

KAYNAK KISITLI ÇOKLU İNŞAAT PROJELERİNDE WIEST YÖNTEMİYLE İŞGÜCÜ KAYNAKLARININ TAHSİSİ VE DENGELMESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Osman Mert AVDAN¹, Osman AYTEKİN^{2*}, Hakan KUŞAN³

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-5564-1102>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5916-0725>

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7689-2808>

Anahtar Kelimeler	Öz
<p><i>Kaynak Dengeleme Problemleri (KDP), Çoklu İnşaat Proje Yönetimi (ÇİPY), Kaynak Tahsis Modelleri (KTM), Kaynak Dengeleme Yöntemleri (KDY), Kaynak Kısıtlı Projelerde Dengeleme (KKPD)</i></p>	<p><i>Günümüzde inşaat projelerinin süre-maliyet açısından en iyi şekilde yönetilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle kısıtlı kaynaklar ile inşaat projelerinin yönetilmesi, uygulamada sıkça karşılaşılan bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna ilave olarak, proje sayısı arttığında ve ortak kaynakların kullanılması durumunda, birçok iş programının birbirine geçtiği uygulamalarda, kaynakların projelere tahsisi, süre-maliyet açısından çok büyük önem arz etmektedir.</i></p> <p><i>Bu çalışmada kaynakları kısıtlı çoklu inşaat projelerinde; ortak işgücü kaynaklarının kullanılması durumunda, bu kısıtlı işgücü kaynaklarının projelerde nasıl kullanılacağı araştırılmıştır. Bu amaçla, WIEST kaynak dengeleme yöntemi kullanılarak işgücü kaynaklarının dengelenmesi ve tahsisi üzerine örnek bir uygulama yapılarak proje yönetimi ve iş programlarında yapılması gereken hususlar ele alınmıştır. Proje başlangıç tarihleri ve imalat metraj değerleri bilinen birbirinden uzak parsellerde inşa edilecek üç inşaat projesi ele alınmıştır. Bu projelerde ortak işgücü kaynaklarını kullanması durumunda, bu işgücü kaynaklarının süre-maliyet açısından en uygun biçimde projelere entegre edilmesi amaçlanmıştır.</i></p> <p><i>Yapılan bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre, aynı zamanda başlayacak ve işgücü kaynakları kısıtlı projelerde WIEST yöntemiyle işgücü kaynak dengelemenin kullanılması durumunda süre ve maliyet açısından birçok düzenlemenin yapılmasının gerekli olduğunu görülmüştür. Ayrıca proje sürelerinde belli bir artış olmasına rağmen proje maliyetlerinde azalma sağladığı görülmüştür.</i></p>

AN APPLICATION ON ALLOCATION AND BALANCING OF LABOR RESOURCES WITH WIEST METHOD IN RESOURCE LIMITED MULTIPLE CONSTRUCTION PROJECTS

Keywords	Abstract
<p><i>Resource Balancing Problems (RBP), Multiple Construction Project Management (MCPM), Resource Allocation Models (RAM), Resource Balancing Methods (RBM), Resource Limited Project Balancing (RLPB)</i></p>	<p><i>Nowadays, there is a need to manage construction projects in the best way in terms of time-cost. Managing construction projects, especially with limited resources, is a frequently encountered problem in practice. In addition, when the number of projects increases and common resources are used, the allocation of resources to projects is of great importance in terms of time-cost in applications where many construction schedules overlap.</i></p> <p><i>In this study, it has been investigated that how these limited resources can be used in projects in case of using common resources in multiple construction projects with limited resources. For this purpose, a sample application on the balancing and allocation of labour resources by using the "Wiest Resource Balancing Method" is conducted and the issues that need to be done in project management and construction schedules are discussed. Three construction projects to be built on distant sites with specific project start dates and manufacturing quantity values are considered. In case of using common labour resources in these projects, it is aimed to integrate these labour resources into the projects in the most appropriate way in terms of time-cost.</i></p> <p><i>According to the findings of this study, it shows that many adjustments in terms of time and cost are necessary in case of using labour resource balancing with the WIEST method in projects that will start at the same time and have limited labour resources. It has also been observed that although there is a certain increase in project durations, it provides a reduction in project costs.</i></p>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 17.01.2023

Kabul Tarihi : 09.03.2023

Research Article

Submission Date : 17.01.2023

Accepted Date : 09.03.2023

* Sorumlu yazar: oyatekin@ogu.edu.tr<https://doi.org/10.31796/ogummf.1237568>**1. Giriş**

Proje yönetiminde en önemli husus kaynakların etkin kullanımı ve kısıtlı kaynaklar olması durumunda bu kaynakların en verimli şekilde iş planına uygun olarak koordine edilmesidir. Kaynakların bir iş planına bağlı olmadan gelişigüzel şekilde kullanılması, iş planında dalgalanmalara yol açar. Bu da yöneticiler için proje maliyetinin artmasıdır. Bu dalgalanmaların önlenmesi için uygulamada kaynakların doğru bir şekilde tahsis edilmesi ve dengelenmesi gerekmektedir. Tek bir inşaat projesinde dahi önemli olan kaynak yönetimi, aynı kaynakları kullanan çoklu inşaat projeleri için daha büyük önem arz etmektedir. Aynı zaman diliminde imalat süreci devam eden ve aynı kaynakların kullanıldığı inşaat projelerinde, kaynakların en verimli şekilde projelere tahsis edilmesi çok önemlidir. Bu gibi durumlarda kaynakların ortak kullanımı ve süre açısından en az kayıpla inşaat projelerinin devam etmesi istenir.

