

T.C.
İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ İLE
KULE VİNC KONUMU VE MALZEME TEDARİK
NOKTASININ BELİRLENMESİNİN PROJEYE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şener BAŞTAN

2200006592

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Program: Proje Yönetimi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet N. UĞURAL

EYLÜL 2024

T.C.
İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ İLE
KULE VİNÇ KONUMU VE MALZEME TEDARİK NOKTASININ
BELİRLENMESİNİN PROJEYE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şener BAŞTAN
2200006592

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Program: Proje Yönetimi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet N. UĞURAL

Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Mehmet N. UĞURAL

Prof. Dr. Fatma Heyecan GİRİTLİ

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet TUZ

EYLÜL 2024

ÖNSÖZ

İnşaat projelerinde işler hızlıca, mümkün olan en yüksek verimlilikle, hedeflenen kalitede tamamlanmak istenir. Her aşama buna hizmet eder. İşlerliği en fazla olan iş makinelerinden biri kule vinçlerdir.

Şantiyelerde en çok iş yapan makine olan kule vinç, malzeme taşıma maliyeti açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle her şantiyede kurulacak olan kule vinçlerin konumu, o şantiyenin iş programına uygun ilerleyişini önemli ölçüde etkiler. Bu etkiyi olumlu olarak tasarlamak, tecrübe ve ihtiyaçlar doğrultusunda gereklidir. Kule vinçlerin malzeme temin etmesi için ideal konumda olması gerekir. Bu, çok defa ölçülüp biçilen bir değeri göz ardı etmemek gerektiğini vurgular. Aksi takdirde iş programında kaçınılmaz aksaklıklara yol açabilir. Bu planlama talep-arz doğrultusunda çalışma ile tasarlanmalıdır. Bu çalışmada, kule vinç konumunun projeye etkisi incelenmiştir. Projelerin hızını ve verimliliklerini arttırmaya katkı sağlanması, sektördeki ilgili paydaşlara önemli bir kaynak oluşturması amaçlanmaktadır.

Tez çalışmam sırasında bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan, ilgisini ve önerilerini paylaşan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Mehmet Nurettin Uğural'a çok teşekkür ederim. Yaşantım boyunca her zaman yanımda olan ve bana maddi manevi her türlü desteği sağlayan kıymetli anneme, babama, kardeşlerime, canım aileme, değerli hocalarıma ve sevgili arkadaşlarıma müteşekkirim. Sevgi ve saygılarımı sunarım.

Eylül 2024

Şener Baştan

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
SİMGE LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Araştırma Sorusu ve Araştırma Hipotezleri	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMASI.....	2
2.1 Literatür Taraması	2
2.1.1 Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yöntemi.....	3
2.1.2 GıS –Bım Yazılımında Kule Vinç Konumu Optimize Yöntemi.....	3
2.1.3 Kule Vinç Konumu Optimizasyonu Genetik Algoritma Yöntemi	3
2.1.4 Kule Vinçlerin Örtüşen Alan Planlaması ve Süreç Simülasyonu.....	4
2.2 Kavramsal Çerçeve	5
2.2.1 Şantiye İçin Malzemesi Tedarik Alanı	5
2.2.2 Şantiye Demir Tezgâh ve Kalıp Alanı	5
2.2.3 Şantiye Malzeme Talep Alanları	6
2.2.4 Kule Vinç Kapasitesinin Belirlenmesi.....	6
2.2.5 Kule Vinç Çalışma Alanı.....	9
3. YÖNTEM.....	15
3.1 Mevcut Proje Bilgileri.....	15
3.2 Mevcut Projedeki Kule Vinç Kapasiteleri	16

3.3 Mevcut Kule Vinç Çalışma Alanı	17
3.4. Mevcut Kule Vinç Birim Maliyeti	18
3.5. Kule Vinç Konum İçin Yapılan Kabuller	19
3.6 Yöntemin Matematiksel Formülasyonları.....	21
3.7 Kule Vinç Hareket Süresinin Hesaplanması	23
3.8 Modelin Giriş Verilerinin Gösterimi.....	27
3.9 Modelin Veri İşleme Yöntemi	34
4. BULGULAR.....	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
6. KAYNAKLAR	41
EK -1 GELİŞTİRİLEN ALGORİTMANIN SÖZDE KODU.....	43
EK-2 MEVCUT PROJE BLOK VERİ GİRİŞLERİ (A- B- C- D).....	44

KISALTMALAR

L(R) : Kule Bom Uzunluğu

İ : Malzeme stok alanı sayısı

J: Şantiyede talep alanı sayısı

K: Sahadaki mevcut kule vinç pozisyonlarının sayısı

S: Toplam malzeme sayısı

N: Kule vinç türlerinin toplam sayısı

M: Büyük bir rastgele tam sayı

P_n: n tipi kule vincinin kapasitesi

L_n: n tipi için kule vincinin kolunun maksimum erişimi

W_s: Malzemenin ağırlığı

K: Sahadaki mevcut kule vinç pozisyonlarının sayısı

k: Bir kule vinç konumu

n: Kule vinç tipi

i: Malzeme alanı

j ; talep noktası

C^t_n: n tipi kule vincinin operatör ücreti, enerji tüketim maliyeti ve bakım gibi birim zaman başına işletme maliyetlerin toplamı

C^r_n: n tipi kule vincinin belirli bir süre için kiralama maliyeti

A_j: j talep noktasında boşaltılacak olan malzeme ağırlık seti

C_{sikn}: Malzemenin stok alanından önceden belirlenmiş talep noktasına k konumundaki kule vinci tipi n ile aktarılması için kule vinci işletme maliyeti

Y_{kn}: n tipi kule vinç k konumuna yerleştirildiğinde “1”e eşit olan ikili tipte bir değişken ve aksi takdirde sıfır kabul edilir.

Z_{si}: Malzemesi stok noktasında depolanıyorsa “1”e eşit olan ikili tipte bir değişken ve aksi takdirde sıfır kabul edilir.

X_{sikn}: Amaç fonksiyonunun birincil ikili tip değişkeni; burada "1", malzemenin tedarik noktası i'den önceden belirlenmiş talep noktasına k konumunda n tipi kule vinç tarafından taşındığı, aksi takdirde sıfır olduğu anlamına gelir.

BIM: Yapı bilgi modelleme

CAD: bilgisayar destekli modelleme

GIS: Coğrafi bilgi sistemi

$(x_i; y_i; z_i)$: i konumundaki bir stok noktasının koordinatları

$(x_j; y_j; z_j)$: j noktasındaki bir talep noktasının noktası koordinatları

$(x_k; y_k; z_k)$: k konumundaki bir kule vincin konumunun koordinatları

D_{ik} : Stok noktası ile k konumundaki kule vinç arasındaki mesafe

D_{jk} : Talep noktası ile k konumundaki kule vinç arasındaki mesafe

D_{ij} : Stok noktası ile talep noktası arasındaki mesafe

V_h : Kule vinçin kancasının dönüş hızı

V_ω : Kule vinç bomunun dönüş hızı

V_r : Radyal hız

$T^k_{r(i;j)}$: Malzemeyi i stok noktasından j talep noktasına aktarmak için k konumundaki kule vincinin radyal hareket süresi

$T^k_{\omega(i;j)}$: Malzemeyi i stok noktasından j talep noktasına aktarmak için k konumundaki kule vincin teğetsel hareket süresi

$T^k_{h(i;j)}$: Malzemeyi aktarmak için noktasından talep noktasına stok k noktasındaki kule vincinin yatay hareket süresi

$T^k_{v(i;j)}$: Malzemeyi aktarmak için noktasından talep noktasına stok k noktasındaki kule vincinin dikey hareket süresi

$T^k_{(i;j)}$: Kule vincin k noktasındaki kancasının malzemeyi aktarmak için toplam hareket süresi

α : Kule vinci operatörünün becerisine göre kancanın radyal ve teğetsel hareketi arasındaki koordinasyonun derecesini gösteren parametre.

β : Yatay ve dikey düzlemlerde kanca hareketinin koordinasyon derecesini gösteren parametre .

γ_k : K noktasında bulunan kule vinci için kanca hareketinin kontrol edilmesindeki zorluk derecesini gösteren parametre.

SİMGE LİSTESİ

Dk	: Dakika
m	: Metre
m²	: Metrekare
tn	: Tonmetre
m/dk	: Metre / Dakika
rad/dk	: Radyan/Dakika
tl (T)	: Türk Lirası
t	: Ton
kg	: Kilogram
%	: Yüzde

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 Kule Vinç Model Seçim Belirlenmesi	7
Tablo 2 Mevcut Projedeki Kule Vinç Değerleri.....	16
Tablo 3 154 ech 6 ve 160 Lcb 6 Litronic Kule Vinç Birim Maliyet Tablosu.	19
Tablo 4 A Blok Tedarik Alanı Noktaları Koordinatları	29
Tablo 5 A Blok Talep Alanı Noktaları Koordinatları.	29
Tablo 6 A Blok Kule Vinç Konum Koordinatları.	30
Tablo 7 B Blok Kule Vinç, Tedarik ve Talep Noktaları Koordinat Değerleri.	32
Tablo 8 C Blok Kule Vinç, Tedarik ve Talep Noktaları Koordinat Değerleri.	33
Tablo 9 D Blok Kule Vinç, Tedarik ve Talep Noktaları Koordinat Değerleri.	34
Tablo 10 A Blok Genel Sonuçlar.	35
Tablo 11 A Blok Optimum Sonuç.....	35
Tablo 12 Modelin Kontrolü.....	36
Tablo 13 B Blok Sonuç Tablosu.	36
Tablo 14 C Blok Sonuç Tablosu.	37
Tablo 15 D Blok Sonuç Tablosu.	37
Tablo 16 Seçilen Optimal Global Sonuç.	38

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1	154ECH 6 Litronic Kule Vinç Bom Uç Kaldırma Kapasitesi.....	8
Şekil 2	Talep – (Stok) Tedarik Bölgesine Göre Kule Vinç Konumu	10
Şekil 3	Kule Vinç İlk Kurulum Yükseklik.	13
Şekil 4	Kule Vinçlerin Son Yükseklikleri.	14
Şekil 5	Mevcut Projenin Vaziyet Planı.....	16
Şekil 6	Mevcut Kule Vinç Çalışma Alanı	18
Şekil 7	Tedarik ve Talep Alanı Bölgesi.	20
Şekil 8	Kanca Yatay ve Düşey Hareketleri.....	25
Şekil 9	154- ECH -6 Litronic Kule Vinç Dikey Kaldırma Hızı	26
Şekil 10	A Blok Vaziyet Planı Üzerinden Koordinatlandırma.....	28
Şekil12	A-B-C-D Bloklar Kule Vinç, Tedarik ve Talep Noktaları Koordinatlandırma	31

Üniversite	: İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitü	: Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	: İnşaat Mühendisliği
Programı	: Proje Yönetimi
Danışmanı	: Doç. Dr. Mehmet N. UĞURAL
Tez Türü ve Tarihi	: Yüksek Lisans Tezi –Eylül 2024

ÖZET

TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ İLE KULE VİNÇ KONUMU VE MALZEME TEDARİK NOKTASININ BELİRLENMESİNİN PROJEYE ETKİSİ

İnşaat projelerinde kule vinçler en önde gelen temel iş makinesidir. Bu iş makinelerinin konumunun belirlenmesi, saha mobilizasyonunun en önemli kısmıdır. Kule vinç, projenin tamamlanma süresini ve maliyetini azaltan en etkili iş makinesidir. Bu nedenle kule vinç konumunun da uygun noktada olması gereklidir.

