

İnşaat Sektöründe Yalın İnşaatın ve Yapı Bilgi Modellemesinin Birlikte Kullanılmasının Atıklara Etkisi

İbrahim KARATAŞ^{1*}, Abdulkadir BUDAK²

^{1,2} Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

¹ <https://orcid.org/0000-0003-0845-4536>

² <https://orcid.org/0000-0002-6747-9103>

*Sorumlu yazar: ibrahimkaratas@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.10.2022

Kabul tarihi: 13.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Yalın inşaat

YBM sistemi

İnşaat yönetimi

Atık türleri

Yalın-YBM entegrasyonu

ÖZ

İnşaat sektöründe her yapının kendine has özellikleri nedeniyle farklı üretim kaynakları kullanılmaktadır. Bu nedenle inşaat sektöründe çok fazla atık oluşmaktadır. Günümüzde atık türlerinin önlenmesi için Yalın İnşaat ve Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemi gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı Yalın İnşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun atık türlerine etkisinin irdelenmesidir. Literatüre göre belirlenen atık türleri esas alınarak anket oluşturulmuş ve Yalın ve YBM konusunda bilgi sahibi ve/veya deneyimli kişilere uygulanmıştır. Elde edilen veriler Göreceli Önem İndeksi (RII) analizi kullanılarak bu sistemlerin atık türlerine etkisi belirlenmiştir. Buna göre Yalın İnşaat ve YBM sistemi kullanılması durumunda şantiyelerde, tüm atık türlerinin RII değeri 0,80'den daha büyük bulunmuştur. Ancak en çok azalan atık türleri sırasıyla *fazla stoklamadan kaynaklı, gereksiz taşıma/aktarma ve hatalı/kusurlu üretim atıklarıdır*. Bu çalışmanın inşaat yönetimine, Yalın İnşaat ve YBM sistemi ile ilgili konularda çalışan özel sektör ve akademik camiaya atık değerlendirilmesi ve azaltılması hususunda bir temel oluşturacağı öngörülmektedir.

The Effect of Using Lean Construction and BIM System Together on Waste in the Construction Industry

Research Article

Article History:

Received: 04.10.2022

Accepted: 13.01.2023

Published online: 04.12.2023

Keywords:

Lean construction

BIM system

Construction management

Waste type

Lean-BIM integration

ABSTRACT

Different production resources are used in the construction industry due to the unique characteristics of each construction. For this reason, several wastes occur in the construction industry. Today, approaches such as Lean construction and BIM system are used to prevent waste types. The aim of this study is to examine the effects of using Lean construction and BIM system together on waste types. Based on the waste types determined according to the literature, a survey was created and applied to participants with knowledge and/or experience in Lean and BIM. Using the obtained data, the effect of these systems on waste types was determined through RII analysis. Accordingly, in case of using Lean construction and BIM system, the RII value of all waste types was found to be greater than 0.80 at the construction sites. However, the most decreasing waste types are the unnecessary transportation/transfer by overstocking caused and defect/faulty production wastes, respectively. It is foreseen that this study will provide a basis for the evaluation and reduction of waste for the private sector and academic community working on issues related to construction management, Lean construction and BIM system.

To Cite: Karataş İ., Budak A. İnşaat Sektöründe Yalın İnşaatın ve Yapı Bilgi Modellemesinin Birlikte Kullanılmasının Atıklara Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2023-2033.

