

Atıf İçin: Bettemir Ö H, Zafer E H, 2022. Yer Kaplaması ve Betonarme Kalıbı İmalatlarının Atık Değerlemesi ve İnşaatının Yönetimi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(4): 2276 - 2289.

To Cite: Bettemir Ö H, Zafer E H, 2022. Waste Assessment and Construction Management of Floor Covering and Formwork Constructions. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(4): 2276 - 2289.

Yer Kaplaması ve Betonarme Kalıbı İmalatlarının Atık Değerlemesi ve İnşaatının Yönetimi

Önder Halis BETTEMİR^{1*}, Enes Hakan ZAFER¹

ÖZET: Yer kaplaması ve betonarme kalıbı imalatı sürecinde kullanılan malzemenin boyutu ile kaplanan yüzey boyutunun uyumsuz olması, mekânın düzgün geometrik şekilde olmaması, kolon, kapı eşiği, tesisat bacası, şaft boşluğu gibi yapısal ve mimari elemanların kaplanacak yüzeyde düzensizlik oluşturması yer kaplaması işinde malzeme zayıtına yol açar. İnşaat süreci sıkışık zaman ve yoğun stres altında yürütüldüğü için malzeme zayıtını en aza indirecek yerleştirme örüntüsü ve malzeme kesim stratejisi üzerinde uğraşamaz. Bu durum rastlantısal olarak çok yüksek malzeme zayıtlarına ve işçilik gereksinimlerine yol açabilmektedir. Bu çalışmada betonarme kalıbı ve yer kaplama malzemesi imalatlarının mekânın geometrisi ve malzeme boyutları dikkate alınarak en az zayıtın hangi malzeme boyutu ve yerleştirme örüntüsü ile oluştuğunu hesaplayan bir yöntem geliştirilmiştir. Hipotetik bir inşaat projesi vaka çalışması olarak kullanılarak malzeme miktarı ve imalat için gereken kesme miktarı hesaplanmıştır. Geliştirilen yöntemle tanımlanan malzeme boyutları arasından en az malzeme zayıtı olacak şekilde karo ve kalıp boyutları ile yerleştirme örüntüsü tespit edilmiştir. Sistemin kullanılması ile zayıt ve işçilik miktarları azalacağı için yapım maliyetleri de düşecektir. Böylece yüklenicilerin daha verimli yapı tasarımı ile daha etkin bir maliyet kontrolü olan Kaizen Maliyetleme tekniğini uygulayabilmeleri mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kaizen maliyetleme, atık değerlendirme, maliyet analizi

Waste Assessment and Construction Management of Floor Covering and Formwork Constructions

ABSTRACT: Dissonance between the dimensions of the location and the dimensions of the used material, irregularities of the location, existence of the structural and architectural elements such as column, doorsill, installation shaft, and any distortions which causes irregularity may cause increase in the material waste during the floor covering or formwork activities. Construction process is executed under limited time and severe stress, therefore determination of the placement pattern and material cutting strategies providing the minimum material waste are ignored. This situation coincidentally may cause excessive material wastes and increase in the workmanship. In this study a methodology, providing the placement pattern and the most suitable material dimensions to obtain minimum material waste is developed. A hypothetical construction project is used as a case study problem and the required material and the cutting of material amounts are computed. The developed method minimizes the material waste by detecting the most appropriate placement pattern and the material dimensions among the tested ones. The utilization of the developed method can decrease the construction costs by reducing the amounts of material waste and the workmanship. Consequently the contractors will be able to utilize the effective cost control technique, Kaizen Costing method, by designing more efficient buildings.

Keywords: Kaizen costing, waste assessment, cost analysis

¹ Önder Halis BETTEMİR (Orcid ID: 0000-0002-5692-7708), Enes Hakan ZAFER (Orcid ID: 0000-0003-2664-021X), İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Önder Halis BETTEMİR, e-mail: onder.bettemir@inonu.edu.tr

Bu çalışma Enes Hakan Zafer'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

İnşaat süreci, hem yapım öncesindeki planlama ve organizasyon aşamalarında hem de yapım sırasında önemli miktarda insan emeği gerektirir. Buna ek olarak proje üzerindeki bütçe ve süre kısıtları personel üzerinde yoğun biçimde baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle tasarım hesaplamaları ve inşaat sürecinde ağırlıklı olarak şartname ve yönetmeliklerin sağlanması ve sözleşme hükümlerine uyulması üzerine yoğunlaşılır, diğer etkenler önemli ölçüde göz ardı edilir. İnşaat sektörünün belirtilen yaklaşımı sonucu inşaat süresince Kaizen Maliyetleme tekniğinin uygulanarak etkin maliyet denetiminin sağlanmasına inşaat sektörü oldukça uzak kalmıştır.

Kaizen Maliyetleme kalite, verimlilik ve çalışan yönetimi odaklı biçimde maliyetleri düşürme yöntemidir. Kaizen maliyetleme yönteminde küçük, fakat sürekli olarak iyileştirme yapılarak kalitenin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi hedeflenir. Küçük iyileştirmeler uzun vadede önemli kazanımlar sağlar (Miranda ve ark., 2020). Sürekli iyileşme ile kısalan tedarik ve kurulum süreleri, azalan hatalı üretim ve atıklar ile işçilerin verim artışı Kaizen Maliyetlemenin kazanımlarına örnek olarak gösterilebilir (Terzi, 2017). Kaizen Maliyetlemenin belirtilen faydalarına rağmen Japonya dışında inşaat sektörü tarafından fazla uygulanmadığı bilinmektedir. Gelişmekte olan ülkeler arasında Brezilya ve Şili'de birkaç inşaat firması kısmi olarak Kaizen Maliyetlemeyi uygulamıştır (Vivan ve ark., 2015; Jin ve Doolen, 2014).

Agyekum ve ark. (2013) şantiyelerde ortaya çıkan malzeme israfının temel nedenlerini tespit etmek için Ganalı 226 bina yüklenicisi ile anket düzenlemiştir. Anket sonuçlarına göre malzemenin depolanması ve elleçlemesi, işletme etkenleri, tasarım ve satın alma politikalarının önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca şantiyelerde tespit edilen çimento ve kerestenin özensiz depolama ve kullanımı sonucu ortaya çıkan israf örnekleri verilmiştir. Babatunde (2012) Nijerya'daki inşaatlar sırasında ortaya çıkan atıkların nedenlerini malzemenin kesilmesi, nakliyesi, hırsızlık ile saldırganlık ve hatalı imalat sonucu israf kalemleri altında incelemiştir. En çok malzeme kaybı hırsızlık ile saldırganlık sonucu olduğu, malzemenin keserek kullanımı sonucu oluşan kaybın ise ikinci sırada olduğu belirtilmiştir. Odusami ve ark. (2012) Nijeryada yürütülen inşaatlardaki malzeme israfını anket yolu ile araştırmış ve en çok malzeme israfının sırası ile duvar işleri, kaba sıva ve kalıp işlerinde görüldüğünü belirlemiştir. Gulghane ve Khandve (2015) inşaat sürecinde oluşan malzeme israfının nedenleri üzerine literatür taraması yapmış ve en çok israfın malzeme elleçlemesi sırasında gerçekleştiğini tespit etmiştir. Oladiran (2018) Nijerya'nın Lagos eyaletindeki müteahhitlere inşaat sırasında ortaya çıkan malzeme israfının nedenleri ile ilgili anket düzenlemiş ve anket sonucunda yetersiz denetim, tasarım hataları, bozuk malzeme, düşük işçilik kalitesi, hatalı malzeme teslimi ve tasarımdaki değişikliklerin malzeme israfına neden olan en önemli etkenler olduğu belirlenmiştir.