Son yıllarda özellikle inşaat projelerinde kullanılan işgücü ve makine kaynaklarının verimli kullanılması ve

düşük maliyetli projelerin gerçekleştirilmesinde kaynak tahsisi çok fazla önem kazanmıştır.

İnşaat proje yönetiminde, projelerin planlanması için kullanılan iş programlarından elde edilen kaynak kullanım çizelgelerinde dalgalanmalar oluşabilmektedir. Kaynaklarda oluşan bu dalgalanmalar, inşaat süresince çeşitli problemlere sebep olabilmektedir. Bu dalgalanmaları azaltmak için yapılan çalışmalar yapım için gerekli proje bütçesinin azaltılmasına da imkân sağlamaktadır. Bu sebeple KDP (Kaynak Dengeleme Problemleri) inşaat yönetiminde önemli bir problemdir. İnşaat sektöründe kullanılan KD yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde de sezgisel yöntemler ve üst sezgisel yöntemler adı altında gruplandırılacak çok sayıda yöntem ve uygulamaların olduğunu görebiliriz.

KDP, KTM (Kaynak Tahsis Modelleri ve ÇİPY (Çoklu İnşaat Proje Yönetimi) alanlarında yapılan çalışmalara ilişkin araştırma detayları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. KDP (Kaynak Dengeleme Problemleri), KD (Kaynak Dengeleme) ve KTM (Kaynak Tahsis Modelleri) Alanında Yapılan Çalışmalar

Çalışma Alanı	Yapılan Çalışma	Kaynaklar
Kaynak Kısıtlı Projelerde Dengeleme (KKPD)	Sınırlı kaynaklara sahip büyük projeleri çizelgelemek için sezgisel bir model önerilmiştir.	Wiest (1967)
KD (Kaynak Dengeleme)	KD için kullanılan minimum moment yaklaşımına hesaplamaları önemli ölçüde düşüren bir değişiklik içeren algoritma önerilmiştir.	Hiyassat (2000)
KD (Kaynak Dengeleme), KTM (Kaynak Tahsis Modeli)	Faaliyetlerin uzamasına veya sıkıştırılmasına izin veren “entropi maksimizasyon metodu” adı verilen bir yöntem önerilmiştir.	Cristodoulou vd. (2010)
KD (Kaynak Dengeleme)	Klasik kaynak dengeleme problemi ve belirli bir kaynak kullanım eşiğinin aşılması durumunda maliyetlerin oluştuğu “aşırı yük problemi” olarak adlandırılan problemi çözmek için karma tam sayılı doğrusal programlama tekniği ile geliştirilen bir algoritma geliştirilmiştir.	Rieck vd. (2012)
KD (Kaynak Dengeleme)	Kaynak dengeleme problemlerinin çözümü için GA ağırlıklı bir algoritma önerilmiştir.	Iranagh ve Sönmez (2012)
KD (Kaynak Dengeleme), KTM (Kaynak Tahsis Modeli)	Bina inşaatları için bina bilgi modeli destekli kaynak dengelemesi gerçekleştirebilen bir uygulama geliştirilmiştir.	Yıldırım vd. (2016)
KDP (Kaynak Dengeleme Problemleri)	Belirsizlik altında kaynak kısıtlı çok modlu çoklu proje çizelgeleme	Soysal vd. (2021)
KDP (Kaynak Dengeleme Problemleri)	Proje süresini kısaltmak amaçlı, daha etkili ve esnek proje işlevleri için normalize entropi ve bağıl entropi değerlerine dayalı bir model önerilmiştir.	Qiao ve Li (2018)
Kaynak Kısıtlı Projelerde Dengeleme (KKPD)	Kaynak kısıtlı inşaat işlerinde iş gücü planlanması ve Kaynak Dengelenmesi için WIEST yönteminin bir uygulamasını içermektedir.	Erdoğan, O., 2021
KD (Kaynak Dengeleme)	KD için yeni paralel dal ve sınır algoritması önerilmektedir.	Ponz-Tienda vd. (2017)

Bu çalışmada kaynakları kısıtlı çoklu inşaat projelerinde ortak kaynakların kullanılması durumunda, bu kısıtlı kaynakların projelerde nasıl kullanılabilceği araştırılmıştır. İnşaat proje ve yönetimi alanında iş programlarının yapılmasında CPM ve PERT tabanlı yazılımlar sıkça kullanılmaktadır. Ancak CPM ve PERT tabanlı bu tür iş programları yapan yazılımlarda kaynakların kısıtlı olması durumu için bir iyileştirme yapma imkânı yoktur. Wiest yöntemi özellikle CPM tabanlı iş programları kullanılan projelerde; kaynakların tahsisi ve dengelenmesi amaçlı olarak yapılabilecek iyileştirmeler noktasında meta-sezgisel algoritmalar ve hibrit algoritmalar gibi diğer kaynak dengeleme yöntemlerine göre daha kolay uygulanabilmektedir. Bu amaçla, Wiest kaynak dengeleme yöntemi kullanılarak işgücü kaynaklarının dengelenmesi ve tahsisi üzerine örnek bir uygulama yapılarak proje yönetimi ve iş programlarında yapılması gereken hususlar ele alınmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde bu yöntemin tek ve bağımsız projelerde uygulandığını ama çoklu projelerde bu yöntem kullanılarak kaynak dengeleme veya kaynak tahsisi noktasında bir uygulama yapılmadığı görülmektedir. Bu amaçla Wiest yöntemi kullanılarak; proje başlangıç tarihi, imalat metraj değerleri bilinen 3 ayrı inşaat projesinin ortak işgücü kaynakları kullanılması durumunda bu işgücü kaynaklarının süre ve maliyet açısından en uygun biçimde projelere bütünleştirilmesi durumu araştırılmış, olumlu ve kabul edilebilecek bulgulara ulaşılmıştır.