Bu çalışmanın amacı, kule vinç konumunun projede en ideal noktada konumlandırmaya yönelik bir yaklaşım önermektir. Kule vinç konum yerleşiminde yapı ve malzeme tedarik alanlarına göre konumlandırılmalıdır.

Kule vinçlerin konumu ve tedarik noktasını optimize ederek belirlemek için Python 3.x sürümü yazılımından yararlanılmıştır. Python 3.x yazılımında hazırlanan tam sayılı doğrusal programlama modeli ile kule vinç ve malzeme tedarik noktası optimize edilmiştir. Bu programlama modeli ile en uygun maliyetli kule vinç konumu ve tedarik noktası belirlenmiştir.

Önerilen yaklaşımın kule vinç konumu ve tedarik noktasını en ideal şekilde optimize etmiştir. Mevcut projede kule vinçlerin konumu, deneyim ve eğitime dayalı olarak tasarlanmıştır. Kule vinç konumu tam sayılı doğrusal programlama kullanılarak belirlendiğinde mevcut projedeki konumla karşılaştırıldığında zaman ve maliyet kaybının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Programlama sonucu oluşturulan yeni konumun

mevcut projedeki kule vinç konumlarına göre maliyet bazında % 1.092 tasarruf sağlandığı görülmüştür.

Kule vinçler, örtüşen çalışma bölgeleriyle zaman, maliyet ve iş gücü kısıtlamaları altında çalışır. Kule vinçlerin sayısını doğru belirlemek, kule vinç konumu projenin başarısı için önemli bir konudur. Bu sorunun deneyim ve eğitime bağlı olarak çözülmek istenmesi projenin iş gücü kaybına, verimin düşmesine, sürenin uzamasına ve böylelikle maliyetin artmasına sebep olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnşaat Proje Yönetimi, Kule Vinç, Python Yazılımı, Optimizasyon, Tam sayılı doğrusal programlama



University : Istanbul Kültür University
Institute : Institute Of Graduate Of Studies
Department : Civil Engineering
Programme : Project Management
Thesis Supervisor : Assist. Professor Dr. Mehmet Nurettin UGURAL
Thesis Type and Date : MA Thesis –September 2024

ABSTRACT

THE EFFECT OF DETERMINING TOWER CRANE LOCATION AND MATERIAL SUPPLY POINT USING THE INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL ON THE PROJECT

Tower cranes in construction projects are the leading basic construction machinery. Determining the position of these construction machinery is the most important part of field mobilization. Tower crane is the most effective construction machine that reduces the completion time and cost of the project. Therefore, the tower crane position must be at the appropriate point.

The aim of this study is to propose an approach to positioning the tower crane position at the ideal point in the project. The tower must be positioned according to structure and material supply areas in the crane location placement.

Python 3.x version software was used to optimize the location and supply point of the tower cranes. The tower crane and material supply point is optimized with the integer linear programming model prepared in Python 3.x software. With this programming model, the most costly cost tower crane position and supply point were determined.

The tower crane position and supply point of the proposed approach has optimized the most ideally way. The location of the tower cranes in the current project is designed based on experience and education. When the tower crane position is determined using complete linear programming, it was determined that time and cost loss occurred compared to the position in the current project. The new location created

as a result of programming has been found to save 1,092 % in cost based on the Tower Crane locations in the current project.

Tower cranes work with overlapping working areas under time, cost and labor restrictions. To determine the number of tower cranes correctly, the tower crane location is an important issue for the success of the project. The desire to solve this problem depending on the experience and education leads to the loss of labor of the project, the decrease in yield, the prolongation of the period and thus increasing the cost.

Key Words: Construction Project Management, Tower Crane, Python Software, Optimization, full number line place programming



1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, şantiyelerde kule vinçlerin konumunun ve tedarik noktasını optimize etmek için bir yaklaşım önermektir. Kule vinç konum ve tedarik noktası, proje süresi ve maliyeti için önemlidir. çalışmada python 3.x yazılımıyla bir optimizasyon uygulaması yapılmıştır.

Tam sayılı doğrusal programı, optimize problemlerini çözmek için kullanılan güçlü bir matematiksel programlama kodlamasıdır. Diğer yazılımlar ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bu çalışmada tam sayılı doğrusal yazılımı kullanılarak kule vinçlerin konumu ve sayısı belirlenmiştir.

Böylelikle kule vinç konumları ve sayısı optimize edilmiştir. Optimize edilen kule vinç konum ve sayısı mevcut kule vinç konumlarına göre proje maliyetinde tasarruf sağlamıştır.

1.2. Araştırma Sorusu ve Araştırma Hipotezleri

Kule vinç konum ve tedarik noktası, proje süresini ve maliyetini etkilediği için önemlidir. Bu sebeple kule vinç konum ve tedarik noktasını optimize etmek gereklidir. Kule vinç konumu belirlerken yapının geometrisi bilinmesi gereklidir.

Kule vinç konum planlaması, tedarik ve talep alanına bağlıdır. Kule vinçlerin stok ve talep alanı tespit etmek gereklidir. Kule vinç tarama alanı içinde kalan stok ve talep alanları planlanmalıdır.

Konumu belirlenen kule vinçlerin kapasiteleri de belirlenmelidir. Kule vinçin kaldıracağı yapı malzemesinin ağırlığı, kule vinç tonaj kapasitesini belirlemektedir. Yüksek tonajlı kule vinç kullanmak maliyeti artırır. Bu nedenle, kapasitelerinin planlaması gereklidir. Mevcut projedeki kule vinç kapasitelerinin yeterliliği kontrol edilmelidir.

Yapının inşaat aşamasında zaman kaybı önlenmelidir. Kule vinçin uygun konuma yerleşmemesinden kaynaklanan zaman kaybı, projenin başarısızlığını

gösterir. Projenin süre kaybı maliyet kaybına neden olur. Tam sayılı doğrusal program ile bulunan kule vinçlerin konumu ile mevcut kule vinç konumu karşılaştırmasının projede yaratacağı maliyet farkı tespit edilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Literatür Taraması

Kule vinçlerin konum ve sayısı üzerinde yurtdışında birçok çalışma yapılmıştır. Ülkemizde kule vinç konumu ve sayısını belirlemede yapılan çalışmalar ise çok azdır. Ülkemizdeki yapılan çalışmalar, kule vincin kendi yapısal tasarımı ve iş güvenliği alanlarında yapılmıştır.

Kule vinç konusunda yapılan çalışmaların her birisi farklı bir yazılımla model önerisi sunmuştur. Her bir çalışma kendi içerisinde pozitif sonuçlar vermiştir. Yapılan çalışmalarda kullanılan yazılım ve matematiksel yöntemler kule vinçlerin konumunu ve sayısını belirlemek üzere yapılmıştır.

Çalışmalarda, BIM, CAD, GIS vb. kullanılmıştır. Kule vinç konumu optimizasyonu için kullanılan matematiksel yöntemlerde ise karma tam sayılı doğrusal programlama tekniği, parçacık sürüsü optimizasyonu, ateş böceği algoritması vb. yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemler zaman itibarıyla bu tür karmaşık problemleri çözmek için yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu karmaşık problemleri çözmek için yazılımlar geliştirilmeye devam edilmiştir. Geliştirilen bu yazılımlardan bir tanesi de tam sayılı doğrusal programlamadır. Bu konuda yazılım geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir. Teknolojiyle birlikte gelişen yazılımların daha iyi sonuçlar vereceği değerlendirilmektedir.

Yapılan araştırmalarda, etkili saha düzenleri ve saha yönetimi önlemlerinin uygulanmasının %30'a kadar tasarruf sağlayabileceğini (Said vd.,2014), kule vinç konumu planlamasında yapılan hataların projede ek maliyetlere ve süre kayıpları oluşabileceği göstermektedir (Al Hussein vd. ,2006).

Ayrıca inşaat projelerinde iş makinesi maliyeti, toplam maliyetin %10 ila %40'ı arasında değişebilmektedir (Li vd.,2018).

2.1.1 Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yöntemi

Roya ve diğerleri (2011) tarafından ortaya atılan karma tam sayılı doğrusal programlama yöntemi, kule vinç konumu ve malzeme tedarik noktası için karar vermek için kullanılmıştır. Uygulanan yöntem sonucu olarak malzeme taşıma maliyetini %20 oranında tasarruf edildiği görülmüştür (Roya vd.,2011).

2.1.2 Gıs –Bım Yazılımında Kule Vinç Konumu Optimize Yöntemi

Irizarry ve diğerleri (2012) tarafından geliştirilen GIS-BIM modelinde bir grup kule vincinin optimize edilmiştir. Bulunan yöntem, bir grup kule vincinin yerinin belirlenmesinde temel ölçüt olarak "geometrik yakınlık" ve tüm talep ve tedarik noktalarının kapsandığı önceki çalışmalara dayanmaktadır. İnşaat sahasının geometrisi BIM aracı tarafından oluşturulduktan sonra oluşturulan modelde, konumu optimize etmek için uygun kule vinç kombinasyonu belirlenmiştir. GIS modelinin çıktısı, tüm talep ve tedarik noktalarını kapsayan bir veya daha fazla uygulanabilir alan içermektedir; bu alanlar daha sonra BIM aracına bağlanmaktadır. Kule vinçlerin uygun değer konumunu görselleştirmek için üç boyutlu modeller oluşturur. Sonuç olarak BIM ve GIS alanları arasında veri alışverişini sağlamasına rağmen yine de kullanıcının hem sistemler hem de bunların işlevleri hakkında bilgi sahibi olmasını gerektirmektedir (Irizarry vd.,2012).