Gelişen yazılım teknolojisi ile birlikte Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ileri düzey özelliklere sahip olmuş ve inşaat sektörünün planlama ile ilgili iş yükünü önemli ölçüde hafifletmiştir. YBM sayesinde iş kalemlerinin metrajları daha hızlı ve güvenilir biçimde hazırlanıp maliyetler daha doğru hesaplanabilmektedir. Khosakitchalert ve ark. (2018) Dynamo yazılımını kullanarak YBM tabanlı duvar ve duvar üstü imalatların metrajını otomatik çıkaran bir yazılım geliştirmiştir. Kurulan model ile Dynamo yazılımının 1.3.3.4111 versiyonunun hazırlanan metrajlar arasında %-0.98 ile %1.09 aralığında hata bulunmaktadır. Khosakitchalert, ve ark. (2019a) Dynamo yazılımının 1.3.3.4111 versiyonu ile alçıpan duvar metrajını otomatik hesaplayan bir sistem geliştirmiştir. Detaylı olarak hesapladıkları metrajlar ile önerdikleri yöntemle çıkardıkları metrajların %-0.79 ile %0.47 arasında saptığını tespit etmiştir. Khosakitchalert ve ark. (2019b) bileşik elemanlar için YBM tabanlı metraj hesaplaması için bir model geliştirmiştir. Önerdikleri yöntem ile detaylı metrajlar karşılaştırıldığında

duvar katmanları için %-0.88 ila %0.57 arasında, döşeme için %-0.32 ile %2.35 arasında sapma tespit etmiştir.

Yang ve ark. (2019) YBM tabanlı taşıyıcı sistem metrajı çıkaran bir sistem geliştirmiştir. Liu ve ark. (2022) betonarme sistemlerin taşıyıcı elemanlarının birbirleri ile çakışan yüzeylerini tespit ederek yüksek doğrulukta metraj hesaplayan bir sistem önermiştir. Lee ve ark. (2014) yer döşemesi imalatının metraj hesaplamaları ve maliyet analizlerini mekânın kullanım biçimi, kaplama malzemesinin cinsi, kalınlığı imalat türü parametrelerinin tanıtılması ile gerçekleştiren bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Choi ve ark. (2015) OpenBIM yazılımını kullanarak Endüstri Temel Sınıfları biçimine uygun verileri analiz ederek bina için veri doğruluğunu sağlayarak metraj hesaplamıştır. Liu ve ark. (2016) inşaat iş kalemleri arasında ontolojik ilişkiler tanımlayarak metrajın daha yüksek doğrulukta olmasını sağlamıştır. Duvarın içinde lento, pencere, kapı gibi mimari elemanların tanımlanıp tespit edilmesini gerçekleştirerek minhaları hesaplamıştır. Kim ve ark. (2022) uygulanacak inşaat tekniğinin özellikle kompozit malzeme kullanılarak yapılan imalatlarda malzeme sarfiyatını %6'ya kadar değiştirebileceğini tespit etmiştir. Bu nedenle metraj hesaplanırken yapılan kabullenmelerin kullanılan kompozit yapı elemanının geometrisine ve uygulanan inşaat tekniğine göre hesaplanması gerektiğini ifade etmiştir. Bettemir (2018) şevli kazı işlerinin metrajının hesaplanması sırasında çakışmaları tespit eden bir yöntem ve hesaplama süreci önermiştir. Ergen ve Bettemir (2022) kalıp ve beton iş kalemlerinin metrajını teknik çizimlerden hesaplayan bir yazılım geliştirmiş ve 2 katlı bir yapının kalıp ve beton metraj sonuçlarını Türkiye'de yaygın olarak kullanılan 2 yazılımla karşılaştırmış ve geliştirdikleri yazılımın daha doğru metraj hesaplaması yaptığını belirlemiştir.

Olsen ve Taylor (2017) YBM kullanarak metraj çıkarımı ve sınırlayıcı faktörleri ele almıştır. YBM tabanlı metraj üzerine deneyimli 4 kişi ile anket yapmıştır. YBM ile yapılan metrajın hızlı olduğunu, fakat güncel olmayan ve yanlış veriye sahip modellerin düzeltilmesi gerekliliği ile yazılım karmaşıklığının dezavantaj olduğunu belirtmiştir. Azhar (2011; 2012) YBM'nin faydalarını belirlemek için sırası ile 4 ve 3 vaka üzerinde araştırma yapmıştır. Vaka çalışmalarında proje planlamada, inşaat öncesi ve inşaat aşamalarında YBM kullanarak maliyet ve zaman tasarrufu sağlandığını tespit edilmiştir. Kim ve Teizer (2014) iskele sistemlerin otomatik tasarlanması ve planlanması için Tekla Structure uygulamasının arayüzünü kullanarak YBM tabanlı bir sistem geliştirmiştir.

Literatür taraması YBM uygulamalarının ağırlıklı olarak görsellik ve metraj üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. YBM iş akışı ve proje teslim süreçlerinde de önemli rol oynamaktadır (Hardin, 2009). Fakat proje tabanlı iş yapan inşaat sektörü sözleşme şartlarının sağlanması odaklı çalıştığı için malzeme israfını en aza indirecek tasarım optimizasyonuna çok az eğilim gösterebilmektedir. Bu nedenle malzeme israfı çok fazladır ve bu konuya eğilen çalışmalar çok sınırlıdır. Berberler ve Nuriyev (2010) tek boyutlu kesim işlemlerindeki zayıyatı en aza indiren sezgisel bir algoritma önermiş ve bu algoritmayı çalıştıran bir yazılım geliştirmiştir (Berberler ve ark., 2011).

İç mekânlarda son bitiş yer kaplaması olarak kullanılan parke, seramik, terrazo, fayans ve karo türü malzemeler çeşitli ebatlarda imal edilebilmektedir. Malzeme boyutunun mekânın boyutları ile uyumsuz olması malzeme israfını ve işçilik gereksinimini arttırabilir. Ayrıca imalatın yapılacağı mekânda kolon, kapı eşiği, tesisat bacası gibi yapı geometrisini bozan elemanların bulunması önemli ölçüde malzeme zayıyatına neden olabilmektedir. Buna ek olarak malzeme palet biçiminde destelenerek tedarik edildiği için işin sonunda yüksek miktarda malzemenin artmasına neden olabilmektedir. Plywood kalıp tahtası kullanılması durumunda da seçilen kalıp tahtalarının boyutları ile taşıyıcı sistemin geometrisinin uymaması durumunda önemli ölçüde kalıp tahtası israf olabilmektedir. Belirtilen olumsuzlukların en aza indirilmesi için bu çalışmada yer döşemesi ve kalıp imalatlarının en az zayıyat ve işçilik gereksinimi ile yerleştirilmesini sağlayan yerleştirme örüntüsünü belirleyen YBM uyumlu bir hesaplama süreci geliştirilerek literatürdeki boşluğun giderilmesi ve inşaat maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir.