2. Yöntem

Kaynakları kısıtlı çoklu inşaat projelerinde ortak kaynakların kullanılması durumunda, bu kısıtlı kaynakların kullanımının süre ve maliyet açısından projelerin yönetilmesinde ve uygulamada proje sürelerinin artması veya maliyetlerin yükselmesi gibi istenmeyen durumların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. İnşaat projelerinde sıkla karşılaşılan bu tip beklenmeyen ve istenmeyen durumların ortadan kaldırılması için çok sayıda sezgisel, istatistiksel ve matematiksel model ve yöntemlerin kullanıldığı bilinmektedir. Ancak bu zamana kadar yapılan çalışmaların bireysel ve sadece tek bir projede uygulandığı görülmektedir. Aynı tarihlerde ve farklı bölgesel şantiyelerde gerçekleştirilecek projelerin aynı yüklenim altında yapılması durumunda yüklenimi gerçekleştirecek olan yüklenicinin kaynaklarını bu çok sayıda ve aynı anda başlatılması gereken projelerde uygulanmasına yönelik yeterli olmayan az sayıda çalışmalara rastlanmaktadır. Özellikle kaynakları kısıtlı projelerde Wiest yönteminin uygulanmasında tek proje bazı çalışmalar yapılmıştır. Uygulamada kullanılacak olan Wiest yönteminin çoklu projelerde ne tür iyileşmeler veya sıkıntılar oluşturabileceği sorusuna cevap aramak amacıyla yapılan bu uygulamada projenin iş programlarının uygulanmasında Microsoft Project

yazılımından yararlanılarak oluşturulan CPM iş programları üzerinde KD yöntemlerinin özellikle Wiest Kaynak Dengeleme yönteminin uygulanabilirliği hedeflenmiştir.

2.1. Wiest Yöntemi

Wiest yöntemi, kaynak dengeleme problemlerini çözmeye yönelik pratik bir yaklaşım içeren ve özellikle CPM/PERT tabanlı iş planlaması yapılan projelerde kısıtlı kaynakların olması durumunda en uygun kaynak dengelemeye imkân sunan pratik bir yaklaşım önermektedir. Özellikle karmaşık bir projede yer alan hangi işlerin veya faaliyetlerin genel etkilerine göre daha yüksek öncelikli (veya kritik) olduğuna karar vermenin bir yolunu ortaya koyan bir yöntemdir. Ayrıca, zaman ve bütçe hedeflerini karşılamak için gereken tüm işler ve kaynaklar için ideal bir iş programı tasarlamaya yol ya da yollarını ortaya koyan bir yöntemdir.

J. D. Wiest tarafından geliştirilen (Wiest, 1967) ve daha sonra Azaron ve arkadaşları (Azaron A. vd., 2006) daha büyük, karmaşık ve uzun süreli inşaat projelerini analiz etmek, planlamak ve programlamak için kullanılan bu tekniğin geliştirilmesinde yer almışlardır.

Uygulamaya esas olan projelerde Wiest yöntemiyle kaynak dengeleme yapılırken sadece işgücü kaynağına göre dengeleme esas alınmıştır. Uygulama yapılırken Wiest yönteminin aşağıda sıralanan hususlara dikkat edilerek işgücü kaynak dengelemesi yapılmıştır:

- İlk olarak tüm aktivitelerin erken başlamaları hesaplanır ve her aktivitenin hangi gün ne kadar iş gücü gereksinimi duyduğu gösterilmelidir.
- Her işlemin en fazla gereksinim duyduğu iş gücü miktarı hesaplanmıştır.
- Projelere ait tüm aktivitelerin kaynaklarının en fazla olan bölgeleri bir birim aşağıya indirilmesi sağlanmıştır.
- Aktivite sıralaması sırasında işlem sırası göz önünde bulundurulmuş ve bunların tetikleme anında durdurulacağı öngörülmüştür.
- Bu işlem yapılarak sınırdaki veya sınırdan daha üstte bulunan aktiviteler belirlenmiştir.
- Sırası bozulmadan ve bitiş süreleri fazla uzamadan bu seviyenin üstündeki aktiviteler kaynak miktarları az olanlar üzere toplam bollukları ölçüsünde ötelemeler yapılmıştır.
- Diğer tüm aktivitelerin düzenlenmesi ve kaynak planlama grafiğine-tablosuna işlenmesiyle işlemler son işleme kadar devam edilmiştir.
- Eğer tekrar aşırı yüklenme yapılan aktiviteler varsa öteleme işlemine geri dönülmesi sağlanmıştır.

- Eğer tüm aktiviteler süresinde başarıyla tamamlanıyorsa tetikleme noktasını düşürmek için geri dönmüş ve işlem sürelerini ileriye ötelemeden vazgeçilmiştir.
- Eğer bu adımlarda başarısız olunursa en son yapılan düzenleme kabul edilerek işlemler tamamlanmış ve tetikleme seviyesinde eğer daha uygun bir durum yakalanamazsa son durum nihai sonuç kabul edilerek yeni iş programı ve zaman çizelgelemesi tamamlanmıştır.