1. Giriş

İnşaat endüstrisi, ülke ekonomilerini ve kalkınmalarını destekleyen en önemli sektörlerden birisidir. Bu yüzden bir ülkenin büyümesi için inşaat sektörünün gelişmesi ve diğer sektörlerle güçlü bir bağlantısı olması gerekmektedir (Dixit, 2018). Bununla birlikte inşaat sektöründe son on yılda dünya çapında yaklaşık %5'lik bir artış gözlenmektedir (Igwe ve ark., 2020). Bu artış ülke ekonomilerine katkı sağlasa da aynı zamanda inşaat proje yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan fiziksel olmayan atıklar olarak bilinen katma değeri olmayan faaliyetlerin de artış göstereceği açıktır. İnşaat projelerinin artışı ile bu katma değeri olmayan faaliyetlerin azaltılması durumunun inşaat verimliliğini artırma, inşaat sürelerini kısaltma ve inşaat maliyetlerini azaltma konusunda temel bir husus olabileceği düşünülmektedir (Koskela, 2000). Katma değeri olmayan faaliyetler terimi, kaynakları tüketen ancak nihai ürüne hiçbir değer katmayan bir faaliyet olarak tanımlanmaktadır (Buzby ve ark., 2002). Yalın metodolojisi ile kullanımı daha da artan bu terim ile atıkların sadece malzeme kaynaklı değil aynı zamanda gereksiz işler, maliyet ve zaman aşırımları ve kalite kusurlarından da kaynaklı olabileceği anlamına gelmektedir (Bajjou ve Chafi, 2022). Christian ve Hachey (1995) yaptıkları çalışmada inşaat şirketlerinin çalışma sürelerinin %54'ünü katma değerli olmayan faaliyetler için harcadıklarını belirlemişlerdir. Ayrıca Khanh ve Kim (2014) ise yaptıkları çalışmada şantiyelerdeki çalışma sürelerinin %64'ünün katma değerli olmayan faaliyetler tarafından kullanıldığı sonucuna varmışlardır. 1970 ile 2000 yılları arasında küresel olarak yapılan bir araştırmaya göre ise katma değeri olmayan faaliyetlerin, tüm inşaat faaliyetlerinin %49,6'sını oluşturduğunu göstermektedir (Horman ve Kenley, 2005). İnşaat projelerinde katma değeri olmayan faaliyetlerin oldukça yüksek olması projelerin verimliliğini, maliyetini, süresini ve kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Üretim alanında atığın ortadan kaldırılması ve değer üretilmesi amacıyla Yalın metodolojisi ortaya çıkmıştır (Holweg, 2007). İnşaat sektöründe ise 1992 yılında Yalın inşaat ismiyle inşaat endüstrisinde Yalın üretim felsefeleri kullanılmaya başlanmıştır (Koskela, 1992). Yalın inşaat ile inşaat projelerindeki atıkların azaltılarak inşaat verimliliğinin artırılması ve bunun sonucunda maliyetlerin ve sürelerinin kısaltılarak kalitenin artırılması amaçlanmaktadır. Bu felsefe, yönetim ve proje çıktıları açısından önemli gelişmelere yol açmıştır. Bu durum da yalın inşaat felsefesinin inşaat endüstrisinde kullanılmasına şiddetle ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Tzortzopoulos ve ark., 2020). Yapılan çalışmalara bakıldığında ise Yalın inşaat konusunda son yıllarda yapılan yayın sayısında artış görülmektedir (Li ve ark., 2019). Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde yalın inşaatın 4 ana hedefi üzerine odaklanıldığı görülmektedir (Erol ve ark., 2016; Tezel ve ark., 2018; Innella ve ark., 2019; Xing ve ark., 2021). (1) Proje yaşam döngüsü boyunca atıkları belirlemek ve bu atıkları azaltmak veya ortadan kaldırmak, (2) İnşaat süresince akışı iyileştirmek ve değişkenlikleri azaltmak, (3) Müşteri açısından nihai ürüne değer katmak, (4) Mükemmellik ve sürekli iyileştirme için çabalamak.

Yalın inşaattaki ilk hedef olan atıkların belirlenmesi hususunda, Toyota Üretim Sisteminde yedi atık türü belirlenmiştir (Ohno, 1988). Bu atık türlerinin şantiyelerde de meydana geldiği ve inşaat sektöründe de aynı şekilde tanımlanması gerektiği belirlenmiştir (Koskela, 2000). Yalın inşaat kapsamında belirlenen 7 atık türü (1) fazla üretim, (2) bekleme (boşa zaman geçirme), (3) gereksiz taşıma ya da aktarma, (4) fazla işlem ya da yanlış işlem yapma, (5) fazla stoklama, (6) gereksiz hareket ve (7) hatalı ya da kusurlu üretimdir. İnşaat sektöründe verimliliği artırmak için en önemli yollardan biri, belirlenen bu atık türlerinin azaltılmasıdır. Yalın inşaat felsefesi için

kullanılan son planlayıcı sistem, çekme sistemi, tam zamanında üretim, görsel yönetim, değer akış haritalama, A3 problem çözme metodu, kanban ve 5S metodu gibi birçok yalın araç ve tekniklerinin amacı ise bu atık türlerini azaltmaktır (Hossain ve ark., 2019).