2.1.3 Kule Vinç Konumu Optimizasyonu Genetik Algoritma Yöntemi

Abdelmegid ve diğerleri (2015) tarafından kule vinç konum probleminin çözümü için genetik algoritmalar tekniğini kullanmıştır. Model, kule vinç taşıma süresini en az indirmek içindir. Bu çalışmanın esas olarak ilgilendiği konu, yaklaşımı güncelleyerek model geliştirmektir. Kule vincinin tüm işlemleri gerçekleştirilmesi için gereken sürenin hesaplanması çalışmanın esasını oluşturmaktadır. Önerilen model, önceki modellerin iyileştirilmesine dayalı olarak, birçok faktör dikkate alınarak geliştirilmiştir. Düşey hızdaki değişim ihmal edilmiştir. Kule vinci kolu. Hesaplamalarda geliştirilen diğer önemli kısım ise, gerekli çevrim sayısının hesaplanması yöntemidir (Abdelmegid vd.,2015).

2.1.4 Kule Vinçlerin Örtüşen Alan Planlaması ve Süreç Simülasyonu

Hattab ve diğerlerinin (2023) yaptığı çalışmada kule vinçlerin planlama ve süreç benzetim yöntemiyle iki kule vinçin örtüşen çalışma bölgesine düşen görevlerin tahsisini optimize etmek amaçlı yapılmıştır. Çalışma sonucunda minimum süre ve vinç boşta kalma süreleri kombinasyonları arasından seçim imkanı sunulmuştur (Hattab vd.,2020).

Kule vinç, inşaat makinelerinden biridir. Projenin performansı üzerinde büyük etkisi vardır. İnşaat sahalarındaki kule vinç üretim hızına ilişkin mevcut tahminler, evrensel olarak kabul edilen ve uygulanabilir bir yöntem ile desteklenmektedir. Ancak son dönemde iş makinelerinin üretim oranlarının belirlenmesinde yeni teknolojilerden faydalanılmaktadır (Halid vd.,2023).

İnşaat ekipmanının maliyeti, tüm proje maliyetinin % 10 ile % 40'ı arasında değişebilir; bu nedenle, özellikle günümüzde inşaatte ağır ekipmanlara olan büyük güven göz önüne alındığında, iş makineleri kullanılarak yapılan imalat oranları projelerin başarısında etkili bir faktör olarak kabul edilmektedir (Alaghbari Vd., 2019).

Şantiyelerde kule vinç gibi ağır iş makinelerin inşa süreçlerine dahil edilmesi, işçilerin, malzemelerin sürekli hareketi ve değişen statüler nedeniyle şantiyelerde işlerin son derece zorlu koşullarında yapıldığı genel olarak kabul edilmektedir (Kim vd., 2013).

İnşaat projelerini takip etmek ve inşaat imalat hızına ilişkin doğru bir tahminde bulunmak, iş performansının kapsamlı bir resmini oluşturur. Doğru kararların alınmasına yardımcı olur. Kule vinç çalışma kapasitesi; yerleştirme koşullarına, yük türlerine ve donanım tahsis stratejisine bağlı olarak değişikliklerden dolayı kesin olarak değerlendirilemez. Kule vinçlerin çalışma hızı düştüğünde şantiyenin faaliyet süresi ve maliyeti artmaktadır (Golparvar vd., 2015).

Projenin verimliliği artırmak için, iş makinelerinin verimsizliklerini ve bunların altında yatan nedenleri belirlemek amacıyla verimliliği çalışma boyunca değerlendirmek ve izlemek gerekir. Bununla birlikte, işçi ve kule vinçlerin performansını izlemek için gerekli gözlemler yapmak, hem zaman hem de maliyet açısından önemlidir (Chen vd., 2020) .

2.2 Kavramsal Çerçeve

Kule vinç konumu ve sayısı belirleyen temel parametre şantiyedeki stok alanı ve talep alanı planlanmasıdır. Bu nedenle öncelikle stok alanı belirlenmeli, yapı alanının geometrisi bilinmelidir. Bu bilgiler her iki alan için çalışma yapacak kule vinç kapasitesinin belirlenmesi için önemli değişkenlerdir.

2.2.1 Şantiye İçin Malzemesi Tedarik Alanı

Şantiyede yapı için kullanılacak malzemelerin stok alanı belirlidir. Stok alanı, yapım sırasında malzeme geçici bekletme alanıdır. Bu alan ile yapı alanı arasındaki mesafe kule vinç tarama alanı içinde olmalıdır. Bu alan dışında, boş bulunan arazi vb. alanlarına stok yapılmamalıdır. Stok alanı dışındaki alanları kullanmak, projeye ilerleyen zamanlarında iş kaybı oluşturmaktadır. Stok alanının, kule vinçin çalışma alanı içerisinde olması zorunludur.

Şantiyede malzemelerin kullanım sıralaması belirlenmelidir. Yol güzergâhlarının üzerine istiflenen her malzeme engeldir, engel olan her malzemenin yer değiştirmesi için kule vinç kullanılmaktadır. Bu işlem kule vinç için zaman kaybına neden olur.

2.2.2 Şantiye Demir Tezgâh ve Kalıp Alanı

Endüstriyel kolon ve perde kalıpları için stok alanı olmak zorundadır. Bu kalıplar şekil itibarıyla büyük olduğu için geniş stok alanı ihtiyacı vardır. Şantiyenin başlangıcında perdelerin çokluğu nedeniyle perde kalıbı ihtiyacı çok olmaktadır. Yapının son aşamalarda perde kalıbı ihtiyacı daha az olacağı için kullanılmayan kalıplar bu alanda stoklanır.

Yapı için diğer bir malzeme, boy inşaat demiridir. Her bir inşaat demiri bağ ağırlığı ortalama 2000 kilogramdır. İnşaat demiri kule vinçin tarama alanında olmalıdır. Demir siparişi genellikle aylık olduğu için 1 ay boyunca stok alanında kalmaktadır. Projenin demir ebat çeşitliliği bu stok alanının daha da büyük olması ihtiyacını oluşturmaktadır. İnşaat demiri kule vinçin kaldırma tonaj kapasitesini belirleyen en ağır malzemedir.

Demir tezgâh alanı ile stok alanı birbirine yakınlığı iş verimi artırmaktadır. Bu nedenle tezgâh alanı ile stok alanı birbirinden uzakta seçilmemelidir. Bu alan demir kesim –büküm ve kalıba nakil alanı olup kule vinçin ikinci en çok mesai yaptığı

Çalışma alanıdır. Gelen demir direkt olarak kesim atölyesine alınamayacağı için kule vinç yardımına ihtiyaç vardır. Bu alanda yapılan işlemler aşağıda belirtilmiştir.

*Tezgâhta hazırlanan demir donatı için, kaldırma – iletme işlemi yapılmaktadır.

*Kesim makinesine getirme

*Bükme makinesine getirme

*Hazırlanan kalıba iletme

Demir tezgâh ve kalıp stok alanının proje ilerledikçe konumu ve yer değışir.

2.2.3 şantiye Malzeme Talep Alanları

şantiye malzeme talep alanı, yapının başlangıcından tamamlanmasına kadar olan alanın tamamıdır. Yapıyı oluşturan alanı temsil etmektedir. Bu alanın her noktasındaki malzeme ihtiyaı ve yoğunluğı farklılık göstermektedir. Talep alanında kalıp, demir ve beton başta olmak üzere vb. malzemeler kullanım alanıdır. Kule vinçlerin hizmet edeceğı alandır.

Kolon ve perde gibi düşey kalıpların şekil ve tasarımına bağlı olarak belirli süre zarfında kule vinçin en çok çalıştığı alandır.

Genel olarak kule vinci konum en uygun şekilde çalışmasının nihai hedefi, kaldırma verimliliğinin artırılması ve işletme maliyetinin en aza indirilmesi olarak tasarlanır. Kaldırılan nesnenin ağırlılığının bir defa kısmen ayarlanabileceğı, malzeme kullanılıp kullanılmamasına bağlı olarak tekrarlanan yapım özelliklerini yansıttığı varsayılmaktadır. Bu sürecin ardından yüklenici yönetici veya inşaat yöneticisi, araştırma sonuçlarından elde edilen kule vinci minimum performans koşuluna göre kaldırma süresi boyunca kiralanabilecek bir kule vinci bulunur (Ho sang vd.,2021).

2.2.4 Kule Vinç Kapasitesinin Belirlenmesi

Kule vinç konum ve sayısı belirlendikten sonra kapasitelerinin belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle kule vinç model seçiminde izlenecek yol aşağıda tablo 1'deki ölçütler dikkate alınarak yapılmalıdır. Kule vinç kapasitesi projenin talep alanına ve stok alanına bağlı olarak belirlenir. Blokların birbirine yakınlığına, uzaklığına ve büyüklüğüne göre projenin vaziyet planı üzerinden kule vinçlerin konumu ve sayısı belirlenir.

Yapı genel alanı esas alınarak her blok için bir kule vinç ön tasarımı yapılmaktadır. Ön tasarımı hazırlanan kule vinç planının ikinci aşamasında kule vinç kapasiteleri belirlenir. Kule vinç kapasitesi belirlenirken, kiralama maliyeti dikkate alınarak kule vinç sayısı ne kadar az ise maliyetin de o kadar azalacağı unutulmamalıdır.

Kule vinç kapasitesi belirlenmesi faktörleri

Yapı özellikleri (Üç boyut modelleme)	Proje geometrisi
	Yol ve stok alanları
	Talep edilen malzeme ağırlığı
	Yapı merkez yüksekliği ve alanı
	Şantiye genel alanı
Kule vinç model seçim özellikleri	Kule vinç güvenli yüksekliği
	Kule vinç uç nokta kaldırma potansiyeli ve çapı
	Kule vinç kiralama maliyeti
	Kule vinç bakım, montaj ve operatör maliyeti
	Kule vinç sayısı

Tablo 1 Kule Vinç Model Seçim Belirlenmesi (Hyun vd.,2021).