Bu işlemler son işlem ötelemesine kadar her defasında tekrarlanır. Her denemede farklı sonuçlar elde edilmesi

kaçınılmazdır. Bu sebepten deneme sayısı artırılarak en uygun şartlar kabul seçilmelidir.

3. Uygulama

Çalışmada, uygulamaya esas olan projeler 3 adet olarak Eskişehir ilinde inşası düşünülen ve ruhsat aşamasında olan projelerden seçilmiştir. Birbirinden uzak parsellerde inşa edilecek bu projelerde kullanılması gerekli işgücü sayılarının belirlenebilmesi için bazı imalat miktarları proje üzerinden çıkarılmış, bazıları da piyasada sıklıkla kullanılan birim imalat miktarları ve adam/saat değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Kuruoğlu ve Bayoğlu, 2001). Projelere ait tahmini imalat miktarları Çizelge 2’de verilmiştir (Avdan, 2022).

Çizelge 2. Projelere ait Tahmini İmalatların Miktarları

İmalat Listesi	Birim İmalat Miktarları	Birim	Büyükdere Projesi	Şirintepe Projesi	Yenikent Projesi	Metraj Birimi
Betonarme Beton	0,38	m ³ /m ²	205.2	380,00	627,00	m ³
Betonarme Demiri	34,00	kg/m ²	18,36	34,20	56,10	ton
Kalıp	2,60	m ² /m ²	1404,00	2600,00	4290,00	m ²
Kalıp İskelesi	2,80	m ³ /m ²	1512,00	2800,00	4620,00	m ³
İş İskelesi	1,43	m ² /m ²	772.2	1430,00	2359.5	m ²
Tuğla Duvar	0,15	m ² /m ²	81,00	150,00	247.5	m ²
İç Sıva	2,40	m ² /m ²	1296,00	2400,00	3960,00	m ²
Dış Sıva	1,30	m ² /m ²	702,00	1300,00	2145,00	m ²
Tavan Sıvası	0,90	m ² /m ²	486,00	900,00	1485,00	m ²
Badana (İç)	3,00	m ² /m ²	1620,00	3000,00	4950,00	m ²
Fayans- Seramik	0,30	m ² /m ²	162,00	300,00	495,00	m ²
Ahşap Yapı + Karkas	0,15	m ² /m ²	81,00	150,00	247.5	m ²
Ahşap Pencere	0,12	m ² /m ²	64.8	120,00	198,00	m ²
Yağlı Boya	0,42	m ² /m ²	226.8	420,00	693,00	m ²
Mozaik Döşeme Kaplaması	0,90	m ² /m ²	486,00	900,00	1485,00	m ²

Yapımı üstlenen firmanın elindeki mevcut ve bu projede kullanacağı iş gücü kaynak miktarlarının kısıtlı olduğu kabul edilmiştir. İşgücü kaynaklarının kısıtlı olmadığı durum için oluşturulacak iş programları MS Project yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalarda gün de 8 saat, haftada 6 gün çalışma yapılacağı kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Kaynakların kısıtlılığı ile ilgili çalışma tamamen yüklenimi üstlenmiş olan firma öz kaynakları ve işgücü kaynaklarının durumuna göre belirlenmiş olup elde edilen İşgücü Kaynak Miktarları ortak iş gücü havuzu Çizelge 3’de gösterilmiştir.

Her imalatın toplam imalat süreleri bulunmuş ve bu süreler göre işgücü kaynakları kısıtlı olmadan iş programları oluşturulmuştur. Oluşturulan iş programların belli bir kısmı Çizelge 4’de verilmiştir.

İşgücü kaynaklarının kısıtlı olduğu durum dikkate alındığında; imalatların yapımında kullanılan işgücü kaynaklarına daha fazla ihtiyaç duyulacaktır. Fakat işgücü kaynaklarında kısıt kabul edildiğinde imalatlarda oluşan aşırı yüklenme yapılmış (fazladan kaynak ihtiyacı doğmuş) ve aynı zaman dilimi içerisinde başlayan imalatlarda işgücü miktarlarında oluşacak çakışmalar karşımıza çıkacaktır. Aşağıda Şekil 1’de görüldüğü üzere proje başlangıç tarihlerinin aynı olması sebebiyle projelerdeki başlangıç faaliyetlerinde başta olmak üzere birçok imalatın yapımında kullanılacak olan ortak kaynak havuzu kullanılması sebebiyle kırmızıyla işaretlenmiş çakışmalar yaşanmaktadır.

Çizelge 3. Üç Projede Kullanılacak İşgücü Kaynak Miktarları (Ortak İş gücü Havuzu)

Kaynak Adı	KAYNAK SINIRSIZ Adet	KAYNAK KISITLI Adet
Kalıp Ustası	5	3
Demir Ustası	9	3
Duvar Ustası	8	4
Düz işçi	6	1
Ekskavatör	3	1
Kamyon	6	2
Elektrik Ustası	5	2
Sıva Ustası	8	4
Şap Ustası	5	2
Çatı Oluk Ustası	3	2
Tesisat Ustası	4	2