İnşaat endüstrisinde Yalın inşaat aracılığıyla belirlenen bu atıkların azaltılabilmesi ve proje verimliliklerinin artırılması için yeni teknolojiler de ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemidir. YBM kavramı ilk olarak 1970 yılında Charles M. Eastman tarafından ortaya atılmıştır (Eastman ve ark., 2008). İnşaat sektöründeki verimsizliği azaltmak için ortaya çıkan bu sistem 2000'li yıllardan itibaren ise inşaat endüstrisinde uygulanmaya başlanmıştır (Azhar ve ark., 2012). Eastman'a göre YBM tanımı proje yaşam döngüsü boyunca inşa edilecek yapının planlanma, inşaat, performans ve sonraki işletme bilgilerini dijital verilerle oluşturma ve yönetme süreci olarak tanımlamaktadır (Eastman ve ark., 2008). İngiltere tarafından oluşturulan YBM standardına göre ise YBM sistemi bir yapının fiziksel ve işlevsel özelliklerinin dijital bir temsili olarak tanımlanmaktadır. YBM sistemi sadece nesnelerin 3D modelleneceği bir yazılım değil aynı zamanda tasarım sonrasındaki inşaat yönetim aşamasını da kapsayan tüm proje yaşam döngüsünü içeren bir süreçtir (Bryde ve ark., 2013; Budak ve Karataş, 2022). YBM sisteminin inşaat sektöründe kullanılması 3D görselleştirme ile tasarımın yanlış yorumlanmasını önleme, üretimi otomatik hale getirme ve kapasiteyi artırma, verilerin kolay ve eksiksiz paylaşımını sağlama, çakışma kontrolü ile hataların tasarım aşamasında belirlenip düzeltilmesini sağlama ve 4D planlama ile adam-saat tasarrufu sağlamak, kalite ve verimlilik artırmak ve atığı azaltmak gibi birçok faydası vardır (Eastman ve ark., 2008; Azhar, 2011; Arayıcı ve Coates, 2012; Dave ve ark., 2013; Sun ve ark., 2017; Borrmann ve ark., 2018; Budak ve Karatas, 2019; Schimanski ve ark., 2020; Sepasgozar ve ark., 2021).

Yalın inşaat ve YBM sisteminin ayrı ayrı uygulandıklarında inşaat endüstrisinde verimliliği önemli derecede artırdıkları görülmektedir. Bundan dolayı da bu iki sistem farklı alanlarda geliştirilmesine rağmen inşaat projelerinde birlikte kullanılacakları düşünülmüştür (Khanzode ve ark., 2006). Örneğin Türkiye'de çok nadir kullanım alanı olmasına rağmen Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanıldığı büyük projelerde yapılan çalışmalar da bu durumu desteklemektedir (Akarcalı ve Ergen, 2020; Köseoğlu ve ark., 2018). Ayrıca YBM sisteminin bir projenin inşaat verimliliğini artırmak ve atığı azaltmada Yalın inşaat ilkelerine ulaşmak için bir araç olarak kullanılacağı düşünülmektedir (Zhang ve ark., 2018). Yani yalın inşaatın proje verimliliğini daha da artırabilmesi ve atığı daha da azaltabilmesi için YBM sistemini dikkate alması gerekmektedir (Sacks ve ark., 2010; Heigermoser ve ark., 2019). YBM sistemi ayrıca daha iyi görselleştirme ve iş akışı sağlayarak değer katmayan aktiviteleri otomatikleştirme açısından Yalın inşaatı desteklemektedir (Bayhan ve ark., 2022). Bu durumlar dikkate alındığında Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanıldığında proje yaşam döngüsü boyunca birçok sinerjinin ortaya çıkacağı düşünülmüştür. Bu konuda ilk çalışma Sacks ve ark. (2010) tarafından yapılmış ve bu iki sistem arasındaki sinerjileri belirlemek için YBM işlevlerinin ve Yalın ilkelerinin kombinasyonundan oluşan bir matris oluşturulmuştur (Sacks ve ark., 2010). Yapılan çalışmalara bakıldığında, elde edilen bu Yalın-YBM sinerjilerinin atık türlerine olan etkisi konusunda yapılan araştırma sayısı kısıtlıdır. Bu yüzden bu çalışmada Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanıldığında oluşacak sinerjilerin literatürde belirlenen atık türlerine etkisi ve bu atık türlerini ne derece azaltılacağına ortaya konulması amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında, inşaat sektöründe çalışan, Yalın inşaat ve YBM sistemi konusunda bilgi sahibi olan veya deneyimi olan katılımcılardan oluşan bir anket çalışması yapılmıştır. Yapılan anket çalışmasının ilk aşamasında öncelikle katılımcılardan hangi alanda çalıştıkları (akademisyen, özel sektör ve kamu sektörü), hangi ülkede çalıştıkları, hangi konuda veya konularda bilgi sahibi oldukları (Sadece Yalın inşaat, sadece YBM sistemi ve Yalın-YBM) ve bu konulardaki tecrübeleri (2 yıldan daha az, 2-5 yıl arası, 6-10 yıl arası, 11-15 yıl arası ve 16 yıldan daha fazla) sorulmuştur. Anketin ikinci aşamasında inşaat sektöründe Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanıldığında literatür kapsamında belirlenen bekleme (boşa zaman geçirme) (A1), gereksiz hareket (A2), gereksiz taşıma ya da aktarma (A3), fazla stoklama (A4), hatalı ya da kusurlu üretim (A5), fazla üretim (A6) ve fazla işlem ya da yanlış işlem yapma (A7) gibi atık türlerini azaltması konusunda katılımcılara 5’li Likert ölçeğinde sorular sorulmuştur.