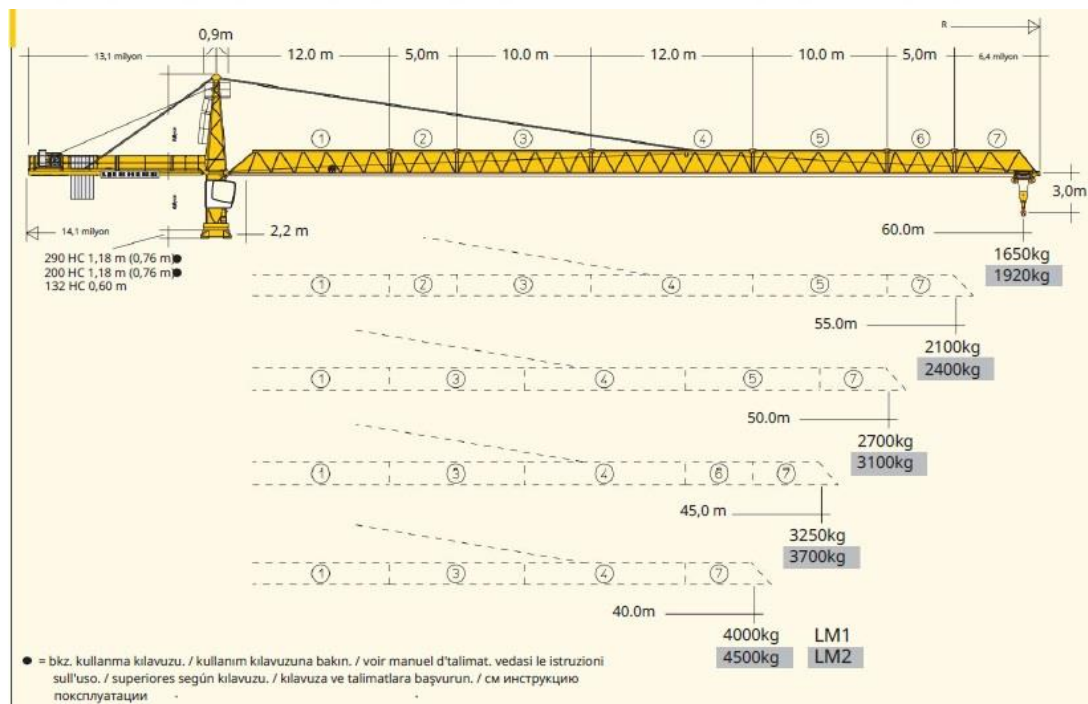
Aşağıda **Tablo 1**’ de verilen parametreler detayı olarak açıklanmıştır.

Projenin geometrisi; Yapının mimari tasarım ölçülerinden oluşmaktadır. Yapının yüksekliği, eni, boyu vb. şekillerini oluşturan tasarımıdır. Yapı inşa edildiğinde aldığı boyutlardır.

Kule vinçlerin konumu; malzeme ağırlıkları, yapıların mimari özellikleriyle yakından ilgilidir. Kule vinç sayısı ve konumlar; malzemelerin ve mimari şeklinin bir fonksiyonudur (Sebt vd., 2008).

Yol ve stok alanları; Yapının inşa edileceği alanın dışında kalan arsa sınırları içindeki alan ve yollardan oluşmaktadır.

Her kule vincin kapasitesini belirten bir yük tablosu vardır. Maksimum kapasite her zaman en kısa vincin çalışma yarıçapı ile elde edilir. Görevlerin gruplandırılması için sunulan yöntem, daha önceki çalışmalara dayanmaktadır (Zhang vd., 1999).



Yukarıdaki **Şekil 1**' de örnek olarak 154ech 6 litronic kule vinçin bomunun ucu 60 metrede 1920 kg. yük kaldırma kapasitesi gösterilmiştir.

Bom üzerinde gövdeden uzaklaştıkça yük kaldırma kapasitesi azalmaktadır. Kule vincin maksimum uzaklıkta aldığı yük en az 1 ton olmalıdır (Kökçü, 2015).

En ağır yük olan bir bağ inşaat demiri 2 ton kaldırmak için kaldırma yarıçapı 55 metredir. Kule vinçler, 18 tona kadar olan bir yükü 70 metre yüksekliğe kaldırabilme kapasitesine sahiptirler. Yük kolu ucuna doğru, taşıyabileceği yük kapasitesi azalır. Bu yük kapasitesi kule yüksekliğine de bağlıdır. Kule vinç operatörü vinç kapasitesinin üstünde yüklenip yüklenmediğini maksimum sehim ve dönme miktarını ekran üzerinden takip eder (Şensoy vd.,2011).

Kule vinçler için projeye uygun olarak proje süresi ve maliyeti dikkate alınarak kiralama yâda satın alma işlemi yapılmaktadır.

Kule vinç montajı ve bakımı; teknik servisler tarafından yapılmaktadır. Bakım ve montaj maliyetleri değişken maliyettir. Kule vinç operatörleri maaşları da değişken maliyetler içerisinde ek maliyettir.

Kule vinç sayısı; Proje alanına bağlıdır. Projedeki her bir bloka bir adet kule vinç hizmet etmelidir. Bloklar arasındaki mesafe az ise, birkaç bloka tek bir kule vinç yeterlidir.

Kule vinçler günümüzde inşaat projesinde geçici saha düzenleme tesislerinin temel araçlarından birisidir. Kule vincin konumunun belirlenmesi, odak noktası olan yerleşim planının önemli bir parçasıdır. Kule vinci konumunun en uygun şekilde, saha kısıtlamaları, binaların şekli ve boyutu, gerekli malzemelerin türü ve miktarı, vinç yapılandırma, vinç tipi ve inşaat sahası yerleşimi gibi birbiriyle ilişkili birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler bir projeden diğerine farklılık göstererek karmaşık şantiye yönetimleri ve yaklaşımlarına yol açar. Kule vinç konumu sorunu yalnızca uygulayıcıların varsayımlarla ve deneme yanılma yoluyla çözülmesini imkânsız hale getirmektedir (Abdelmegid vd.,2015).

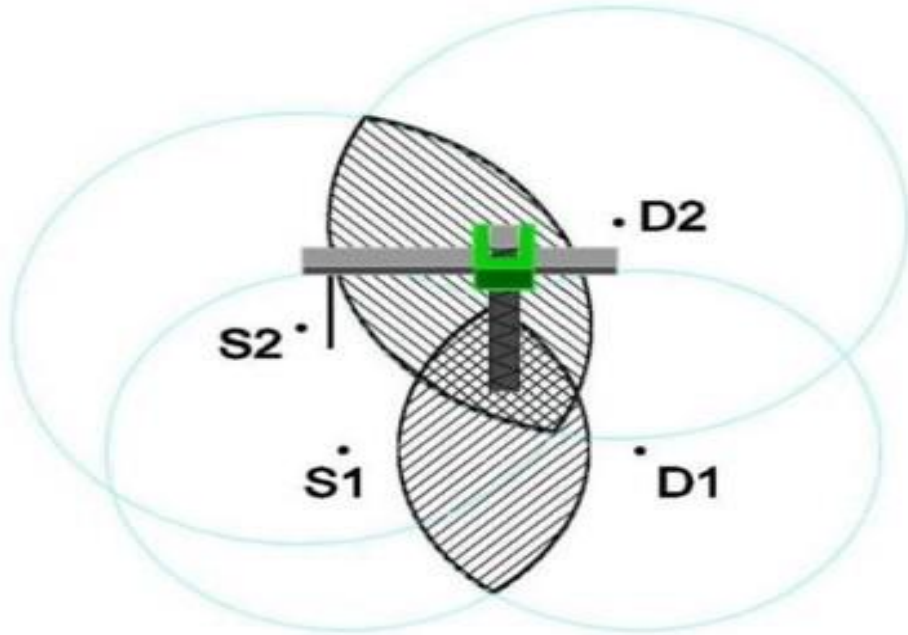
2.2.5 Kule Vinç Çalışma Alanı

Kule vinçler, kaldırma ve iletme için kullanılan iş makineleridir. Bu nedenle sayısını ve konumunu belirlemek gerekir. Saha çalışma planını göz önünde bulundurarak bazı temel adımlarla ilerleme yapılmalıdır. Kule vinçlerin bomu, kaldırma kapasitesi ve etki alanını belirler. Kule vinç konumu çalışma alanını belirler. Kule vinçlerin projenin farklı alana yerleştirilmesi, grup çalışma alanı oluşturur.

Yük kaldırma kapasitesi, hangi tür yüklerin kaldırılabileceğini ve ne kadar ağırlığın taşınabileceğini belirler. Kule vinç operatörleri yükleri hassas bir şekilde yönlendirebilirler. Rüzgâr, kule vinçlerin çalışma verimi etkileyebilir. Yüksek rüzgâr hızları, vinç operasyonlarını durdurabilir. Kule vinçlerin etrafında güvenlik alanları oluşturulmalıdır. Bu alanlar, kule vinç operatörünün ve diğer işçilerin güvenliğini sağlamak amacıyla boş bırakılmalıdır. Kule vinçler, yükleri yükseltme ve taşıma kapasiteleri nedeniyle inşaat projelerinde yaygın olarak kullanılır. Vinç operatörleri, yükleri hassas bir şekilde kaldırma ve yerleştirme yeteneğine sahiptirler. Bu, büyük inşaat projelerinin başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunur. Çalışma alanları, projenin büyüklüğüne ve ihtiyaçlarına göre değişebilir.

Kule vinçlerin çalışma alanı, stok alanından talep bölgesine malzeme iletme yarıçaplarıdır. Kule vinç konumu bu her iki alanın kesiştiği oval bölgede seçilmesi ön tasarımıdır. Kule vinçlerin çalışma alanı stok alanı ve talep alanı birleşiminden oluşmaktadır. Bu alan dışındaki tezgâh ve kalıp alanı da stok alanı içerisine dâhil edilmektedir. Diğer bir alan ise moloz döküm alanıdır. Bu alanın stok alanında yâda dışında olması kule vinç çalışma alanını etkilememektedir.

Yapılan çalışmalarda, bu her iki alanın örtüştükleri alan kule vinçlerin konumu için ideal alanı oluşturmaktadır.



Şekil 2 Talep – (Stok) Tedarik Bölgesine Göre Kule Vinç Konumu (Karan.,2012).

Şekil 2'de gösterilen çiziminde taralı alan kule vinçin kaldırma kapasitesini, bomun uzunluğu ve mesafesi stok (S) – talep (D) bölgesini göstermektedir. Kule vinçin konumunun taralı alan içerisinde olması uygundur (Abdelmegid vd.,2015).

Yapılan bu çalışma dünya çapında olarak bütün projelerde kullanılması için anahtar yöntemdir. Kule vinçler, kaldırma ve iletme yöntemi stok alanından yapı merkezine doğru bir yarıçap ile çalışmaktadır. Bu projenin temelden itibaren yapı genel alanında talep dağılımı gözlemlenir. Yapı genel alanından blok merkez alanına kadar olan süreçte birden fazla talep noktasını oluşturur. Yapı blok merkez alanı imalatları tamamlanıncaya kadar kule vinçlerin çalışma verimi yüksektir.