Çizelge 4. Projeye Ait İşgücü Kaynak Kısıtlı Olmadan Yapılan İş programları

Görev Adı	Büyükdere Projesi			Şirintepe Projesi			Yenikent Projesi		
	Süre	Başlangıç	Bitiş	Süre	Başlangıç	Bitiş	Süre	Başlangıç	Bitiş
PROJE	79 gün	01.04.22	20.07.22	101 gün	01.04.22	19.08.22	149 gün	01.04.22	26.10.22
KABA İMALATLAR	73 gün	01.04.22	12.07.22	96 gün	01.04.22	12.08.22	149 gün	01.04.22	26.10.22
Temel	13 gün	01.04.22	19.04.22	24 gün	01.04.22	04.05.22	32 gün	01.04.22	16.05.22
Eski Binanın Yıkım İşleri	1 gün	01.04.22	01.04.22	5 gün	01.04.22	05.04.22	8 gün	01.04.22	08.04.22
Hafriyat	2 gün	04.04.22	05.04.22	5 gün	10.04.22	14.04.22	6 gün	15.04.22	20.04.22
Temel tesviye betonu dökümü	1 gün	08.04.22	08.04.22	2 gün	20.04.22	21.04.22	3 gün	27.04.22	29.04.22
Temel Yalıtımı	1 gün	01.04.22	01.04.22	2 gün	18.04.22	18.04.22	3 gün	24.04.22	26.04.22
Temel Donatı İşleri	3 gün	11.04.22	13.04.22	4 gün	22.04.22	25.04.22	5 gün	02.05.22	06.05.22
Temel Kalıp işleri	2 gün	12.04.22	13.04.22	3 gün	26.04.22	28.04.22	4 gün	05.05.22	10.05.22
Temel betonu	1 gün	15.04.22	15.04.22	1 gün	02.05.22	02.05.22	1 gün	12.05.22	12.05.22
Mekanik Malzeme Dolgu	1 gün	18.04.22	18.04.22	1 gün	03.05.22	03.05.22	1 gün	13.05.22	13.05.22
Bodrum Kat	23 gün	20.04.22	20.05.22	23 gün	05.05.22	06.06.22	31 gün	17.05.22	28.06.22
....
Zemin Kat	24 gün	09.05.22	09.06.22	30 gün	24.05.22	04.07.22	32 gün	08.06.22	21.07.22
1. Kat	24 gün	27.05.22	29.06.22	44 gün	14.06.22	12.08.22	32 gün	01.07.22	15.08.22
2. Kat	Bu projede 2. ve 3. kat yoktur.			15 gün	04.07.22	22.07.22	20 gün	26.07.22	22.08.22
3. Kat	Bu projede 2. ve 3. kat yoktur.			Bu projede 3. kat yoktur.			27 gün	18.08.22	23.09.22
Dubleks Mansart Katı	13 gün	16.06.22	04.07.22	8 gün	25.07.22	03.08.22	19 gün	06.09.22	30.09.22
Çatı	6 gün	05.07.22	12.07.22	8 gün	03.08.22	12.08.22	14 gün	03.10.22	20.10.22
İNCE İMALATLAR	12 gün	05.07.22	20.07.22	13 gün	03.08.22	19.08.22	18 gün	03.10.22	26.10.22

Açıklama: Kaba imalatlar ana iş gurubundan Temel imalatlar Grubunun detayları bu çizelgede ayrıntılı gösterilmiş olup diğer ana imalat gruplarının detayları gösterilmemiştir.

4. Bulgular

WIEST Kaynak Dengeleme Yöntemi kullanılarak ortak işgücü kaynak havuzunda mevcut olan kaynakların dengeleme yapılmadan ve yapıldıktan sonra oluşan işgücü kaynaklarına göre yapılan iş programlarına değişme olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum proje sürelerinin artmasına neden olmuştur. Çizelge 4'de gösterilen dengeleme yapmadan önceki proje iş süreleri ile Çizelge 5'de gösterilen dengeleme yapıldıktan sonraki proje iş sürelerindeki değişim miktarları aşağıda Çizelge 6'de gösterilmiştir.

Çizelge 6. WIEST Kaynak Dengeleme Yöntemi Kullanılmasından Öncesindeki ve Sonrasındaki Proje Sürelerindeki Değişim

Proje Adı	Dengeleme Öncesi	Dengeleme Sonrası	Fark
Büyükdere Projesi	79 gün	101 gün	22 gün
Şirintepe Projesi	101 gün	119 gün	18 gün
Yenikent Projesi	149 gün	180 gün	31 gün

Proje sürelerinde oluşan değişimler dikkate alındığında oluşan ötelemeler sonunda 3 farklı proje için oluşturulan şantiyelerin bu süreler kadar daha aktif olarak çalışması gerektiği bunun da şantiye işletme giderlerinin artmasına yol açacağı görülmektedir. Şantiye işletme giderlerinde oluşan toplam proje maliyetlerine gelen fazladan maliyet yükleri piyasa şartlarına bağlı olarak hesaplandığında oluşan maliyet artışları Çizelge 7'de gösterilmiştir. Bu çizelgede hesaplanan değerlerin elde edilmesinde kullanılan günlük şantiye işletme giderleri yüklenimi üstlenen firmanın daha öndeki yapmış olduğu işlerden elde ettikleri değerler kullanılarak (Projelerin başlangıç ayı göre değil 2022 yılı Haziran ayına karşılık olarak) yaklaşık değerler alınmış olup Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat Birim Fiyatları kullanılmamıştır.