Bu çalışmanın amacı Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunda meydana gelen sinerjilerin atık türleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan anket çalışmasından toplanan verileri analiz etmek için istatistiki yöntemler kullanılmıştır. Bu analizler, IBM SPSS version 25 ve Microsoft Excel programları kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle anket verilerinin güvenilirliğini ve iç tutarlılığını ölçmek için Cronbach’s α güvenilirlik katsayısı aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır (Cronbach, 1951). Bu katsayı 0 ile 1 arasında değer almaktadır ve 0,6 dan daha büyük olması güvenilirlik açısından kabul edilebilir bir değer olarak görülmektedir (Nunnally, 1978).

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{\sigma_x^2} \right) \quad (1)$$

burada n madde sayısı, σ_i^2 her bir madde varyansı ve σ_x^2 her bir maddenin değerinin toplanması ile edilen varyans şeklinde ifade edilebilir.

Sonra elde edilen verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için Shapiro-Wilk-W normallik testi kullanılmıştır (Shapiro ve Wilk, 1965; Yazıcı ve Yolacan, 2007). Bu testte H_0 hipotezi verinin normal dağıldığını varsaymaktadır. Eğer hesaplanan p değeri 0.05’ten daha küçük ise H_0 hipotezi reddedilir ve verilerin normal dağılmadığı düşünülür. Sonrasında ise bağımsız olarak örneklenen üç veya daha fazla grup arasındaki farklılıkları normal olarak dağılmayan bir sürekli değişken üzerinde değerlendiren parametrik olmayan istatistiksel bir test olan Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır (Kruskal ve Wallis, 1952). Kruskal-Wallis testi, grupların yanıtlarının medyanlarının eşit olup olmadığını bildirir (Da Silva ve ark., 2022), bunun için hipotez testleri kullanılır. H_0 hipotezi grupların medyanları aynı olduğunu ve H_1 hipotezi ise grupların medyanlarının farklı olduğunu gösterir. Analiz sonucunda hesaplanan p değeri 0.05’ten daha küçük ise gruplar arasında fark vardır denilebilir. Bu çalışmada ise Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun atık türlerine etkisinin katılımcının deneyimi, çalışma grubu ve Yalın ya da YBM konusundaki bilgisi açısından farklı olup olmadığı araştırılmıştır. Bu çalışmada Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılmasından meydana gelen atık türlerine etkisi ise birçok çalışmada kullanılan göreceli önem indeksi (RII) ile belirlenmiştir. RII, toplanan

verileri etki derecelerine göre sıralamak için kullanılır (Bajjou ve Chafi, 2020; Igwe ve ark., 2020; Aravindh ve ark., 2022). RII aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$RII = \frac{\sum w}{A * N} \quad (2)$$

burada w = katılımcıların her bir faktöre verdiği önem derecesi, A = en yüksek oran (bu çalışma için 5) ve N = toplam katılımcı sayısı, RII ise yanıtların sıklığına ve kullanılan Likert ölçeğine göre ağırlıklı toplamı ya da göreceli önem indeksini hesaplar.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma inşaat sektöründe Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun şantiyelerde gerçekleşen atık türlerine etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda Yalın inşaat ve YBM sistemi konusunda çalışan ve bilgi sahibi olan kişilerden anket aracılığıyla veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler yukarıda açıklanan metotlar kullanılarak analiz edilmiştir.

Türkiye’de bu konulardaki uygulamaların ve bilgi ve deneyim sahibi kişiler oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle farklı ülkelerden de katılımcılara da yer verilmiştir. Bu çalışmada e-mail ve LinkedIn aracılığıyla toplam 78 katılımcıdan veriler toplanmıştır. %95 güven aralığında ve $\pm\%12$ örneklem hatası ile $n>67$ (Cochran, 2007) olduğundan bu örneklem büyüklüğünün mevcut popülasyonu temsili açısından kullanımı uygundur. Katılımcıların yaklaşık %40’ı Türkiye’de çalışmaktadır. Bunun yanında %10’u UK, katılımcıların geri kalanı ise sırasıyla Peru, Hindistan, Almanya, Suudi Arabistan, Katar, Polonya, Paraguay, Filistin, Yeni Zelanda, Hollanda, Kazakistan, İtalya, Fransa, Finlandiya, Mısır, Kolombiya, Çin ve Şili gibi ülkelerde çalışan katılımcılardan oluşmaktadır. Katılımcıların çalışma alanları, bilgi sahibi oldukları konular ve deneyimlerine göre bilgileri Tablo 1’de verilmiştir. Buna göre ankete katılanların yaklaşık %65’i özel sektörde, %27’si akademisyen olarak ve %8’i ise kamu sektöründe çalışmaktadır. Ayrıca bu katılımcıların %50’den fazlası Yalın-YBM konusunda bilgi sahibidir. %30’u sadece YBM sistemi konusunda, %18’i ise sadece Yalın inşaat konusunda bilgi sahibi olduklarını belirtmişlerdir. Katılımcıların Yalın-YBM konusundaki deneyimlerine bakıldığında %50’den fazlası 6 yıldan daha fazla deneyimlidir. %33’ü 2 ile 5 yıl arası deneyimli ve %13’ü ise 2 yıldan daha az deneyimlidir.