MATERYAL ve METOT

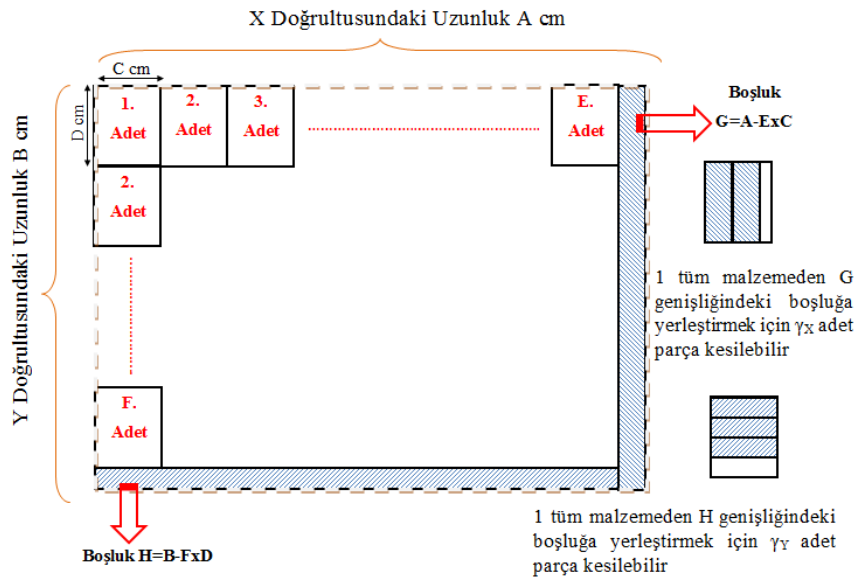
Düzgün geometriye sahip yüzeyler için karo eni ve boyunun aynı veya farklı boyutta olma durumları farklı ele alınmalıdır. Malzeme kare ise mekânın X yönü ve Y yönünde kaplamanın dizilmesi bir fark getirmemektedir. Fakat kaplama malzemesi dikdörtgen ise kaplamanın uzun veya kısa kenar yönünde dizilmesi farklı sonuçlar vermektedir. Malzemenin X doğrultusunda kısa kenarı ile dizilmesi veya uzun kenarı ile dizilmesi olmak üzere 2 farklı biçimde yerleştirilme alternatifi bulunmaktadır. Malzeme kare ise yerleştirme doğrultusunun son kısmının tam gelmemesi sonucu ortaya çıkan kesilmiş malzeme hem dizildiği doğrultuda hem de dizilme doğrultusuna dik doğrultuda kullanılabilir. Oluşan tüm kaplama diziliş örüntüleri için zayıf ve işçilik miktarları hesaplanarak en az malzeme israfını veren örüntünün belirlenmesi amaçlanmıştır.

Mekânın X ve Y yönündeki boyutları sırası ile A ve B olarak ifade edilmektedir. Kullanılan malzemenin bir adedinin boyutları ise sırası ile C ve D ile ifade edilmektedir. X doğrultusunda C ebadındaki karoların A boyutundaki odaya kesilmeden yerleştirilebilecek malzeme sayısı eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$E = \left\lfloor \frac{A}{C} \right\rfloor \quad (1)$$

Eşitlik 1'de $\lfloor \rfloor$ matematiksel sembolü aşağı yuvarla anlamındadır. Y doğrultusunda D ebadındaki karoların B boyutundaki odaya kesilmeden yerleştirilebilecek malzeme Eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$F = \left\lfloor \frac{B}{D} \right\rfloor \quad (2)$$



Şekil 1. Kesilmeden odaya yerleştirilebilen malzemenin ve oluşan boşluğun gösterimi

Kesilmeden yerleştirilen malzeme ve mekânın durumu Şekil 1'de gösterilmektedir. Mekânın boyutları malzemenin kenar uzunluğunun tamsayı katında olmayabilir. Bu durumda X ve Y yönlerinde sırası ile E ve F adet malzeme yüzeye yerleştirildiğinde sırası ile G ve H büyüklüğünde boşluk kalacaktır (Şekil 1). Eşitlik 3 ve 4'te G ve H'nin hesaplanması gösterilmektedir.

$$G = A - E * C \quad (3)$$

$$H = B - F * D \quad (4)$$

Mekânın tamamının kaplanabilmesi için kaplama malzemesinin X ve Y yönlerinde sırası ile G ve H boyutlarında kesilmesi gereklidir. Kaplama malzemesi kesildikten sonra yüzeye yerleştirilen ve

arta kalan olmak üzere iki parça ortaya çıkar. Arta kalan parça bir sonraki eksik parça için kullanılmaya yeterli ise bir sonraki eksik kısımda kullanılabilir fakat boyutunun boşluktan küçük olması durumunda zayi olur. Bir adet kesilmemiş malzemenin X doğrultusunda yerleştirilirken oluşan boşluğa kaç adet kesilerek yerleştirilebileceği eşitlik 5'te gösterilmektedir.

$$\gamma_X = \left\lfloor \frac{C}{G} \right\rfloor \quad (5)$$

Eşitlik 5'te γ_X , X doğrultusunda yerleştirilirken bir adet kesilen malzemenin aynı doğrultuda kaç adet eksik kalan kısmı kapatılacağını belirtmektedir. X doğrultusunda yerleştirmede oluşan G genişliğindeki boşluğu kapatmak için kaç adet malzemenin kullanılması gerektiği eşitlik 6 ile hesaplanmaktadır.

$$\gamma_B = \left\lfloor \frac{B}{D} \right\rfloor \quad (6)$$

Eşitlik 6'da $\lceil \cdot \rceil$ simgesi yukarı yuvarla fonksiyonunu, γ_B ise X doğrultusunda parke dizilirken oluşan boşluğu kapatmak için kaç adet malzemenin kesilip boşluğa yerleştirilmesi gerektiğini ifade etmektedir. G büyüklüğündeki boşluğun doldurulması için kaç adet malzemenin kesilmesi gerektiği Eşitlik 7 ile hesaplanmaktadır.

$$I = \left\lceil \frac{\gamma_B}{\gamma_X} \right\rceil \quad (7)$$

Eşitlik 7'de I, X doğrultusunda malzeme dizilirken oluşan boşluğun kaç adet tüm malzemenin kesilerek kapatılabileceğini belirtmektedir. Bu hesaplama sonucu X yönünde oluşan G genişliğindeki boşluk kapatılmış olacaktır. Y yönünde oluşan H genişliğindeki boşluğu kapatmak için 1 adet kesilmemiş malzemenin Y yönünde kaç adet boşluk kaplayabileceği eşitlik 8'de gösterilmektedir.

$$\gamma_Y = \left\lfloor \frac{D}{H} \right\rfloor \quad (8)$$

Eşitlik 8'de γ_Y 1 adet karonun kaç adet Y yönünde eksik kalan kısmı kapatabildiğini ifade etmektedir. Aynı doğrultudaki oda uzunluğu A ile ifade edildiği ve yer döşemesinin C boyutu bu doğrultuda yerleştirildiği için kaç adet kesilmiş malzemenin yerleştirileceği eşitlik 9 ile hesaplanır.