Şantiyeye dışarıdan yapı malzemesi getirilmesi, kule vinçin çalışmasında yoğunluk meydana getirir. Tam kapasite çalışan kule vinç iş yoğunluğu nedeniyle verimsizleşir. Kule vinçlerin kesişme alanları birbirleri üzerinde bir miktar olması şarttır. Kolon vb. ağır kalıp malzemeleri bloklara aktarılması mecburidir. Bu nedenle kesişme alanları en çok hangi kule vinçte ise o kule vinçin verim oranı yüksektir. Görev olarak diğer bloklara yük iletmesi gerekmektedir.

Burada proje için gelen kalıp vb. malzemeyi stok alanına indirme veya sahaya iletme görevi, ulaşım yoluna en yakın kule vinçe düşmektedir. Tek bir kule vinç her iki görevi de yerine getirmek için yeterli olmayabilir. Birinci görevi kendi blokuna hizmettir. İkinci görevi diğer bloklara ve gelen malzemeyi kaldırma iletme işidir.

Kule vinçlerin birbirlerine mesafesi, örtüşen alanlarına bağlı ölçülebilir. Örtüşen alan ne kadar büyük olursa birbirlerine o kadar yakındır (Zhang Vd., 1999).

Öncelikli olarak kule vinçlerin tahmini kapasitesine göre vaziyet planı üzerinde çalışılmaktadır. Kule vinçlerin her blok için mesafeleri kontrol edilerek iki boyutlu plan üzerinde blok sayısı kadar atanmasıyla başlanmaktadır. Daha sonra bu, yakın bloklar arasındaki minimum kesişen alanları belirlenmektedir. Her kule vinç yerleşimi zikzak ve talep stok noktalarına göre tekrarlı olarak tarama alanları oluşmaktadır. Tarama alanları belirlenirken kule vinçler için stok alanları, yol, blok merkez alanı parametreleri dikkate alınmaktadır. Bu alanların kontrolüne, iş programında doğru ekonomik sonuçlar verinceye kadar devam edilmelidir. Bunların içerisine kurulum ve sökülmesi dâhil edilmektedir.

Sonuç, proje için gerekli sayıda kule vinç tarama alanlarından oluşabilir. Bu bir tasarım olduğu için tek bir yöntem kullanmak yeterli görülmemektedir. Önemli olan ise toplam maliyeti azaltmak için minimum sayıda kule vinci olan alternatifi seçmek gereklidir.

Bu yöntem hem kule vinçlerin örtüşme alanını azaltma hem de kule vinç sayısını minimuma indirmeye yöntemidir. Avantajı ise çarpışma önlenir ve minimum sayıda kule vinç ihtiyacı tasarlar. Örtüşme alanlarının küçük olması kule vinçlerin birbirine malzeme aktarmasını zorlaştırabilir.

Kule vinçlerin konumunu tasarlarken kıstas olarak örtüşme alanını dikkate alınmalıdır. Çarpışma ihtimali, her bloka atanan kule vinçlerin örtüşme alanı kullanılarak ölçülür. İki veya daha fazla vinç arasında daha büyük bir örtüşme alanı oluşması halinde trafik etkisi yüksek olacaktır (Shapira vd.,2009).

Yukarıda açıklandığı gibi, kule vinçler arasındaki geometrik özellikler ve saha ilişkileri, kule vinçlerin en uygun konumunun seçilmesinde ve belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır.

Kule vinç çalışma planı, şantiyenin tamamını kapsamaktadır. Her kule vinç kendi blokuna hizmet etmektedir. Kule vinç grup yerleşmesinde kule vinç başına düşecek olan yük paylaşımı grup içerisindeki en büyük sorundur. Bu sorun çözülmezse en fazla yük taşımaya maruz kalan kule vinç, diğerlerine göre yetersiz kalacaktır. Kule vinçin daha çok çalışması verimi artırmayacaktır.

Gecikmenin en temel sebebi ise genelde kule vinçin konumu stok sahasındaki malzemeye diğer bloklara göre daha yakın olmasıdır. Malzemeleri diğer bloklara taşınması zaman kaybıdır. Zaman kaybı kule vinç verimini azaltmaktadır. Dolayısıyla verim kaybı da maliyeti artırmaktadır.

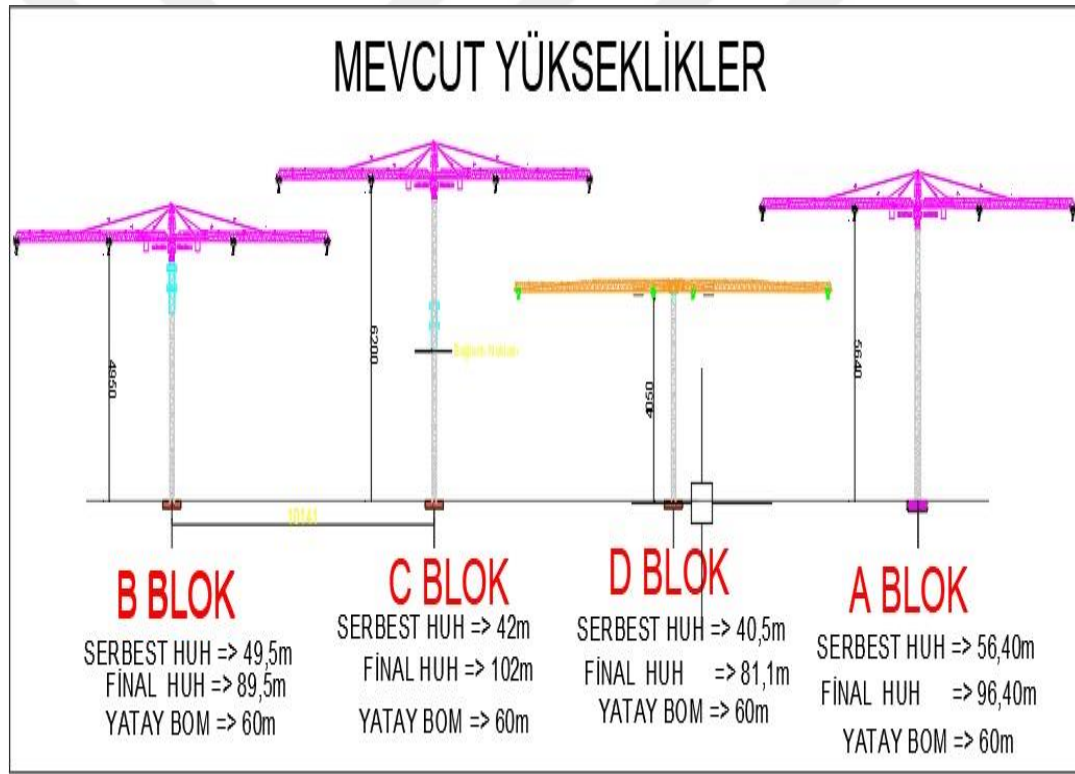
Grup kule vinçlerdeki bu olayın ana sebebi ise inşaat projesinin konumu ile ilgilidir. Sahaya gelen malzemeyi boşaltma işini araç yol güzergâhına en yakın olan kule vinç üstlenir. Kule vinçlere düşen yük dağılımını dengeli yapılmaz. Genellikle grup vinçlerde bu sorun oluşmaktadır.

Verim kaybı olmaması için araç yollarının, malzeme iletme için iyi planlanması gerekmektedir. Her ne kadar bu çalışmalar, kule vinç konumu ve operasyonu gibi ele alınsa da, üzerinde özenli araştırma ve çalışma gerekir. Teknolojinin gelişmesiyle, kule vinçler de otomasyona fazlasıyla ihtiyaç duymaktadır. Sonuç olarak kule vinçler en çok otomasyon gerektiren iş makinalarıdır.

Kule vinç kabini ile yük konumu arasında mesafe göz önüne alındığında, kule vinç için en uygun yerin bulunması, operatörün görüş alanının iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu ihtiyaca cevap vermek için bina bilgi modelleme kullanılarak operatörün bakış açısının modellenmesi gereklidir.

Görsel gösterim kule vinçin hareketlerini izlemek ve ortak çalışma alanında çalışan kule vinçlerin çarpışmasını önlemek için genişletilebilir. Gerçekte inşaat ilerledikçe yapısal elemanların (engellerin) sayısı artar. Vinçlerin yalnızca daha önce kurulmuş olan bu elemanlarla çarpışmalarından kaçınması değil aynı zamanda kurulacak her bir sonraki eleman için çarpışma olmayacak bir yola ihtiyacı vardır (Kang vd., 2008).

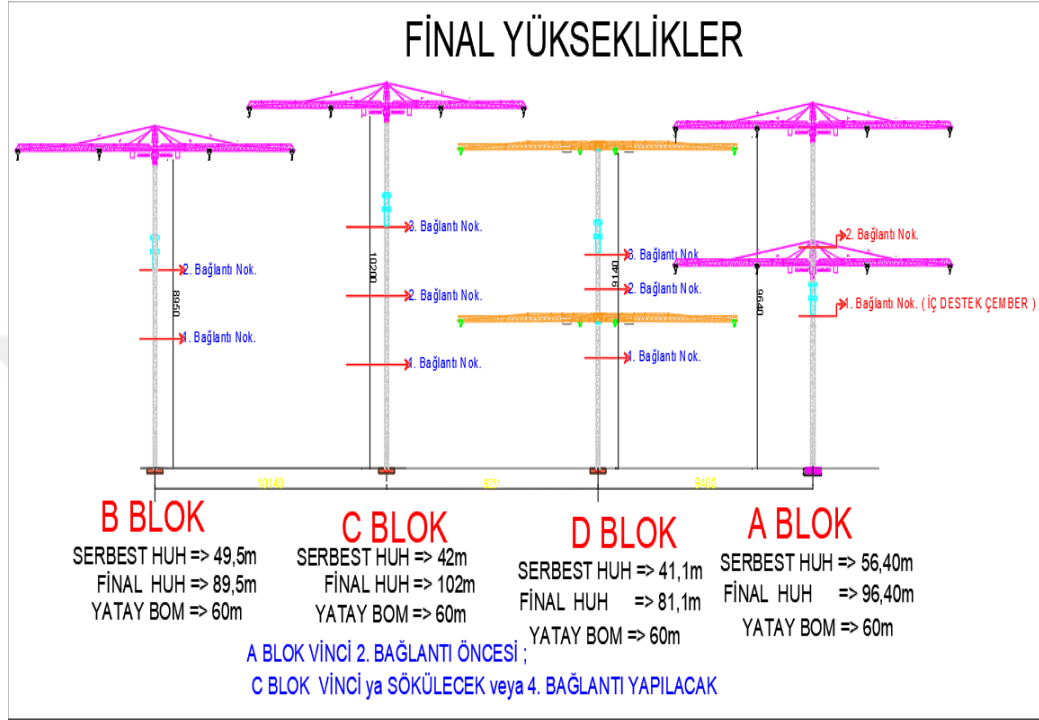
Üç boyutlu modellemesi yapılan yapının iş programındaki süreyle bütünleştirilerek yapının başlangıç aşamasından sonuna kadar ilerleyişi görselleştirilmelidir. Zamanla yükselmeye devam eden bloklara göre kule vinçler de yükseltilecektir. Bir blokun diğer bloktan farklı zamanda tamamlanması durumu, kule vinçlerin de yükseltme işlerini doğrudan etkiler.



