country empirical evidence on digital transformation in the cee region. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12229538>
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. In *International journal of medical education* (Vol. 2, pp. 53–55). <https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd>
- Tekin, H. (1996). *Eğitimde ölçme ve değerlendirme*. Yargı Kitap ve Yayınevi.
- Thakur, V. (2021). Framework for PESTEL dimensions of sustainable healthcare waste management: Learnings from COVID-19 outbreak. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125562. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125562>
- Thomas, R. J., O'Hare, G., & Coyle, D. (2023). Understanding technology acceptance in smart agriculture: A systematic review of empirical research in crop production. *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122374. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2023.122374>
- Tijan, E., Jović, M., Aksentijević, S., & Pucihar, A. (2021). Digital transformation in the maritime transport sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120879. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2021.120879>

- Topal, H. F., Hunt, D. V. L., & Rogers, C. D. F. (2021). Sustainability understanding and behaviors across urban areas: A case study on Istanbul city. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13147711>
- Torraco, R. J. (2016). Writing Integrative Reviews of the Literature. *International Journal of Adult Vocational Education and Technology*, 7(3), 62–70. <https://doi.org/10.4018/ijavet.2016070106>
- Trotta D., & Garengo P. (2018). *Industry 4.0 Key Research Topics: A Bibliometric Review*. IEEE.
- Tseng, M. L., Ha, H. M., Tran, T. P. T., Bui, T. D., Chen, C. C., & Lin, C. W. (2022). Building a data-driven circular supply chain hierarchical structure: Resource recovery implementation drives circular business strategy. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2082–2106. <https://doi.org/10.1002/bse.3009>
- Turk, Ž. (2020). Interoperability in construction – Mission impossible? *Developments in the Built Environment*, 4, 100018. <https://doi.org/10.1016/J.DIBE.2020.100018>
- Turner, C. J., Oyekan, J., Stergioulas, L., & Griffin, D. (2021). Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(2), 746–756. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3002197>
- Varbanov, P. S., Jia, X., & Lim, J. S. (2021). Process assessment, integration and optimisation: The path towards cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124602. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124602>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/J.JSIS.2019.01.003>
- Vicente, P. N., Lucas, M., Carlos, V., & Bem-Haja, P. (2020). Higher education in a material world: Constraints to digital innovation in Portuguese universities and polytechnic institutes. *Education and Information Technologies*, 25(6), 5815–5833. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10258-5>
- Vogelsang, K., Liere-Netheler, K., Packmohr, S., & Hoppe, U. (2018). Success factors for fostering a digital transformation in manufacturing companies. *Journal of Enterprise Transformation*, 8(1–2), 121–142. <https://doi.org/10.1080/19488289.2019.1578839>
- Vogelsang, K., Liere-Netheler, K., Packmohr, S., & Hoppe, U. (2019). *Barriers to Digital Transformation in Manufacturing: Development of a Research Agenda*. <https://hdl.handle.net/10125/59931>
- Wang, K., Guo, F., Zhang, C., & Schaefer, D. (2024). From Industry 4.0 to Construction 4.0: barriers to the digital transformation of engineering and construction sectors. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 31(1), 136–158. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2022-0383>
- Whysall, Z., Owtram, M., & Brittain, S. (2019). The new talent management challenges of Industry 4.0. *Journal of Management Development*, 38(2), 118–129. <https://doi.org/10.1108/JMD-06-2018-0181>
- Wong, F. W. H., & Lam, P. T. I. (2011). Difficulties and Hindrances Facing End Users of Electronic Information Exchange Systems in Design and Construction. *Journal of Management in Engineering*, 27(1), 28–39. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000028](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000028)
- Yap, J. B. H., Lam, C. G. Y., Skitmore, M., & Talebian, N. (2022). BARRIERS TO THE ADOPTION OF NEW SAFETY TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION: A DEVELOPING COUNTRY CONTEXT. *Journal of Civil Engineering and Management*, 28(2), 120–133. <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.16014>
- You, Z., & Feng, L. (2020). Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. *IEEE Access*, 8, 122908–122922. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206>
- Zabidin, N. S., Belayutham, S., & Ibrahim, C. K. I. C. (2020). A bibliometric and scientometric mapping of Industry 4.0 in construction. *Journal of Information Technology in Construction*, 25, 287–307. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.017>
- Zhao, Z. Y., & Chen, Y. L. (2018). Critical factors affecting the development of renewable energy power generation: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 184, 466–480. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.254>