$$\gamma_A = \left\lfloor \frac{A-G}{C} \right\rfloor \quad (9)$$

Eşitlik 9'dan elde edilen değer Eşitlik 8'den elde edilen değere bölünerek Y yönünde eksik kalan kısmı doldurmak için kaç adet yer döşemesi kullanılması gerektiği Eşitlik 10'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$J = \left\lceil \frac{\gamma_A}{\gamma_Y} \right\rceil \quad (10)$$

Eşitlik 10'da J, Y doğrultusunda oluşan boşluğu doldurmak için gereken malzeme sayısını ifade etmektedir. I ve J değerleri sırası ile X ve Y yönleri için arta kalan malzemenin kesilerek dizildiği doğrultuda yerleştirilebilmesi için kaç adet tüm malzemenin kesilmesi gerektiğini belirtmektedir. Belirtilen yerleştirme düzeninde $E \cdot F + I + J$ adet malzeme kullanılır. Malzemenin yerleştirilmesi X yerine Y yönüne göre yapılırsa Eşitlik 6, Eşitlik 11'de gösterilen duruma gelir.

$$\gamma_B = \left\lfloor \frac{B-H}{D} \right\rfloor \quad (11)$$

Eşitlik 9 ise eşitlik 12'de belirtilen hali alır.

$$\gamma_A = \left\lfloor \frac{A}{C} \right\rfloor \quad (12)$$

Diğer eşitlikler olduğu gibi uygulandığında kullanılacak fayans adedi $E \cdot F + I + J$ ile tekrar hesaplanır. İncelenen 2 durumun yanı sıra oluşan boşluğu kaplamak için X yönünde kesilen malzemenin Y yönünde veya Y yönünde kesilen malzemenin X yönünde kullanılabilme durumu da incelenmelidir. X ve Y yönlerinde eksik kalan kısım için kesilip arta kalan boyutları eşitlik 13 ve 14'te

gösterilmektedir.

$$M = C - G \quad (13)$$

$$N = D - H \quad (14)$$

Eşitlik 13 ve 14'te elde edilen M ve N boyutları kesilerek arta kalan parçaların dik yönlü doğrultuda eksik kalan kısım için de kullanılabilirliğinin belirlenmesinde sorgulanacaktır. Belirtilen işlemler malzemenin kare veya dikdörtgen olma durumları için ayrı şekilde incelenecektir.

Kare malzeme için $C=D$ koşulu oluşacaktır. X yönünde malzemenin kesilip artan parçanın Y yönünde kullanılabilme koşulu $M \geq H$ 'dir. Koşul sağlanıyorsa X yönünde arta kalan M boyutlu parçaların 1 adedinden karşı yönde kaç adet boşluğa yerleştirilebileceğinin sayısı eşitlik 15'te ifade edildiği gibi hesaplanır.

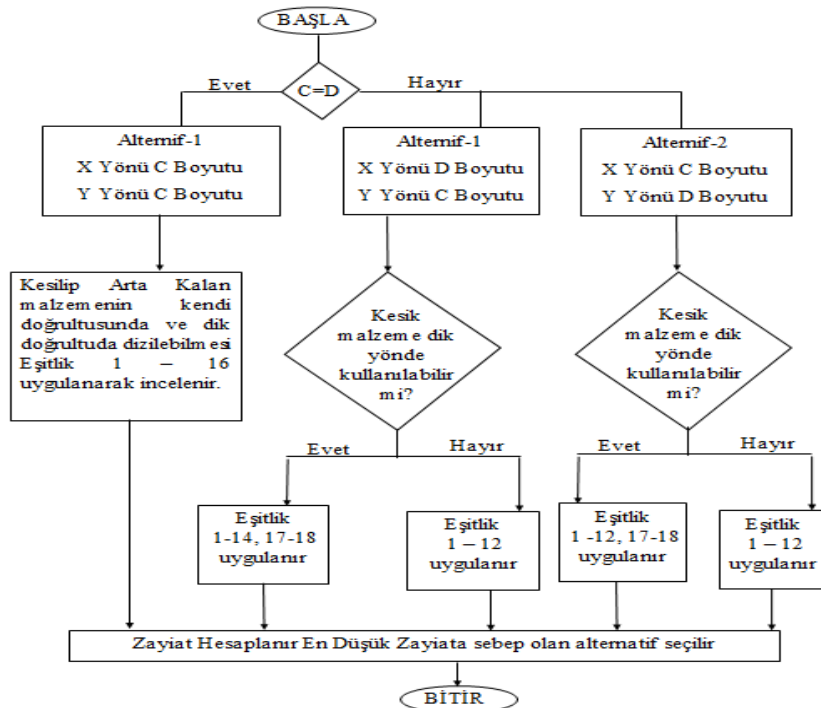
$$O = \begin{cases} \left\lfloor \frac{M}{H} \right\rfloor & \text{eğer } M \geq H \\ 0 & \text{eğer } M < H \end{cases} \quad (15)$$

Y yönünde arta kalan N boyutlu parçaların 1 adedinden karşı yönde kaç adet boşluğa yerleştirilebileceğinin sayısı eşitlik 16'da ifade edildiği gibi hesaplanır.

$$P = \begin{cases} \left\lfloor \frac{N}{G} \right\rfloor & \text{eğer } N \geq G \\ 0 & \text{eğer } N < G \end{cases} \quad (16)$$

X ve Y yönünde arta kalan 1 adet malzemenin 90° döndürülüp yerleştirildiğinde kaç adet boşluğu kapattığı eşitlik 15 ve 16'da hesaplanmıştır. Artı kalan malzeme her zaman diğer doğrultudaki boşluğu kaplamaya yetmez. Bu durumda eksik kalan kısma kesilmemiş malzeme kesilerek boşluk kapatılmaktadır. Eşitlik 15 ve 16 kare malzeme için geçerlidir. Malzeme kare değilse $C > D$ ve $C < D$ durumlarının ayrıca incelenmesi gerekmektedir. $C > D$ olması durumunda Y doğrultusundaki boşluğu doldurmak için kesilip arta kalan parçanın X doğrultusunda kaç boşluk doldurabileceği eşitlik 17'de ifade edildiği gibi hesaplanır.

$$R = \begin{cases} \left\lfloor \frac{N}{G} \right\rfloor * \left\lfloor \frac{C}{D} \right\rfloor & \text{eğer } N \geq G \\ 0 & \text{eğer } N < G \end{cases} \quad (17)$$



Şekil 2. En az malzeme zayıyatını belirleyen algoritmanın akış şeması

$C > D$ koşulu geçerli olduğunda Y doğrultusunda arta kalan parça X doğrultusunda kullanılamamaktadır. $C < D$ olması durumunda X doğrultusundaki boşluğu doldurmak için kesilip arta kalan parçanın Y doğrultusunda kaç boşluk doldurabileceği Eşitlik 18’de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$S = \begin{cases} \left\lfloor \frac{M}{H} \right\rfloor * \left\lfloor \frac{D}{C} \right\rfloor & \text{eğer } M \geq H \\ 0 & \text{eğer } M < H \end{cases} \quad (18)$$