Şekil 3 Kule Vinç İlk Kurulum Yükseklik (Yazarın Kendi Resimlendirmesidir).

Şekil 3' te mevcut projenin kule vinçlerinin ilk kurulum aşamasındaki kesit görünümünü göstermektedir. Projenin başlangıcında ilk kurulumda kule vinç yapıya bir bağlantı yapılamaz. Kule vinçin serbest yükseklik 70 metreye kadar kule vinç gövde bağlantısı yapmaya gerek duyulmamaktadır. Kule vinç ortalama 40 metrede bir gövdenin, yapıya bağlantısı yapılmaktadır. Bu bağlantı kule vinç yükseltmesi yapıldıktan sonra yapılır. Kule vinç gövdesi denge değerinde olmalıdır. Bu bağlantılar

kule vinç parçası olmadığından ilaveten maliyettir. Her bağlantıdan sonra kule vinç yükseltmesi yapılır. Kule vinçlerin yapıya bağlantı yapılması için bloka yakın olmak zorundadır.



Şekil 4 Kule Vinçlerin Son Yükseklikleri (Yazarın Kendi Resimlendirmesidir).

Şekil 4' te ise mevcut projede kule vinçlerin yapıya bağlantı noktalarının nerelerden yapılacağını göstermektedir. Kule vinçlerin final yükseklikleri blokların yüksekliğine bağlı olarak yükseltilir. Kule vinç bağlantılar projenin ilerleyişine göre yapılmaktadır. Kule vinç yüksekliği artıkça aylık kiralama bedelde artırılmaktadır.

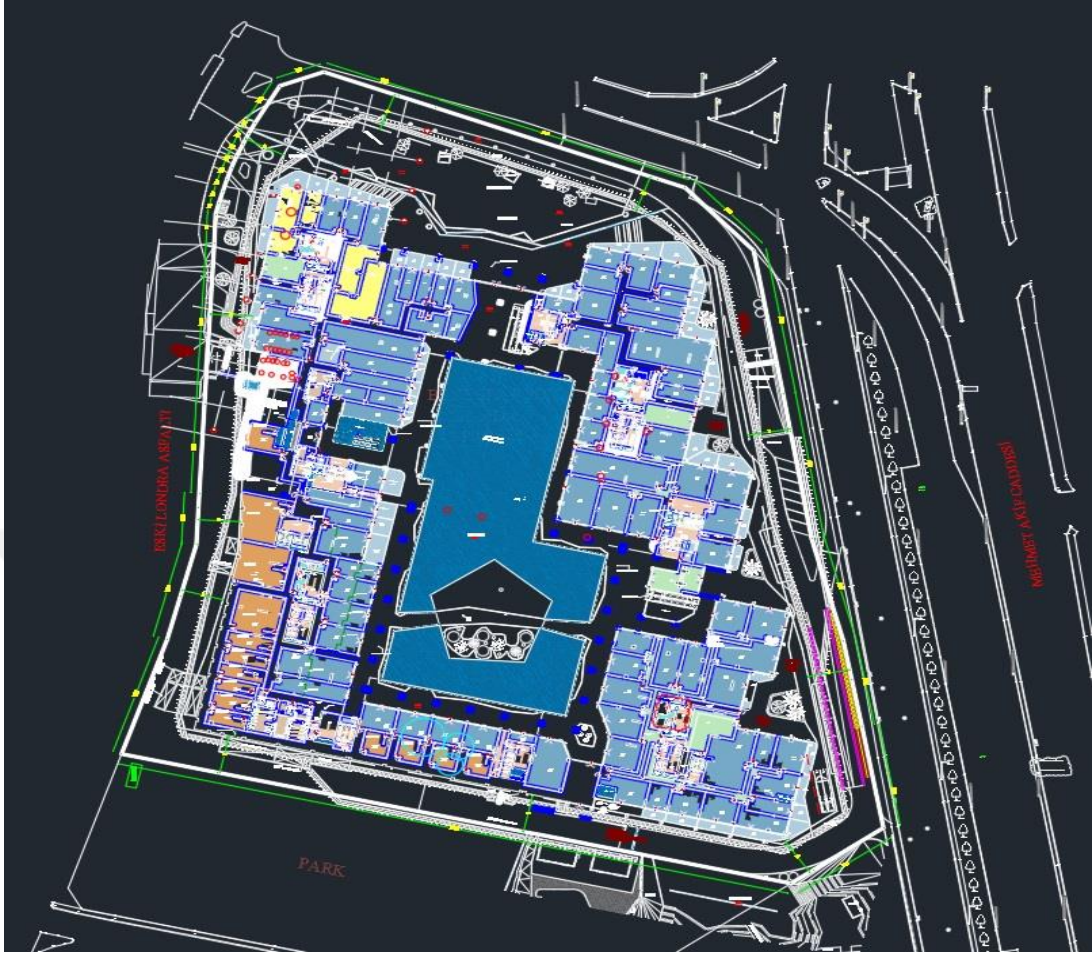
3. YÖNTEM

Bu çalışmada kule vinç konumu ve tedarik noktası bulmak için tam sayılı doğrusal programlama yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılıma yapılan ilavelerle daha önceki kule vinç konumunu bulmak için kullanılan yazılımların daha geliştirilmiş bir versiyonudur ve bu model geliştirilmeye açıktır. Model python 3.x programla dili ile yazılmıştır. Çözümlemede istenen parametre fonksiyon olarak ilave edilebilmektedir. Yazılıma mevcut proje üzerinden stok alanları, talep alanları ve kule vinç konum koordinatları girilerek en ideal sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu yazılım için öncelikli olarak mevcut projede stok ve talep alanları vinç konumları koordinat değerleri belirlenmiştir. Bu koordinatlarla mevcut projede kule vinç yerleşimi yapılmıştır. Bu yerleşim tecrübe ve tahminlerle tasarlanmıştır. Koordinatlandırması yapılan projenin kule vinç kapasiteleri belirlenir. Kule vinç kapasite değerleri veri olarak programa dâhil edilmiş, kule vinç kapasitesi ve koordinatlar haricinde sabit ve değişken maliyetler veri olarak programa dâhil edilerek program kule vinç konumunu optimize analizini gerçekleştirir.

3.1 Mevcut Proje Bilgileri

Mevcut proje İstanbul ili Bahçelievler ilçesinde inşa edilen bir sitedir. İnşa edilen site 4 bloktan oluşan konut ve ticari yapılardan oluşmaktadır. Yapıda her blok 15 katlıdır. Projenin alanı 3 bodrum katı otoparktır. Zemin kattan itibaren genel alanı 4 kat podyumu ticari alanlardır. Toplam inşaat alanı 210000 metrekaredir. Podyum katlar 501 ticari ünite normal bloklar 502 konuttan ibarettir. Bloklardaki konutlar 1+1, 2+1, 3+1 daire tiplerinden oluşmaktadır. Proje Eylül 2022’de başlamıştır. İlk iki blokun 2025 yılında tamamlanması planlanmıştır. Bu projenin süresi 40 aydır. Aşağıdaki **Şekil 5**’te mevcut projenin vaziyet planını göstermektedir.



Şekil 5 Mevcut Projenin Vaziyet Planı (Yazarın Kendi Resimlendirmesidir).

3.2 Mevcut Projedeki Kule Vinç Kapasiteleri

Mevcut projede 4 blok olduğu için 4 adet kule vinç hizmet vermektedir. Kule vinçlerin özelliklerini belirten değerler aşağıda, **Tablo 2**'de gösterilmiştir. Buradan hareketle projeye maliyet açısından etki eden matematiksel veriler bulunmuştur.

Vinç Adı	Bom (L) uzunluğu	Kule vinç bom ucu kapasitesi (kg)	Vinç Tipi (litronic)	Kule vinç kapasitesi (tm)
Vinç A	60 metre	1920 kg	154ech 6 Litronic	138.6 tonmetre
Vinç B	60 metre	1920 kg	154ech 6 Litronic	138.6 tonmetre
Vinç C	60 metre	1920 kg	154ech 6 Litronic	138.6 tonmetre
Vinç D	60 metre	2000 kg	160Lcb 6 Litronic	146.4 tonmetre

Tablo 2 Mevcut Projedeki Kule Vinç Değerleri.

Yapı genel alanı burada bodrum ve podyum (ticari) katları temsil etmektedir. Yani zemin kat ve zemin üstü 4 kat kadar yüksek katlardır. Kule vinçlerin ağırlıklı olarak hizmet edeceği alan merkez blok alanıdır.