Çizelge 7. Şantiye Giderlerinde Oluşabilecek Maliyet Artışları

Proje Adı	Proje Süresindeki Artış	Günlük Şantiye Giderleri	Maliyet Artışları
Büyükdere Projesi	22 gün	450 TL/gün	9900 TL
Şirintepe Projesi	18 gün	600 TL/gün	10800 TL
Yenikent Projesi	31 gün	750 TL/gün	23250 TL

Proje sürelerinde artış olması sebebiyle şantiye genel giderlerinde artış olması uygulamada sanki maliyetleri artıran unsur olmasına rağmen kaynakların kısıtlı tutulmasından kaynaklı olduğunun unutulmaması gerekir. Hâlbuki kaynaklar kısıtlı olmadan yapılan planlamada daha fazla kaynak kullanılması durumu maliyeti artırdığını gözlemleyebiliriz. Kaynakların kısıtlı

olması durumunda atıl kaynak kullanmak yerine mevcut elde olan kaynakları kullanmanın avantajlı olduğunu WIEST Kaynak Dengeleme Yöntemi uygulandıktan sonra görebilmekteyiz. Çizelge 8'de kaynak kısıtlı olmadan ve kaynak kısıtlı olması durumunda yani WIEST Kaynak Dengeleme Yöntemi uygulamadan önceki ve sonraki durum için yapılan temel grubunu oluşturan imalatlarda ortaya çıkan maliyet azalışları gösterilmiştir.

Kaynakların kısıtlı tutulması ve bu kaynaklarla imalatların yapılabilme sürelerinin yeniden hesaplanmasıyla oluşturulan ve Çizelge 8'de gösterilen sonuçlara göre; temel grubu imalatları için dengeleme öncesi 465450 TL'lik işgücü ve şantiye genel gider maliyeti hesaplanmıştır. Bu şantiyeler arasında ortak işgücü kaynaklarının transferi için Eskişehir ili özelinde bir ek maliyet oluşturmadığı öngörülmüştür. Dengeleme sonrasında aynı grup imalatlarda 129700 TL'lik bir işgücü ve şantiye genel giderlerinde azalma olduğu hesaplanmıştır. Buna göre sadece temel grubu imalatlarında yaklaşık %27,88'lik bir maliyet azalması olduğu görülmektedir. Bu hesaplanan oranın sadece kaba inşaat kısmında olan maliyet azalmaları olduğuna dikkate edilmelidir. Tüm imalatlar noktasında bakıldığında bazı imatatlardaki işgücü maliyetlerin arttığı ancak genelde duruma göre ilk proje maliyetlerine göre önemli bir oranda maliyet azalması sağladığı görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

İnşaat sektörü maliyet ve süre bakış açısından en fazla proje yönetim unsurlarına önem verilmesi gereken bir sektördür. Özellikle kısıtlı kaynaklar ile gerçekleştirilecek olan projeler inşaat projeleridir. Üstelik proje sayısı arttığında ve ortak kaynakların kullanılması durumunda zaten karmaşık yapıda olan ve birçok iş ağının birbirine geçtiği inşaat sektöründe bu kaynakların projelere tahsisi, maliyet ve zaman açısından çok büyük önem arz etmektedir. Üstelik çok sayıda projenin aynı yüklenim altında ve aynı zamanda gerçekleştirilmesinde ortak kaynak havuzlarının kullanımını proje maliyetlerine ve sürelerine yapacağı olumsuz etkilerinin araştırılması ve yeni çözüm teknikleriyle proje yönetim unsurları oluşturulması gerekmektedir.

WIEST Kaynak Dengeleme yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmaya konu olan uygulamada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Kaynak kısıtlı olmayan projelerde kullanılan özellikle işgücü kaynaklarının kısıtlı olmadığı durumlarda şantiye genel giderlerinin daha da arttığı görülmektedir.

Çizelge 8. WIEST Kaynak Dengeleme Yöntemi Uygulamadan Önceki ve Uygulamadan Sonraki Bazı İmalatlarda Oluşan Maliyet Değişimleri

WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANMADAN ÖNCE (KAYNAK KISITI OLMADAN)									
İmalat	Toplam Süre	Kullanılan Kaynaklar	Kaynak Kullanım Günlük Giderler	Maliyet	Şantiye Günlük Giderleri	Şantiye Genel Giderleri	Toplam	Maliyet Azalması	
Hafriyat	Büyükdere 2 gün	3 Ekskavatör 6 Kamyon	1800 TL/gün (adet) 1300 TL/gün (adet)	70200 TL 101400 TL	Büyükdere 450 TL/gün	900 TL	180000 TL	48950 TL	
	Yenikent 5 gün				Şirintepe 600 TL/gün	3000 TL			
	Yenikent 6 gün				Yenikent 750 TL/gün	4500 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANDIKTAN SONRA (KAYNAK KISITLI)									
Hafriyat	Büyükdere 5 gün	1 Ekskavatör 2 Kamyon	1800 TL/gün (adet) 1300 TL/gün (adet)	46800 TL 67600 TL	Büyükdere 450 TL/gün	2250 TL	131050 TL		
	Yenikent 9 gün				Şirintepe 600 TL/gün	5400 TL			
	Yenikent 12 gün				Yenikent 750 TL/gün	9000 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANMADAN ÖNCE (KAYNAK KISITI OLMADAN)									
Yıkım İşleri	Büyükdere 1 gün	3 Ekskavatör 6 Kamyon	1800 TL/gün (adet) 1300 TL/gün (adet)	75600 TL 109200 TL	Büyükdere 450 TL/gün	450 TL	194250 TL		67900 TL
	Yenikent 5 gün				Şirintepe 600 TL/gün	3000 TL			
	Yenikent 8 gün				Yenikent 750 TL/gün	6000 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANDIKTAN SONRA (KAYNAK KISITLI)									
Yıkım İşleri	Büyükdere 5 gün	1 Ekskavatör 2 Kamyon	1800 TL/gün (adet) 1300 TL/gün (adet)	45000 TL 65000 TL	Büyükdere 450 TL/gün	2250 TL	125350 TL		
	Yenikent 6 gün				Şirintepe 600 TL/gün	3600 TL			
	Yenikent 14 gün				Yenikent 750 TL/gün	10500 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANMADAN ÖNCE (KAYNAK KISITI OLMADAN)									
Temel Grobeton	Büyükdere 1 gün	6 Kalıp Ustası	500 TL/gün	18000 TL	Büyükdere 450 TL/gün	450 TL	21900 TL	450 TL	
	Yenikent 2 gün				Şirintepe 600 TL/gün	1200 TL			
	Yenikent 3 gün				Yenikent 750 TL/gün	2250 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANDIKTAN SONRA (KAYNAK KISITLI)									
Temel Grobeton	Büyükdere 2 gün	3 Kalıp Ustası	500 TL/gün	15000 TL	Büyükdere 450 TL/gün	900 TL	21450 TL		
	Yenikent 3 gün				Şirintepe 600 TL/gün	1800 TL			
	Yenikent 5 gün				Yenikent 750 TL/gün	3750 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANMADAN ÖNCE (KAYNAK KISITI OLMADAN)									
Temel Yahtım	Büyükdere 1 gün	3 Düz İşçi	350 TL/gün	6300 TL	Büyükdere 450 TL/gün	450 TL	10200 TL		250 TL
	Yenikent 2 gün				Şirintepe 600 TL/gün	1200 TL			
	Yenikent 3 gün				Yenikent 750 TL/gün	2250 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANDIKTAN SONRA (KAYNAK KISITLI)									
Temel Yahtım	Büyükdere 2 gün	1 Düz işçi	350 TL/gün	3500 TL	Büyükdere 450 TL/gün	900 TL	9950 TL		
	Yenikent 3 gün				Şirintepe 600 TL/gün	1800 TL			
	Yenikent 5 gün				Yenikent 750 TL/gün	3750 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANMADAN ÖNCE (KAYNAK KISITI OLMADAN)									
Temel Kalıp	Büyükdere 2 gün	5 Kalıp Ustası	500 TL/gün	22500 TL	Büyükdere 450 TL/gün	900 TL	28200 TL	6750 TL	
	Yenikent 3 gün				Şirintepe 600 TL/gün	1800 TL			
	Yenikent 4 gün				Yenikent 750 TL/gün	3000 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANDIKTAN SONRA (KAYNAK KISITLI)									
Temel Kalıp	Büyükdere 2 gün	3 Kalıp Ustası	500 TL/gün	15000 TL	Büyükdere 450 TL/gün	900 TL	21450 TL		
	Yenikent 3 gün				Şirintepe 600 TL/gün	1800 TL			
	Yenikent 5 gün				Yenikent 750 TL/gün	3750 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANMADAN ÖNCE (KAYNAK KISITI OLMADAN)									
Temel Donatı	Büyükdere 1 gün	9 Demirci Ustası	500 TL/gün	27000 TL	Büyükdere 450 TL/gün	450 TL	30900 TL		5400 TL
	Yenikent 2 gün				Şirintepe 600 TL/gün	1200 TL			
	Yenikent 3 gün				Yenikent 750 TL/gün	2250 TL			
WIEST KAYNAK DENGELEME YÖNTEMİ UYGULANDIKTAN SONRA (KAYNAK KISITLI)									
Temel Donatı	Büyükdere 3 gün	3 Demirci Ustası	500 TL/gün	18000 TL	Büyükdere 450 TL/gün	1350 TL	25500 TL		
	Yenikent 4 gün				Şirintepe 600 TL/gün	2400 TL			
	Yenikent 5 gün				Yenikent 750 TL/gün	3750 TL			