Tablo 1. Katılımcıların demografik bilgileri

Kategori	Tanımlama	Frekans	Yüzde (%)
Çalışma Alanları	Akademisyen	21	26,92
	Özel Sektör	51	65,38
	Kamu Sektörü	6	7,69
Bilgi Sahibi oldukları konular	Sadece Yalın İnşaat	14	17,95
	Sadece YBM sistemi	23	29,49
	Yalın-YBM	41	52,56
Yalın veya YBM konusundaki Deneyimleri	2 yıldan daha az	10	12,82
	2-5 yıl arası	26	33,33
	6-10 yıl arası	20	25,64
	11-15 yıl arası	18	23,08
	16 yıldan daha fazla	4	5,13

Bu çalışma kapsamında uygulanan anketin güvenilirliğini ve iç tutarlılığını değerlendirmek için Cronbach’s α güvenilirlik testi uygulanmıştır. Analiz sonucuna göre α katsayısı 0.776 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuca

göre bu değer 0,6'dan daha büyük olduğu için anketin güvenilirliğinin uygun olduğu kabul edilmiştir. Güvenilirlik testlerinin ardından anket verilerinin normal dağılım gösterip göstermediğini anlamak için Shapiro-Wilk-W normallik testi kullanılmıştır. Atık türlerinden oluşan toplam 7 faktörün anlamlılık düzeyi yani p değeri 0.05'ten daha küçük çıkmıştır. Bu sonuç ile anket verilerinin normal olmayan bir dağılım gösterdiği ve bundan dolayı da analizlerin parametrik olmayan istatistiksel testlerin kullanılarak yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anketin ilk bölümünde katılımcılara Yalın inşaat ya da YBM konusundaki deneyimleri (2 yıldan daha az, 2-5 yıl arası, 6-10 yıl arası, 11-15 yıl arası ve 16 yıldan daha fazla), çalışma durumları (akademisyen, özel sektör, kamu sektörü) ve hangi konular hakkında bilgi sahibi oldukları (Sadece Yalın inşaat, Sadece YBM sistemi, Yalın-YBM) hakkında bu 3 kategoriye göre sorular sorulmuştur. Parametrik olmayan Kruskal Wallis testi ile Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun atık türlerine etkisinin bu 3 kategorideki gruplara göre değişip değişmediği araştırılmıştır. Test sonuçları, eğer p değeri 0,05'ten daha küçükse kategorilerin grupları arasında önemli bir görüş farklılığı olduğunu, eğer p değeri 0,05'ten daha büyükse kategorilerdeki gruplar arasında önemli bir görüş farklılığı olmadığını göstermektedir. Analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Buna göre çalışma durumları ve deneyim kategorilerindeki değerlerin tamamı 0,05'ten daha büyük olduğu için gruplar arası önemli bir görüş farklılığı olmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak bilgi sahibi olunan konulara bakıldığında A1 ve A2 atık türlerinde gruplar arası bir görüş farklılığı olduğu görülmektedir. A1 atık türü için farklılık gösteren gruplar sadece YBM sistemi ile ilgili bilgi sahibi olanlar ile Yalın-YBM konusunda bilgi sahibi olanlar arasındadır. A2 atık türü için ise farklılık gösteren gruplar Sadece YBM sistemi konusunda bilgi sahibi olanlar ile Sadece Yalın inşaat konusunda bilgi sahibi olanlardır. Yani Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanılması durumunda sadece A1 ve A2 atık türlerine etkisi için verilen cevaplar bilgi sahibi olunan konulara göre değişebilmektedir. Katılımcıların çalışma durumları ve deneyimleri bu sorulara verilen cevapları üzerinde bir görüş farklılığına neden olmamaktadır.