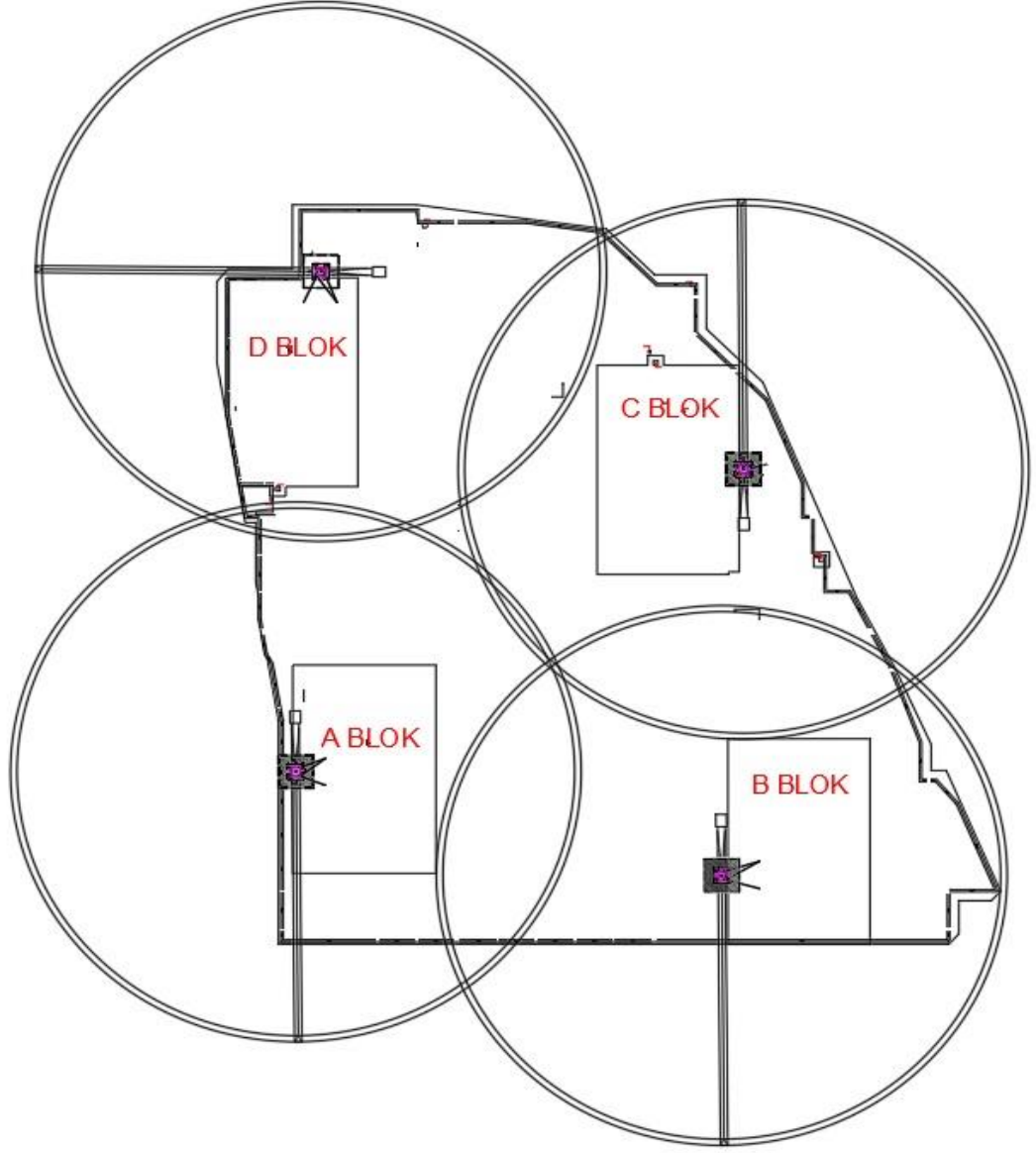
Mevcut projenin çevresinde yapı bulunmamaktadır. Kule vinçlerin dönüş alanlarında dış engeller yoktur. Şantiyenin etrafı tali yollarla çevrili olduğu için malzeme getirilmesine uygundur.

3.3 Mevcut Kule Vinç Çalışma Alanı

Çalışmada her blok için 1 kule vinç yerleşimi yapılmıştır. Kule vinçin tarama alanı plan üzerinde oluşturularak kule vinç konumu, tarama alanı, talep arz bölgelerine olan hâkimiyeti kontrol edilmiştir. Bu alan, merkezi arz veya talep noktasında (R) yarıçaplı bir dairedir.

Ayrıca kalıcı tesisin alanı (inşaat projesi) ve saha sınırı dışındaki alanlar, kule vinçin tarama alanlarından minimize edilmiştir. Kule vinç çalışma alanı, kule vinçin bomunun taradığı alan olarak kabul edilir. Bu alanın bir kısmı stok malzeme alanı olmaktadır.

Aşağıdaki **Şekil 6'** da projenin mevcut kule vinç konumlarını göstermektedir. Mevcut projede 4 adet kule vincin plan şeklidir. Her blok için 1 adet kule vinç konumlandırması yapılmıştır.



Şekil 6 Mevcut Kule Vinç Çalışma Alanı (Yazarın Kendi Resimlendirmesidir).

3.4. Mevcut Kule Vinç Birim Maliyeti

Projede kullanılan kule vinçlerin aylık maliyeti bilinmektedir. Bu maliyet programa sabit ve değişken maliyet olarak iki kısım halinde ilave edilmiştir. Sabit maliyet aylık kiralama maliyeti olarak dikkate alınmış değişken maliyetler ise operatör maaşı, kule vinç kurulum, yükseltme, bakım ve söküm giderleri olarak ele alınmış ve aşağıdaki **Tablo 3** 'te gösterilmiştir.

154ECH 6 Litronic Kule Vinç Maliyet Tablosu (1 adet için)	
Açıklama	Aylık maliyeti (TL)
Kule vinç operatör maaş ve mesai bedeli	128.000,00 ay/tl
Kule vinç gövde yükseltme maliyeti	1.250,00 ay/tl
Kule vinçin yapıya bağlantı maliyeti	1.300,00 ay/tl
Kule vinç kurulum maliyeti	5.000,00 ay/tl
Kule vinç bakım servis maliyeti	3.333,33 ay/tl
Kule vinç iş bitimi söküm maliyeti	5.000,00 ay/tl
Toplam Aylık işletme maliyeti(değişken maliyet)	143.883,33 ay/tl
Birim zaman işletme maliyeti (dakika)	3,33 dk/tl
Proje boyunca kule vinç aylık kiralama bedeli (sabit maliyet)	202.200,00 ay/tl
160 Lcb 6 Litronic Kule Vinç Maliyet Tablosu (1 adet için)	
Birim zaman işletme maliyeti (dakika)	3,49 dk/tl
Proje boyunca kule vinç aylık kiralama bedeli (sabit maliyet)	212310.00 ay /tl

Tablo 3 154 ech 6 ve 160 Lcb 6 Litronic Kule Vinç Birim Maliyet Tablosu.

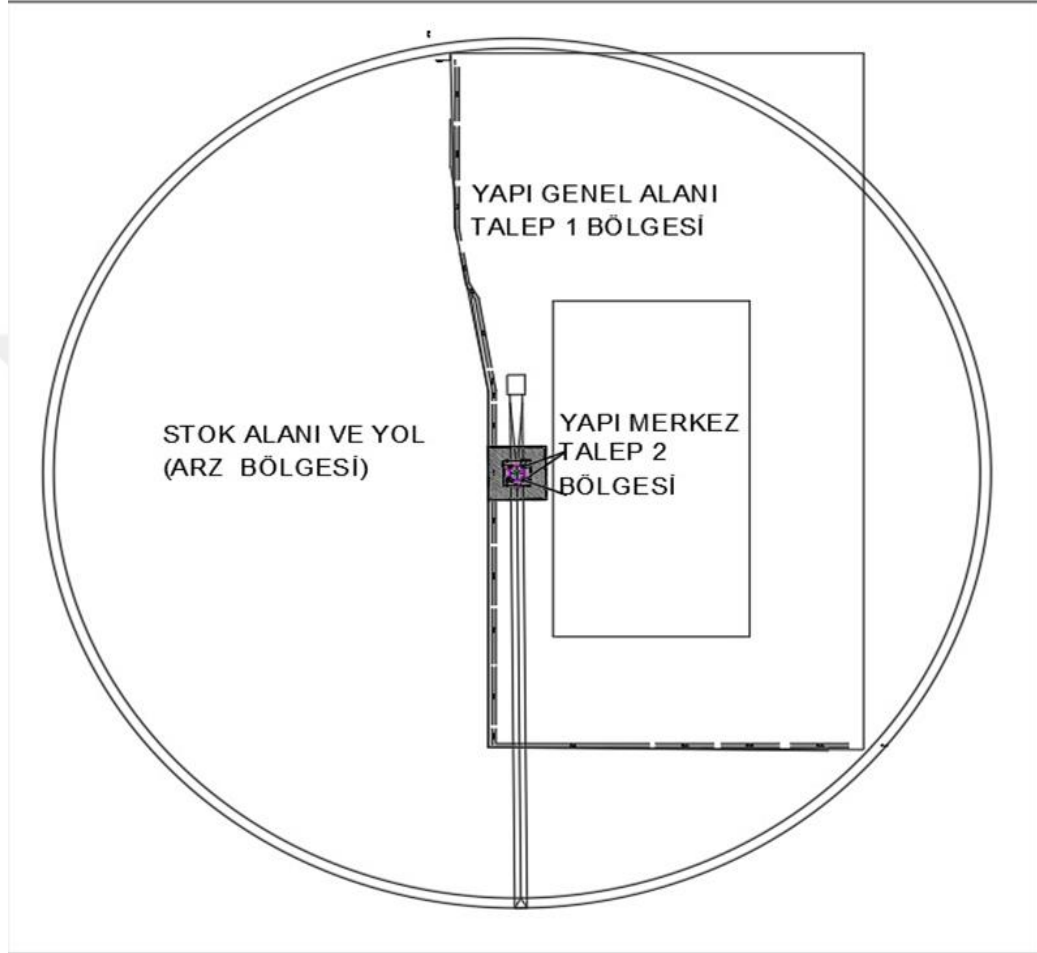
Kule vinç birim maliyet tablosu a, b ve c bloklarda kullanılan kule vinç maliyet tablosudur. D blok için ise bu maliyet % 5 oranında ilave edilmiştir. Kule vinçin verim kaybını hesaplamada hem kiralama hem çalışan işçinin total kaybını dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada 4 adet kule vinç üzerinden hesaplama yapılmıştır. Bu projeye göre 4 kule vinç planlanmıştır. Süre, projede 40 ay olarak dikkate alınmıştır. **Tablo 3**'te bir kule vinçin birim zaman maliyeti hesaplanmıştır.

3.5. Kule Vinç Konum İçin Yapılan Kabuller

Kule vinç konumunun tam sayılı doğrusal programıyla bulunması için bazı kabuller yapılması gereklidir. Bu kabuller mevcut projeden alınmıştır ve aşağıda listelenmiştir.

* Program tek bir kule vinç için çözümü yapacaktır. Daha sonra program her blok için ayrı ayrı kule vinç konumlandırma çözümüne gidebilecektir.

* Vaziyet planı üzerinden her blok için stok alanları ve talep alanları bellidir. Aşağıda **Şekil 7**'te mevcut projede a blok alınan kule vinç konumu, stok ve talep alanının göstermektedir.