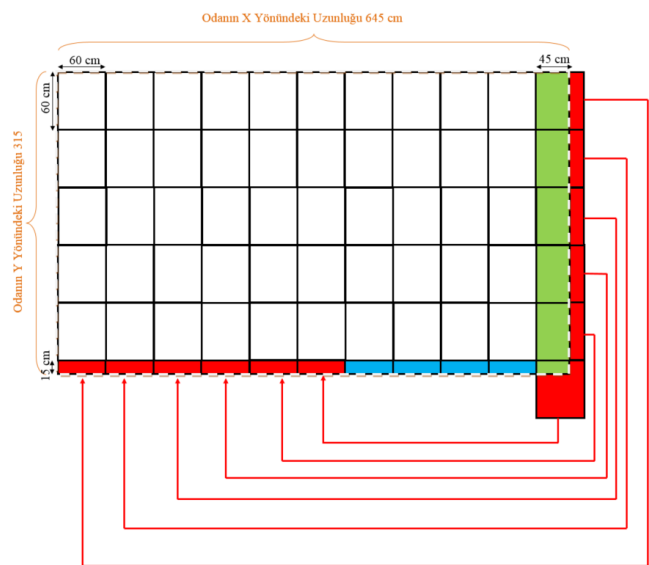
Kullanılacak toplam malzeme miktarı $E * F + \gamma_A + \gamma_B - R - S$ ile hesaplanır. Ayrıca boşluğun bir kısmının karo kesilerek, kalan kısmın ise diğer yönden gelen kesilmiş malzeme ile doldurulması durumları da incelenmektedir. En düşük malzeme zayıyatını veren karo yerleştirme örüntüsünü hesaplayan algoritmanın akış şeması Şekil 2’de sunulmuştur.

Vaka analizi

Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini denemek amacıyla düzgün yüzeyli bir oda planı ile odanın düzgün geometrisini bozan shaft boşluğu bulunması durumları için vaka analizleri gerçekleştirilmiştir. Birincisi vaka analizinde düzgün geometriye sahip bir odada kare şeklinde yer döşemesi, ikinci analizde düzgün geometriye sahip odada dikdörtgen biçiminde yer döşemesinin en düşük zayıyatının elde edilmesi incelenmiştir. Üçüncü vaka analizinde köşesinde shaft boşluğu bulunan bir odanın sırası ile kare ve dikdörtgen yer döşemesi ile kaplanması incelenmiştir. Dördüncü analizde 10 katlı, her katında 4 daire olan ve her dairedeki düzgün geometri 2+1 odaya 60x60 ve 40x80 boyutlu karoların yerleştirilmesi ve plywood kalıp tahtası ile betonarme döşeme kalıbı yapılması da incelenmiştir. Hesaplamaların sistematik biçimde gerçekleştirilebilmesi için hesap cetveli uygulaması üzerinde formüller kodlanmıştır.

Kare yer döşemesi yerleştirilmesinin incelenmesi

Birinci vaka analizinde 645 cm eninde ve 315 cm boyundaki bir odaya 60x60 cm boyutlarındaki yer döşeme malzemesinin en az malzeme israfı ile nasıl yerleştirilebileceği hesaplanmıştır. Belirtilen boyutlar için kesilmeden konulacak karo sayısı X yönünde 10, Y yönünde 5 olarak hesaplanır. X yönü için boşluk 45 cm, Y yönündeki boşluk 15 cm’dir. X yönündeki boşluğa bir adet karo malzemesi 45 cm kesilip yüzeye yerleştirilir. Karodan 45 cm kesildiğinde 15 cm boyutunda arta kalan parça olur. Bu parça bir alt sıradaki eksik yüzey uzunluğu olan 45 cm den küçük olduğu için yeni bir adet 60 cm x 60 cm boyutlarındaki bir karo 45 cm uzunluğunda kesilip yüzeye yerleştirilmektedir.



Şekil 3. X yönünde arta kalan parçaların Y yönünde eksik kalan kısma yerleştirilmesi

X yönünde kesilip arta kalan bütün parçalar ile Y yönünde 6 adet eksik kalan yüzey tamamlanır. Şekil 3'te gösterildiği gibi bütün arta kalan malzemelerin eksik kalan yüzeylerde kullanılması rağmen mavi dolgu ile boyanmış kısımlar halen eksik kalmaktadır. Eksik kalan yüzeyler için bir adet 60cm x 60cm uzunluğunda karo kesilip yüzeye yerleştirilir ve işlemler eksik kalan yüzey tamamlanıncaya kadar devam eder.

Yer döşemesi için kullanılan toplam karo sayısı, kesilmeden kullanılan 50 adet karo ile boşlukların doldurulması için kullanılan 7 adet karo ile birlikte 57 adettir. Analiz sonuçları Çizelge 1'de gösterilmektedir (Zafer, 2021).

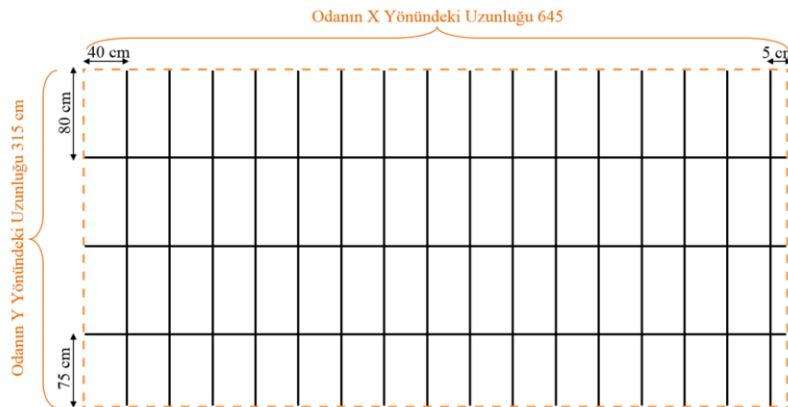
Çizelge 1. 60x60 cm boyutlarındaki karonun 645x315 boyutlu odaya minimum zayıat ile döşenmesinin hesaplanması

Açıklama	Miktar
Kesilmeden Kullanılacak Karo Sayısı	50
Kesilecek Karo Sayısı	7
Toplam Karo Sayısı	57
Zayıat Miktarı (m ²)	0.2025

*AKM: Askıda Katı Madde

Dikdörtgen yer döşemesi yerleştirilmesinin incelenmesi

İkinci vaka analizinde 645 cm eninde ve 315 cm boyundaki bir odaya 40x80 cm boyutlarındaki yer döşeme malzemesinin hangi örüntüde yerleştirildiğinde en az zayıatın gerçekleşeceği hesaplanmıştır. Karoların X doğrultusu 40, Y doğrultusu 80 cm olacak şekilde yerleştirildiğinde oluşan durum Şekil 4'te gösterilmiştir. Eksik kalan 5 cm ve 75 cm'lik her bir boşluğa bir adet karo malzemesi eksik yüzey uzunluğu kadar kesilip yüzeye yerleştirilir.