- Kaynakların kısıtlı olmadığı durumlar için yapılan proje iş programlarında fazla kaynak kullanımının proje sürelerinin azalmasına imkân sağlamasına karşılık fazladan kaynak kullanımının maliyeti artırdığına işaret etmektedir. Tekli proje bazlı çalışmalarda yapılan uygulamalara bakıldığında süre ve maliyet açısından önemli faydalar elde edildiği bilinmektedir. Ancak çoklu projelerin aynı kaynaklarla ve aynı zamanlarda gerçekleştirilmesinde de bu faydaların elde edileceği konusunda yeterli çalışma olmadığını görmekteyiz.
- Buna karşılık kaynakların kısıtlı olması durumunda ise şantiye genel giderlerinde önemli derecede azalmalar sağlandığı görülmektedir.
- Uygulamada kullanılan kaynakları kısıtlı projelerde, WIEST Kaynak Dengeleme Yöntemi ile dengeleme yapıldığında; iş gücü maliyeti açısından fayda sağlasa da şantiye genel tamamlanma sürelerini arttırdığı görülmüştür. Sürelerin artmasına karşılık 3 proje için kullanılan kaynaklarının ortak olarak kullanılması ve kısıtlı olması halinde bile proje maliyetlerinde azalma sağladığı da görülmektedir.
- Bu çalışmadaki uygulamaya esas projeler benzer nitelikte konut tipi yapı projeleridir. Bu projelerin süre ve maliyet açısından küçük ölçekli projeler olması belki burada süre uzamasına karşın maliyetlerde azalma sağlamış olsa da, büyük projelerde bu durumun aynı olacağı söylenemez. Hatta konut tipi bina yapım projeleri dışında büyük ve kapsamlı birden çok projenin aynı anda ve aynı kaynakların kullanımıyla gerçekleştirilmesi durumunda da aynı faydaları vereceği konusu araştırılması gerekir. Çünkü büyük ölçekli projelerde oluşacak olan şantiye genel giderlerinin daha fazla olacağı, projelerin sürelerinin artması belki de proje maliyelerinin artabileceği durumu göz ardı edilmemelidir.
- Yapılan uygulamaya esas olan projelerin her ne kadar küçük ölçekli projeler olsa da kendi içlerinde kıyaslandığında küçük, orta ve büyük 3 proje olduğu dikkate alındığında, ilk başlangıç olarak küçük, orta ve büyük sıralaması dikkate alınarak projelerin ortak kaynak havuzu kullandıkları ve kaynakların kısıtlı çalışmada kullanılan projeleri kendi içlerinde büyük, orta ve küçük sıralaması dikkate alınarak bir kaynak dengeleme uygulaması yapılmamıştır. Eğer yapılmış olsa belki de daha faydalı bir çalışma karşımıza çıkabilir, daha olumlu sonuçlar alınabilmesi beklenmelidir.
- Çalışma sonucunda elde edilen bulgular ışığında WIEST Kaynak Dengeleme yöntemiyle daha uygun bir proje yönetimi gerçekleştirilebileceği görülmektedir.
- Özellikle çoklu inşaat projelerinde kaynakların kısıtlı olması ve ortak kaynak havuzu kullanılacak projelerde işgücü kaynaklarının daha verimli kullanılması noktasında önemli faydalar sağladığı görülmektedir.
- Özellikle proje sürelerinde artış olmasına rağmen şantiye genel giderlerinde artış olmasına rağmen proje imalatların büyük bir kısmında maliyet azalması sağladığı, proje genel maliyeleri noktasında özellikle işgücü kaynaklarının maliyetlerin azalma sağladığı,

daha verimli ve etkin bir şantiye iş programları oluşturulabileceği görülmektedir.

- Daha büyük ölçekli ve konut dışı projeler için özellikle çoklu projeler için aynı zaman diliminde ve aynı kaynakların kullanıldığı projelerde fayda sağlayabileceği konusunda yeni araştırmalar yapılmalıdır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Osman Mert AVDAN, bilimsel yayın araştırması, veri toplama, makalenin oluşturulması; Osman AYTEKİN ve Hakan KUŞAN, araştırma tasarımı ve uygulanması ile makalenin genel kontrolünün yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Wiest, J. D., (1967), "A Heuristic Model for Scheduling Large Project with Limited Resources", *Management Science*, Vol.13, Issue 6, pp.359-377.
- Hiyassat, M. A. S., (2000), "Modification of Minimum Moment Approach in Resources Leveling", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.126, Issue 4, pp.278-284-377.
- Christodoulou, S. E., Ellinas, G., and Michaelidou-Kamenou, A. (2010). "Minimum Moment Method for Resource Leveling Using Entropy Maximization", *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(5), pp. 518-527.
- Rieck J., Zimmermann J., Gather T., (2012) "Mixed-integer linear programming for resource leveling problems", *European Journal of Operational Research*, 221 (1), pp. 27-37.
- Iranagh M.A., and R. Sonmez, (2012), "A Genetic Algorithm for Resource Levelling of Construction Projects", *Proceedings of the 28th Annual ARCOM Conference (2012)*, pp. 1047-1054
- Yıldırım, E. Ergün, Ö. H. Bettemir, (2016), "Bina Bilgi Modeli Destekli Kaynak Dengeleme Uygulaması Örneği" 4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 3 - 5 Kasım 2016 Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- Soysal S., Dengiz B. ve Atalay, K. D., (2021), "Belirsizlik Altında Kaynak Kısıtlı Çok Modlu Çoklu Proje Çizelgeleme", *Journal of the Turkish Operations Management (JTOM)*, VI. 5, Issue 2., pp. 598,614.

- Qiao, Jianfeng & Li, Yu. (2018). "Resource Leveling Using Normalized Entropy and Relative Entropy". *Automation in Construction*. Vol 87. Issue March 2018, pp. 263-272.
- Erdoğan O., (2021), "Kaynak Kısıtlı İnşaat İşlerinde İşgücü Planlaması ve Kaynak Dengelenmesi", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,, 67 syf.
- Ponz-Tienda, J., Salcedo-Bernal, A., Pellicer, E., Benlloch-Marco, J., (2017), "Improved Adaptive Harmony Search Algorithm for The Resource Leveling Problem with Minimal Lags", *Automation in Construction*, Vol. 77, pp. 82-92.
- Azaron, A., Katagiri, H., Sakawa, M., Kato, K., & Memariani, A., (2006), "A Multi-Objective Resource Allocation Problem in PERT Networks", *European Journal of Operational Research*, Vol. 172, s. 815-830.
- Kuruoğlu, M., Bayoğlu, F.İ., (2001) "Yapı Üretiminde Adam-Saat Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma ve Sonuçları", 16. İnşaat Mühendisliği Teknik Kongresi, Ankara, No:65
- Avdan O. M., (2022), "Çoklu İnşaat Projeleri İçin Kaynak Tahsis Modelleri", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,, 58 syf.