Tablo 2. Kruskal Wallis testi p değerleri

Atık Kodu	Kruskal Wallis test		
	Çalışma durumları	Bilgi sahibi olunan konular	Deneyim
A1	0,538	0,022	0,947
A2	0,389	0,049	0,889
A3	0,809	0,149	0,701
A4	0,327	0,809	0,421
A5	0,750	0,720	0,532
A6	0,944	0,077	0,804
A7	0,667	0,453	0,618

Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun atık türlerinden hangisini en fazla etkileyeceğini belirlemek için RII analizi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te belirtilmiştir. Buna göre Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunda bütün atık türlerinin RII değerleri 0,80'den daha büyük olarak görülmektedir. Yani Yalın-YBM tüm atık türlerini azaltma potansiyeline sahip olduğu açıktır. Ancak en çok etkilenen atık türü fazla stoklamadan kaynaklı (A4) atık türü olduğu belirlenmiştir. Sonrasında ise gereksiz taşıma ya da aktarma (A3) ve hatalı ya da kusurlu üretim (A5)'den kaynaklı atık türleri gelmektedir. Daha sonra ise sırasıyla fazla üretim (A6), bekleme (boşa zaman geçirme) (A1), gereksiz hareket (A2) ve fazla işlem ya da yanlış işlem yapma (A7) atıkları gelmektedir.

Tablo 3. Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması atık türleri üzerindeki etkisinin RII ve Rank değerleri

Atık Türleri	RII	Rank
A1	0,8462	5
A2	0,8256	6
A3	0,8564	2
A4	0,8667	1
A5	0,8564	3
A6	0,8513	4
A7	0,8000	7

Analiz sonuçları, Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması ile şantiyelerde meydana gelen atıkların azalacağı ve bunun sonucunda inşaat sürelerinin kısaldığı, maliyetlerin azalacağı, kalitenin ve verimliliğin artacağı bir inşaat sürecinin meydana geleceğini göstermektedir. Çünkü belirlenen atıkların meydana gelmesi genellikle verimlilik kaybına, proje gecikmelerine ve maliyet aşımına sebep olmaktadır (Igwe ve ark., 2020). *Bekleme (Boşa zaman geçirme) (A1) atığı*; Hindistan'da yapılan bir araştırmada zaman ve maliyeti en çok etkileyen atık türleri arasında yer almıştır (Aravindh ve ark., 2022). Kazakistan'da yapılan araştırmada da en sık karşılaşılan atık türü olarak belirlenmiştir (Hossain ve ark., 2019). Bu çalışmada da Yalın-YBM sinerjisinin bu atık türünü azalttığı belirlenmiştir. *Gereksiz hareket (A2), Fazla üretim (A6) ve Fazla işlem ya da yanlış işlem yapma (A7) atıkları*, inşaat projeleri üzerinde önemli derecede etkisi olduğu görülmektedir (Aravindh ve ark., 2022). Çalışma sonucuna göre Yalın-YBM sinerjileri bu atık türlerini azaltmakta ancak diğer atık türlerine göre daha az etkilediği belirlenmiştir. *Gereksiz taşıma ya da aktarma (A3), Fazla stoklamadan kaynaklı (A4) ve Hatalı ya da kusurlu üretim (A5) atıkları*, projelerin dönüşüm, akış ve değeri açısından en önemli türleri olarak belirlenmiştir (Igwe ve ark., 2020). Bu atıkların, Yalın ve YBM sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla en çok azaltılan atık türleri olmasından dolayı bir projenin dönüşümünü, akışını ve değerini artırmak için bu sistemlerin kullanılması önem arz etmektedir. Genellikle *bekleme atığı* ve *kusurlu üretim* geleneksel inşa süreçlerini en çok etkileyen atık türleri olarak belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada, Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanıldığında, *kusurlu üretim* ve *bekleme* atıklarından farklı olarak *fazla stoklamadan kaynaklı* ve *gereksiz taşıma* atıklarının daha çok azaltıldığı sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi ise Yalın inşaat ve YBM araçları ile şantiyelerdeki ulaşım konusunda yapılan simülasyonlu yerleşim planlaması olarak görülebilir. Bir diğer önemli husus ise Yalın ve YBM ile elde edilen planlamanın görselleştirme ile etkileşimi sonucu denetimin daha etkin yürütülmesi *kusurlu üretimi* ve şantiyedeki iletişim ve koordinasyonun daha da güçlendirilmesi ise *bekleme atığını* ciddi derecede azaltacağı açıktır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanıldığında genel anlamda literatürde belirlenen atık türlerini oldukça azaltacağı sonucuna varılabilir.