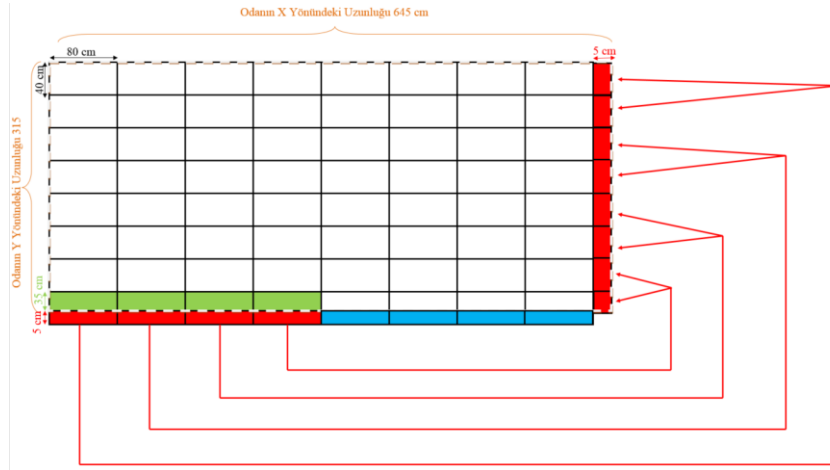
Şekil 4. Vaka çalışması 2'deki karonun yüzeye yerleştirilmesinin gösterimi

40x80 cm boyutlarındaki karonun 645 cm uzunluğunda 315 cm genişliğindeki odaya yerleştirilmesi sonucu kullanılan malzeme ve zayıat miktarları Çizelge 2'de gösterilmiştir (Zafer, 2021).

Çizelge 2. 40x80 cm boyutlarındaki karonun 645 x 315 boyutlu odaya minimum zayıat ile döşenmesinin hesaplanması

Açıklama	Miktar
Kesilmeden Kullanılacak Karo Sayısı	48
Kesilecek Karo Sayısı	17
Toplam Karo Sayısı	65
Zayıat Miktarı (m ²)	0.4825

Aynı mekân için karonun 40x80 yerine 80x40 olarak yerleştirilme durumunda oluşacak durum Şekil 5'te gösterilmiştir. Y doğrultusunda eksik kısım için 80x40 cm boyutlarında karo 35 cm kesildiğinde 80x5 cm artık malzeme kalmaktadır. Bu malzeme 90° döndürüldüğünde 5x80 cm boyutlarında karo elde edilir ve X yönünde eksik kalan 5 cm eksik kısım için 5x40 cm boyutlarında kesilerek iki adet boşluğu kapatır.



Şekil 5. X doğrultusunda artı kalan parçaların Y doğrultusunda eksik kalan kısma yerleştirilmesi

80x40 cm boyutlarındaki karonun 645 cm uzunluğunda 315 cm genişliğindeki odaya yerleştirilmesi sonucu kullanılan malzeme ve zayıt miktarları Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Malzemenin 80x40 olarak yerleştirilmesi halinde oluşacak zayıt miktarı 40x80 olarak yerleştirilmesine göre kıyaslandığında üçte birine indiği tespit edilmiştir. Belirtilen çıkarım Çizelge 2 ve Çizelge 3'teki değerler incelenerek tespit edilmiştir.

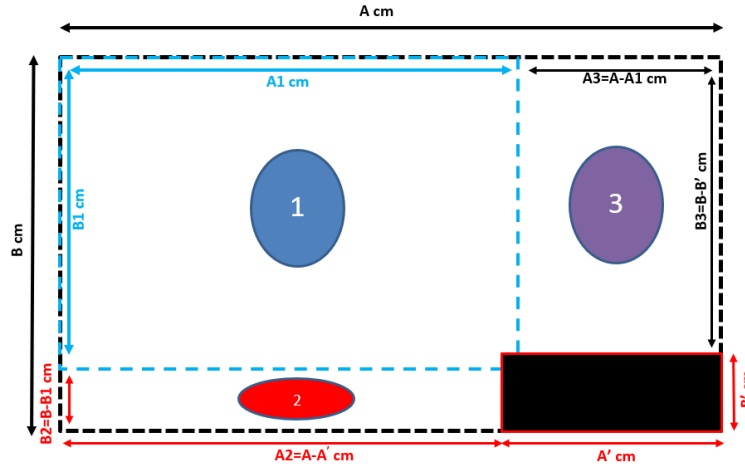
Çizelge 3. 80x40 cm boyutlarındaki karonun 645x315 boyutlu odaya minimum zayıt ile döşenmesinin hesaplanması

Açıklama	Miktar
Kesilmeden Kullanılacak Karo Sayısı	56
Kesilecek Karo Sayısı	8
Toplam Karo Sayısı	64
Zayıt Miktarı (m ²)	0.1625

Düzensiz geometrili odada yer döşemesinin incelenmesi

Vaka analizi 3'te odada shaft boşluğu, kolon dışı vb. çıkıntı olması durumu incelenmiştir. 645 cm uzunluğunda ve 315 cm genişliğinde bir odanın herhangi bir köşesinde 210x70 cm boyutlarında bir boşluk bulunması halinde 60x60 cm boyutlarındaki yer döşeme malzemesi ile hangi örüntüde yerleştirildiğinde en az malzeme israfının gerçekleşeceği hesaplanmıştır. Şekil 6'da gösterildiği gibi mekân üç ayrı bölüme ayrılmıştır.

Mekân, düzensizlik içermeyecek şekilde alt-mekânlara ayrılarak karo yerleştirme problemi çözülmüştür. Şekil 6'da 1 numara ile gösterilen alt-mekân, düzensizliğe erişinceye kadar parke dizilebilecek bölge olacak şekilde ayrılır. Şekil 6'da A1 ve B1 olarak ifade edilen boyutlar sırası ile $A1 = \left\lceil \frac{A-A'}{C} \right\rceil * C$ ve $B1 = \left\lceil \frac{B-B'}{D} \right\rceil * D$ denklemlerinden elde edilir. Denklemde A' ve B' düzensizliğin sırası ile X ve Y yönlerindeki boyutlarıdır. Birinci bölgedeki zayıt en son yerleştirilen karonun kesilmesi ile oluşan zayıttır ve $[A'-(A-A1)] * [B'-(B-B1)]$ çarpımına eşittir. İkinci ve üçüncü alt-mekânların incelenmesi diğer vaka analizleri ile aynı yöntemle yapılmaktadır. Tüm alt-mekânlardaki zayıtın toplamı ile mekândaki zayıt elde edilir. Toplam zayıt miktarı Çizelge 4'te sunulmuştur (Zafer, 2021).

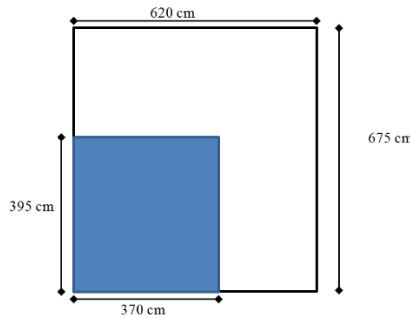


Şekil 6. Odada herhangi bir düzensizlik bulunduğunda uygulanan çözüm yöntemi

Çizelge 4. 60x60 cm boyutlarındaki karonun düzensizlik içeren odaya minimum zayıatla yerleştirilmesinin hesap sonuçları

Açıklama	Miktar
Kesilmeden Kullanılacak Karo Sayısı	48
Kesilecek Karo Sayısı	6
Toplam Karo Sayısı	54
Zayıat Miktarı (m ²)	0.5925

Düzensizlik şaft boşluğunun yanı sıra mimari gereksinimden de kaynaklanabilir. Mekânın farklı kullanım amaçlarına hizmet edebilmesi için “L” biçiminde mutfak veya salon tasarımları yaygın biçimde uygulanmaktadır. Böyle bir mekânın yer döşemesinin en az zayıatla gerçekleştirilmesi dördüncü vaka analizi olarak incelenmiştir.



Şekil 7. L biçimli mekânın en az malzeme zayıatı olacak şekilde döşenmesi

Geliştirilen algoritma çalıştırılarak Çizelge 5'te sunulan sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5. 60x60 cm boyutlarındaki karonun L biçimli mekânın en az malzeme zayıatı olacak şekilde minimum zayıatla yerleştirilmesinin hesap sonuçları

Açıklama	Miktar
Kesilmeden Kullanılacak Karo Sayısı	69
Kesilecek Karo Sayısı	9
Toplam Karo Sayısı	78
Zayıat Miktarı (m ²)	0.8450

Algoritmanın çalıştırılabilmesi için excel ofis programında çalışan bir uygulama geliştirilmiştir. Seçilebilecek karo boyutları uygulamaya önceden tanıtılmıştır. Karo boyutu Şekil 8'de gösterildiği üzere F6 hücresinden seçilmektedir. Mekânla ilgili boyutlar ise F4, F5 hücrelerinden geometrik düzensizlikler ise F7 ve F8 hücrelerinden tanımlanmaktadır. L biçiminde mutfak için en az karo zayıatını belirlemek için Şekil 8'de belirtilen veriler F4-F7 arasındaki hücrelere ilgili veriler girildikten sonra “En Uygun Karo Miktarını Bul” butonuna basılarak hesaplamalar gerçekleştirilir.

şekilde döşeme kalıbı imalatı yapılması incelenmiştir. Bir daire için kullanılacak malzeme adedine ve oluşacak zayıt miktarına ait bilgiler Çizelge 8’de gösterilmiştir. Kalıplar bir üst katta tekrar kullanıldığı için bir katta kullanılacak malzeme miktarı on katta kullanılacak malzeme miktarına eşit olacaktır. Bir daire için hesaplanan miktar 4 ile çarpılır ve on kat için kullanılacak döşeme kalıbı ve oluşacak zayıt miktarları hesaplanır. Geliştirilen yöntemin kullanılması ile tasarruf edilebilecek kalıp miktarı 93.75 m² olarak hesaplanmıştır (Zafer, 2021).

Çizelge 8. Döşeme kalıbı imalatının atık değerlemesi

Odalar	Rastgele Yerleşim		Önerilen Yöntem		Fark	
	Miktar (Adet)	Zayıt (m ²)	Miktar (Adet)	Zayıt (m ²)	Miktar (Adet)	Zayıt (m ²)
495x525 cm	20	5.2625	17	0.575	3	4.6875
511x367 cm	15	4.6838	13	1.5588	2	3.125
745x515 cm	30	8.5075	25	0.695	5	7.8125
Mutfak	23	8.7025	18	0.89	5	7.8125
Bir Daire	88	27.1563	73	3.7188	15	23.4375
Tüm Bina	352	108.6252	292	14.8752	60	93.75

BULGULAR VE TARTIŞMA

İnşaat sektörü bütçe ve süre hedeflerine çok önem vermesine rağmen israfı ve kayıpları önleyici maliyet kontrolü uygulamalarına oldukça uzak kalmıştır. İnşaat sektörünün proje tabanlı iş yapması, tüm hesaplamaların ve faaliyetlerin her proje için baştan yapılıyor olması imalat sektöründe çok yaygın biçimde uygulanan Kaizen Maliyetleme tekniklerinin uygulanabilmesini engellemiştir. Gelişen bilgi teknolojileri sayesinde Yapı Bilgi Modellemesi kullanımı yaygınlaşmakta ve karar vericilerin iş yükünü azaltmaktadır. Bu sayede inşaat sektörünün inşaat sürecinin yönetiminde daha detaylı analizler yaparak Kaizen Maliyetleme tekniğini uygulayabilme fırsatı doğmuştur.

Bu çalışmada bir mekâna yerleştirilecek parke-fayans ve betonarme döşeme imalatında kullanılacak plywood kalıp tahtalarının zayıt miktarı hesaplama süreci denkleştirilerek bu problem türü literatüre kazandırılmıştır. Denklemler Visual Basic programlama dilinde kodlanarak bir uygulama geliştirilmiş ve YBM yazılımlarına entegre edilebilir hale getirilmiştir. Ayrıca geliştirilen yazılım vaka analizlerinde uygulanarak yöntemin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Yöntemin uygulanması ile elde edilebilecek tasarruf miktarı israfın insan kaynaklı hata ve davranışlardan oluşması nedeniyle kesin olarak belirlenemeyecektir. Fakat inşaat başlamadan önce parke-fayans ve kalıp imalatlarının zayıt dâhil olacak şekilde malzeme kullanım miktarının bilinmesi taşeronlar ve personel üzerinde malzeme israfını önlemeye yönelik etkin denetim uygulanabilmesini sağlayacaktır.

Geliştirilen yöntemin tasarım aşamasında uygulanması ile farklı parke-fayans ve kalıp tahtası boyutları deneyerek en az malzeme zayıtının hangi ebattaki malzeme ile sağlanabileceği tespit edilebilecek ve tasarım revize edilebilecektir. Yöntemin kullanılması ile tasarruf edilebilecek malzeme miktarlarının parasal karşılığı toplam inşaat maliyeti ile karşılaştırıldığında önemsiz bir miktar olabileceği değerlendirilebilir, fakat her malzeme kaleminden benzer miktarda tasarruf edildiğinde toplam tasarruf önemli bir büyüklük olacaktır. Yüklenici ihaledeki teklif bedelini veya binanın satış fiyatını değiştirmedeği durumda elde edilen tasarruf yüklenici kârındaki artış olacaktır.

Geliştirilen yöntemin uygulanması sonucu kullanılması gereken malzeme miktarı net biçimde hesaplanabilmektedir. Bu sayede malzeme siparişleri daha yüksek doğrulukta yapılabilecek ve eksik veya fazla malzeme siparişi verme riski ortadan kaldırılacaktır. Bu sayede iş tamamlanmadan malzemenin bitmesi sonucu yeniden malzeme alımı yapılmasının önüne geçilebilecektir. Düşük miktarda yapılan ek alımlar daha yüksek birim fiyata mâl olmakta ve tedarik süreci inşaat süresini uzatacağı için inşaat maliyetlerinde ve süresinde artışa neden olmaktadır. Yöntemin uygulanması ile belirtilen nedenden kaynaklanan maliyet ve süre artışları engellenebilecektir.