4. Sonuçlar

İnşaat projelerinin karmaşıklığından dolayı genellikle atıkların meydana geldiği ve bu atıklardan kaynaklı diğer sektörlere göre daha verimsiz bir süreç yaşanmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada bu atıkları azaltmak için Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılmasının atıkları azaltması açısından etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre tüm atık türlerinin, Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunda oldukça azalacağını göstermektedir. En çok azalması düşünülen atık türü ise *fazla stoklamadan kaynaklı* atık türü olarak belirlenmiştir. Yalın inşaatın en önemli amaçlarından biri olan şantiyelerde kullanılacak malzemelerin düzenli ve planlı olmasını sağlamak ve şantiye ortamını olabildiğince yalın hale getirmeyi hedeflemektedir. YBM sistemi de

Yalın inşaatı yardımcı araçlarla desteklemektedir. Diğer taraftan şantiye ortamının düzenli olması *gereksiz taşımaların* da azalmasına yardımcı olacaktır. Bu atık türünün de Yalın-YBM sistemlerinin kullanılması ile azalacağı sonucuna varılmıştır. Diğer atık türü olan tamamlanan işi onarmak veya yeniden yapmak için eylemler gerektiren *kusurlu üretimden kaynaklı* atık türü, YBM sisteminin 4D planlaması ile yapılan çakışma kontrolleri ve Yalın inşaat planlama araçları ile önceden tespit edilip yapılan hatalar daha gerçekleşmeden önenebilecektir.

Genel anlamda bu çalışma ile Yalın inşaat ve YBM sisteminin inşaat sektöründe gerçekleşen atıkları azalttığı ve hangi atık türünü ne kadar azaltılacağı belirlenerek bir sıralama yapılmıştır. Bu sistemlerin yanı sıra bu atıkları daha da azaltmak için farklı sistemlerin ve araçların kullanılabilmesi düşünülmektedir. İnşaat sektöründe atıkları azaltarak maliyetleri düşürmek, proje süresini kısaltmak, verimlilikleri ve kaliteyi artırmak için bu sistemlerin benimsenmesi önem arz etmektedir. Ancak Yalın-YBM sisteminin etkin ve verimli bir şekilde kullanmak için bu yaklaşımları benimsenmesi ve gerekli tüm kültürel ve organizasyonel değişikliklerin önemli bir şekilde düşünülmesi gerekmektedir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar literatürde inşaat yönetimi bilgi birikimini destekleyeceği düşünülmektedir. Ayrıca inşaat sektöründe özellikle inşaat uygulayıcıları ve profesyonellerin Yalın inşaat ve YBM sistemi benimsemeleri konusunda katkı sağlayacağı umulmaktadır. Bununla birlikte bu çalışma sonuçları ekonomik olarak, atıkların değerlendirilmesi ve azaltılmasına ilişkin bir temel oluşturacak, sürdürülebilir ve teknolojiye dayalı inşaat yönetimindeki mevcut bilgileri zenginleştirecektir.

Teşekkür

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine desteği için teşekkür ederiz. (Proje No: OKÜBAP-2022-PT2-008).

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Akarcılı GZ., Ergen E. A Case study on common grounds of building information modelling (BIM) and lean construction: Dudullu–Bostancı Metro Line. 6th International Project and Construction Management Conference (IPCMC2020), 12-14 November 2020, 546-554, Istanbul, Turkey.

Aravindh MD., Nakkeeran G., Krishnaraj L., Arivusudar N. Evaluation and optimization of lean waste in construction industry. Asian Journal of Civil Engineering 2022; 23(5): 741–752.

- Arayici Y., Coates P. A system engineering perspective to knowledge transfer: A case study approach of BIM adoption. In: Tang, X.X. (ed.) *Virtual reality human computer interaction*. IntechOpen 2012; 179–206.
- Azhar S. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering* 2011; 11(3): 241–252.
- Azhar S., Khalfan M., Maqsood T. Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics* 2012; 12(4): 15–28.
- Bajjou MS., Chafi A. Identifying and managing critical waste factors for lean construction projects. *Engineering Management Journal* 2020; 32(1): 2–13.
- Bajjou MS., Chafi A. Exploring the critical waste factors affecting construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management* 2022; 29(6): 2268–2299.
- Bayhan HG., Demirkesen S., Zhang C., Tezel A. A lean construction and BIM interaction model for the construction industry. *Production Planning and Control* 2022; 1–28.
- Borrmann A., König M., Koch C., Beetz J. *Building information modeling*. Springer International Publishing 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3>
- Bryde D., Broquetas M., Volm JM. The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management* 2013; 31(7): 971–980.
- Budak A., Karatas I. Danışmanın, tasarım öncesi, tasarım ve yapım öncesi aşamalarında BIM sistemindeki rolünün literatür kapsamında incelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 2(1): 89–96.
- Budak A., Karataş İ. Impact of the BIM system in construction management services in developing countries; Case of Turkey. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 28(6): 828-839.
- Buzby CM., Gerstenfeld A., Voss LE., Zeng AZ. Using lean principles to streamline the quotation process: a case study. *Industrial Management and Data Systems* 2002; 102(9): 513–520.
- Christian J., Hachey D. Effects of delay times on production rates in construction. *Journal of Construction Engineering and Management* 1995; 121(1): 20–26.
- Cronbach LJ. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* 1951; 16(3).
- Cochran WG. *Sampling Techniques*, John Wiley and Sons 2007.
- Da Silva EN., Brasil de Brito Mello LC., Pinto GO. Challenges for lean construction adoption in the Brazilian industry: a study in construction companies, universities, and class organizations. *Construction Innovation* 2022; Advance online publication. <https://doi.org/10.1108/CI-08-2021-0148>
- Dave B., Koskela L., Kiviniemi A., Tzortzopoulos P., Owen R. *Implementing lean in construction: Lean construction and BIM*. Queensland University of Technology 2013.
- Dixit S. Analysing enabling factors affecting the on-site productivity in Indian Construction industry. *Periodica Polytechnica Architecture* 2018; 49(2): 185–193.

- Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Wiley 2008.
- Erol H., Dikmen I., Birgonul T. Measuring the impact of lean construction practices on project duration and variability: A simulation-based study on residential buildings. *Journal of Civil Engineering and Management* 2016; 23(2): 241–251.
- Heigermoser D., García de Soto B., Abbott ELS., Chua DKH. BIM-based last planner system tool for improving construction project management. *Automation in Construction* 2019; 104: 246–254.
- Holweg M. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management* 2007; 25(2): 420–437.
- Horman MJ., Kenley R. Quantifying levels of wasted time in construction with meta-Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management* 2005; 131(1): 52–61.
- Hossain MA., Bissenova A., Kim JR. Investigation of wasteful activities using lean methodology: In perspective of Kazakhstan’s construction industry. *Buildings* 2019; 9(5): 113.
- Igwe C., Hammad A., Nasiri F. Influence of lean construction wastes on the transformation-flow-value process of construction. *International Journal of Construction Management* 2020; 1–7.
- Innella F., Arashpour M., Bai Y. Lean methodologies and techniques for modular construction: Chronological and critical review. *Journal of Construction Engineering and Management* 2019; 145(12): 4019076.
- Khanh HD., Kim SY. Identifying causes for waste factors in high-rise building projects: A survey in Vietnam. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2014; 18(4): 865–874.
- Khanzode A., Fischer M., Reed D., Ballard G. A guide to applying the principles of virtual design and construction (VDC) to the lean project delivery process. Stanford University. CIFE Center for Integrated Facility Engineering 2006.
- Koseoglu O., Sakin M., Arayici Y. Exploring the BIM and lean synergies in the Istanbul Grand Airport construction project. *Engineering, Construction and Architectural Management* 2018; 25(10): 1339–1354.
- Koskela L. Application of the new production philosophy to construction. Stanford: Stanford University 1992.
- Koskela L. An exploration towards a production theory and its application to construction. VTT-publications 2000; 408. Technical Research Centre of Finland.
- Kruskal WH., Wallis WA. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 1952; 47(260): 583–621.
- Li, L., Li, Z., Li, X., Wu G. A review of global lean construction during the past two decades: analysis and visualization. *Engineering, Construction and Architectural Management* 2019; 26(6): 1192–1216.
- Nunnally JC. *Psychometric theory* (2nd edition). New York: McGraw 1978.
- Ohno T. *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press 1988.

- Sacks R., Koskela L., Dave B. A., Owen R. Interaction of lean and building information modeling in construction. *Journal of Construction Engineering and Management* 2010; 136(9): 968–980.
- Schimanski CP., Marcher C., Monizza GP., Matt DT. The last planner® system and building information modeling in construction execution: From an integrative review to a conceptual model for integration. *Applied Sciences* 2020; 10(3): 821.
- Sepasgozar SME., Hui FKP., Shirowzhan S., Foroozanfar M., Yang L., Aye L. Lean practices using building information modeling (BIM) and digital twinning for sustainable construction. *Sustainability* 2021; 13(1): 161.
- Shapiro SS., Wilk MB. An analysis of variance test for normality (Complete samples). *Biometrika* 1965; 52(3/4): 591–611.
- Sun C., Jiang S., Skibniewski MJ., Man Q., Shen L. A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy* 2017; 23(5): 764–779.
- Tezel A., Koskela L., Aziz Z. Lean thinking in the highways construction sector: motivation, implementation and barriers. *Production Planning and Control* 2018; 29(3): 247–269.
- Tzortzopoulos P., Koskela L., Kagioglou M. *Lean construction: Core concepts and new frontiers*. Routledge 2020.
- Xing W., Hao JL., Qian L., Tam VW., Sikora KS. Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China. *Journal of Cleaner Production* 2021; 286: 124944.
- Yazici B., Yolacan S. A comparison of various tests of normality. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 2007; 77(2): 175–183.
- Zhang X., Azhar S., Nadeem A., Khalfan M. Using building information modelling to achieve lean principles by improving efficiency of work teams. *International Journal of Construction Management* 2018; 18(4): 293–300.