Geliştirilen sistem şu an çok karmaşık geometrik yüzeylerde en iyi sonucu verememektedir. Ayrıca bir odada artan kesik parçanın, başka bir odada değerlendirilme durumu hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Fakat bu çalışmanın geliştirilmesi ile daha karmaşık geometriye sahip mekânların yer döşemesi sırasında oluşacak zayıtlar kolaylıkla hesaplanabilecektir.

SONUÇ

Bu çalışmada parke-fayans ve betonarme kalıbı imalatlarının mekân geometrisi ve malzeme boyutları dikkate alınarak sadece incelenen mekân dikkate alındığında en az zayıtla nasıl yerleştirilebileceğini hesaplayan bir yöntem geliştirilmiştir. Hesaplama süreci denkleştirilerek literatüre katkı sağlanmıştır. Geliştirilen yöntem Visual Basic programlama dilinde kodlanarak en az malzeme zayıtının nasıl elde edilebileceğini hesaplayıp raporlayan bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulama, hipotetik bir binaya ait odalara parke-fayans yerleştirilmesi ile döşeme kalıplarının plywood kalıp tahtaları kullanılarak imal edilmesi işlerinin malzeme zayıtının hesaplanmasında kullanılmıştır. Tüm yerleştirme biçimleri denenerek en az malzeme zayıtını sağlayan yerleştirme biçimi rapor edilmiştir. Geliştirilen uygulamanın kullanılması ile inşaat sektörünün ilgili iş kalemlerinde Kaizen Maliyetleme yöntemini uygulayabilmeleri mümkün olacaktır. Geliştirilen yöntem ile inşaat sektöründe ortaya çıkan malzeme israfının genel olarak azaltılma fırsatı elde edilebilecektir. Ayrıca inşaat öncesi seçilen malzeme boyutuna göre oluşacak zayıt ve işçilik miktarları hesaplanabileceği için tasarımın revize edilebilme imkânını da sağlayacaktır. Yöntemin yaygın olarak uygulanması ile inşaat sektörünün malzeme israfı, dolayısı ile çevreye vereceği zarar ve toplam inşaat maliyeti azalacaktır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Agyekum K, Ayarkwa J, Adjei-Kumi T, 2013. Minimizing materials wastage in construction-a lean construction approach. *Journal of Engineering and Applied Science*, 5(1): 125-146.
- Azhar S, 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, *Leadership and management in engineering*, 11(3): 241-252.
- Azhar S, Khalfan M, Maqsood, T, 2012. Building Information Modelling (BIM): Now and Beyond, *Construction Economics and Building*, 12(4): 15-28.
- Babatunde SO. 2012. Quantitative assessment of construction materials wastage in the Nigerian construction sites. *Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences*, 3(3): 238-241.
- Berberler ME, Nuriyev U, Yıldırım A, 2011. A Software for the One-Dimensional Cutting Stock Problem. *Journal of King Saud University-Science*, 23(1), 69-76.
- Berberler ME, Nuriyev UG, 2010. A New Heuristic Algorithm for the One-Dimensional Cutting Stock Problem. *Appl. Comput. Math*, 9(1), 19-30.
- Bettemir ÖH, 2018. Development of Spreadsheet Based Quantity Take-off and Cost Estimation Application. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 1(3), 108-117.
- Choi J, Kim H, Kim I, 2015. Open BIM-based Quantity Take-off System for Schematic Estimation of Building Frame in Early Design Stage. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(1):16-25.
- Ergen F, Bettemir ÖH, 2022. Development of BIM Software With Quantity Take-off and Visualization Capabilities. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 5(1), 01 – 14. Doi, 10.31462/jcemi.2022.01001014.

- Gulghane AA, Khandve PV, 2015. Management for construction materials and control of construction waste in construction industry: a review. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(4): 59-64.
- Hardin B, 2009. *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*, Wiley Publishing Inc. Indianapolis, Indiana.
- Jin HW, Doolen TL, 2014. A Comparison of Korean and US Continuous Improvement Projects, *Int. J. Product. Perform. Manag.*, 63: 384-405.
- Khosakitchalert C, Yabuki N, Fukuda T, 2018. The Accuracy Enhancement of Architectural Walls Quantity Takeoff for Schematic BIM Models, In ISARC. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction Berlin, Almanya*, pp. 1-8, 20-25 Temmuz.
- Khosakitchalert C, Yabuki N, Fukuda T, 2019a. BIM-Based Wall Framing Calculation Algorithms For Detailed Quantity Takeoff, *Proceedings of the 4th International Conference on Civil and Building Engineering Informatics*, Sendai, Miyagi, Japonya, 251-258, 7-8 Kasım.
- Khosakitchalert C, Yabuki N, Fukuda T, 2019b. Improving the Accuracy of BIM-based Quantity Takeoff for Compound Elements, *Automation in Construction*, 106: 102891, 1-20.
- Kim K, Teizer J, 2014. Automatic Design and Planning of Scaffolding Systems Using Building Information Modeling, *Advanced Engineering Informatics*, 28(1): 66-80.
- Kim S, Chin S, Kwon S, 2019. A Discrepancy Analysis of BIM-based Quantity Take-off for Building Interior Components. *Journal of Management in Engineering* 35(3):05019001.
- Lee SK, Kim KR, Yu JH, 2014. BIM and Ontology-based Approach for Building Cost Estimation. *Automation in Construction*, 41, 96-105.
- Liu H, Cheng JC, Gan VJ, Zhou S, 2022. A Knowledge Model-based BIM Framework for Automatic Code-compliant Quantity Take-off, *Automation in Construction*, 133: 104024.
- Liu H, Lu M, Al-Hussein M, 2016. Ontology-based Semantic Approach for Construction-oriented Quantity Take-off From BIM Models in the Light-frame Building Industry. *Advanced Engineering Informatics* 30(2), 190-207.
- Miranda P, Silva R, Da Silva AF, Ferreira C, 2020. Kaizen Costing: Systematic Literature Review (2015-2020), *Economic and Social Development: Book of Proceedings*, 71-85.
- Odusami KT, Oladiran OJ, Ibrahim SA, 2012. Evaluation of materials wastage and control in some selected building sites in Nigeria. *Emirates Journal for Engineering Research*, 17(2), 53-65.
- Oladiran OJ, 2008. Materials wastage: causes and their contributions' level. *Proceedings of CIB-2008*, 15-7.
- Olsen D, Taylor JM, 2017. Quantity Take-off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors, *Procedia engineering*, 196: pp. 1098-1105.
- Terzi A, 2017. Hedef Maliyetleme, Değer Mühendisliği ve Kaizen Maliyetleme Üçlüsünün Çay İşletmelerinde Birlikte Uygulanabilirliği, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2): 221-248.
- Vivan AL, Ortiz FA, Paliari J, 2015. Model for Kaizen Project Development for the Construction Industry, *Gestão Produção*, 23(2): 333-349.
- Yang B, Zhang B, Wu J, Liu B, Wang Z, 2019. A BIM-based Quantity Calculation Framework for Frame-shear Wall Structure, *Structural Engineering International*, 29(2): 282-291.
- Zafer EH, 2021. Yapı Bilgi Modeli ile Minimum Zayıfla Yer Karosu ve Kalıp İşlerinin İmalatı, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Malatya.