Şekil 7 Tedarik ve Talep Alanı Bölgesi (Yazarın Kendi Resimlendirmesidir).

*Stok bölgesi gerekli malzeme için yeterli alanlara bölünmüştür. Bu alanlardan bir tanesi program tarafından seçilmesi istenmiştir.

*Talep bölgesinde kullanılacak malzemenin en ağırlı kule vinç kapasitesinin belirlenmesindeki kaldırma yükü olarak belirlenmiştir.

*Kule vinç konumu aday noktalar için ilaveten maliyetin olmadığı kabul edilmiştir.

*Kule vinç tipi, kiralama ve bakım maliyetleri projenin başında belirlenmiştir.

*Kule vinç aday konumlarının kule vinç çalışmasına engel bir durumu yoktur.

Taşınacak malzeme ağırlıkları (0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92) ton olarak 10 adet ağırlıktan oluşan her malzeme her tedarik noktasına taşınacağı kabul edilmiştir.

3.6 Yöntemin Matematiksel Formülasyonları

Kullanılan yöntemde aşağıdaki matematiksel semboller kullanılmıştır.

I : Malzeme stok alanı sayısı

J : Şantiyede talep alanı sayısı

K : Sahadaki mevcut kule vinç pozisyonlarının sayısı

S : Toplam malzeme sayısı

N : Kule vinç türlerinin toplam sayısı

M: Büyük bir rastgele tam sayı

P_n: n tipi kule vincinin kapasitesi

L_n: n tipi için kule vincinin kolunun maksimum erişimi

W_s: Malzemenin ağırlığı

K: Sahadaki mevcut kule vinç pozisyonlarının sayısı

k : Bir kule vinç konumu

n: Kule vinç tipi

i : Tedarik noktası

C^t_n: n tipi kule vincinin operatör ücreti, enerji tüketim maliyeti ve bakım gibi birim zaman başına işletme maliyetlerin toplamı

C^r_n: n tipi kule vincinin belirli bir süre için kiralanma maliyeti

A_j: j talep noktasında boşaltılacak olan malzeme ağırlık seti

C_{sikn} : Malzemenin stok alanından önceden belirlenmiş talep noktasına k konumundaki kule vinci tipi n ile aktarılması için kule vinci işletme maliyeti

Karar değişkenleri

Y_{kn}: n tipi kule vinç k konumuna yerleştirildiğinde "1"e eşit olan ikili tipte bir değişken ve aksi takdirde sıfır kabul edilir.

Z_{si}: Malzemesi stok noktasında depolanıyorsa "1"e eşit olan ikili tipte bir değişken ve aksi takdirde sıfır kabul edilir.

X_{sikn}: Amaç fonksiyonunun birincil ikili tip değişkeni; burada "1", malzemenin tedarik noktası i'den önceden belirlenmiş talep noktasına k konumunda n tipi kule vinç tarafından taşındığı, aksi takdirde sıfır olduğu anlamına gelir.

Denklemler

Bu bölümde tam sayılı doğrusal programlamada kullanılan denklemler anlatılmıştır.

1 - Denklem

Amaç kule vinçin stok alanından talep noktasına taşınmasının maliyetini hesaplamaktadır. Burada iki çeşit maliyet oluşmaktadır.

Birinci sabit maliyettir. Kullanılacak kule vinçin kapasitesine göre proje süresi dikkate alınarak kirasının ortalama maliyetidir.

İkincil maliyet; operatör ücreti, elektrik sarfıyatı, servis bakım ücreti, yükseltme ücreti, bağlantı ücretleri, kurulum ve söküm ücretlerin toplamından oluşan işletme maliyetidir. Bu maliyet kule vinçlerin çalıştığı sürece oluşan maliyettir. Kule vinç çalışmadığı zamanlarda hesaba katılmaz.

$$\sum^S . \sum^I . \sum^K . \sum^N . C_{s_{ikn}} . X_{s_{ikn}} + \sum^K . \sum^N C_{rn} . Y_{kn}$$

2 - Denklem

İnşaat sahasındaki mevcut aday konumlara göre bir kule vinç tipi ve konumu seçmeyi amaçlamaktadır.

$$\sum^K . \sum^N . Y_{kn} = 1$$

3 - Denklem

Her malzeme için öngördüğü şekilde sahada bir tedarik yeri atanmalıdır. Sorunun varsayımlarına göre tüm malzemeler yalnızca aday tedarik noktalarından birinde depolanmalıdır.

$$\sum^I Z_{si} = 1 \quad s=1, \dots, S$$

4- Denklem

$X_{s_{ikn}}$, amaç fonksiyonunun birincil ikili değişkeni olarak tanımlanır.

Burada $X_{s_{ikn}} = 1$, eğer malzemeler i stok noktasından önceden belirlenmiş talep noktasına k konumundaki n tipi kule vinç tarafından taşınıyorsa;

aksi halde $X_{s_{ikn}} = 0$ $X_{s_{ikn}}$ değeri Y_{kn} ve Z_{si} değişkenleri tarafından elde edilen değere bağlıdır; öyle ki her ikisi de bire eşit olduğunda $X_{s_{ikn}} = 1$ eşit olacaktır; Y_{kn} ve/veya Z_{si} 'den herhangi biri sıfıra eşitse $X_{s_{ikn}} = 0$ olmalıdır.

$$Z_{si} = 1 \quad s=1, \dots, S-1, \quad i=1, \dots, I$$

Bu şartların sağlanması için denklem 5 ve 6 şekilde formüle edilir.

5 - Denklem

$$(Z_{si} + Y_{kn}) \leq (1 + X_{s_{ikn}}) \quad s=1, \dots, S \quad i=1, \dots, I \quad k=1, \dots, K \quad n=1, \dots, N$$

6 - Denklem

$$(2 - Z_{si} - Y_{kn}) \leq M (1 - X_{sikn}) \quad s=1, \dots, S \quad i=1, \dots, I \quad k=1, \dots, K \quad n=1, \dots, N$$

7 - Denklem

Bu denklem her bir kule vinçin kaldırma kapasitesini kontrol etmek için formül edildi.

Kule vinçin devrilme tahkikidir.

$$D_{ik} \cdot W_s X_{sikn} \leq P_n \quad s=1, \dots, S \quad i=1, \dots, I \quad k=1, \dots, K \quad n=1, \dots, N$$

8 - Denklem

Bu denklem her bir kule vinci için bomunun yeterliliğini kontrol eder. Böylelikle bom uzunluğu yetersiz olduğu uzaklıktaki yükü alamayacaktır.

$$D_{ik} Y_{kn} \leq L_n \quad i=1, \dots, I \quad k=1, \dots, K \quad n=1, \dots, N$$

9 - Denklem

Bu denklem binanın mimari şekline bağlı olarak talep noktaları için kule vinç kaldırma kapasitesi kontrolleri dikkate alır.

$$D_{jk} W_s Y_{kn} \leq P_n \quad j=1, \dots, J; \forall s \in A_j, k=1, \dots, K; n=1, \dots, N$$

10 - Denklem

Bu denklem binanın mimari şekline bağlı olarak her malzeme talep noktaları için kule vinç boom uzunluğu kontrolleri dikkate alır.

$$D_{jk} W_s Y_{kn} \leq P_n \quad j=1, \dots, J; \forall s \in A_j, k=1, \dots, K; n=1, \dots, N$$

11 - Denklem

Bu denklem bu kısıtlamalar denklem 1 de formüle ilave edilmiştir.

$$Z_{si} \in (0,1) \quad s=1, \dots, S; i=1, \dots, I$$

$$Y_{kn} \in (0,1) \quad k=1, \dots, K; n=1, \dots, N$$

$$X_{sikn} \in (0,1) \quad s=1, \dots, S; i=1, \dots, I \quad k=1, \dots, K; n=1, \dots, N$$

12 - Denklem

Bu denklem ile kule vinçin işletme maliyeti hesaplanır. Birim başına maliyetin çalışma toplam süresi ile çarpımı sonucunda elde edilir.

$$C_{sikn} = C_n^t \cdot T^k(i;j)$$

3.7 Kule Vinç Hareket Süresinin Hesaplanması

Kule vincinin malzeme taşıma için hareket süresi T_k 'yi hesaplamak için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

$(x_i; y_i; z_i)$: i konumundaki bir stok noktasının koordinatları

$(x_j; y_j; z_j)$: j noktasındaki bir talep noktasının noktası koordinatları

$(x_k; y_k; z_k)$: k konumundaki bir kule vincin konumunun koordinatları

D_{ik} : Stok noktası ile k konumundaki kule vinç arasındaki mesafe

D_{jk} : Talep noktası ile k konumundaki kule vinç arasındaki mesafe

D_{ij} : Stok noktası ile talep noktası arasındaki mesafe

V_h : Kule vinçin kancasının dönüş hızı (60m/dk) (Zhang vd.,2017)

V_ω : Kule vinç bomunun dönüş hızı (7,57 rad/dk) (Zhang vd.,2017)

V_r : Radyal hız (53,3m/dk) (Zhang vd.,2017)

$T^k_{r(i;j)}$: Malzemeyi i stok noktasından j talep noktasına aktarmak için k konumundaki kule vincinin radyal hareket süresi

$T^k_{\omega(i;j)}$: Malzemeyi i stok noktasından j talep noktasına aktarmak için k konumundaki kule vincin teğetsel hareket süresi

$T^k_{h(i;j)}$: Malzemeyi aktarmak için noktasından talep noktasına stok k noktasındaki kule vincinin yatay hareket süresi

$T^k_{v(i;j)}$: Malzemeyi aktarmak için noktasından talep noktasına stok k noktasındaki kule vincinin dikey hareket süresi

$T^k_{(i;j)}$: Kule vincin k noktasındaki kancasının malzemeyi aktarmak için toplam hareket süresi

α : Kule vinci operatörünün becerisine göre kancanın radyal ve teğetsel hareketi arasındaki koordinasyonun derecesini gösteren parametre ($\alpha=0.25$) (Zhang vd.,2017).

β : Yatay ve dikey düzlemlerde kanca hareketinin koordinasyon derecesini gösteren parametre ($\beta=1$) (Zhang vd.,2017).

γ_k : K noktasında bulunan kule vinci için kanca hareketinin kontrol edilmesindeki zorluk derecesini gösteren parametre ($\gamma_k=1$) (Huang vd., 2011).

13 -Denklem

Malzeme tedarik (stok) noktası ile talep alanı noktaları koordinatları arasındaki mesafesinin hesaplanması içindir.

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

14- Denklem

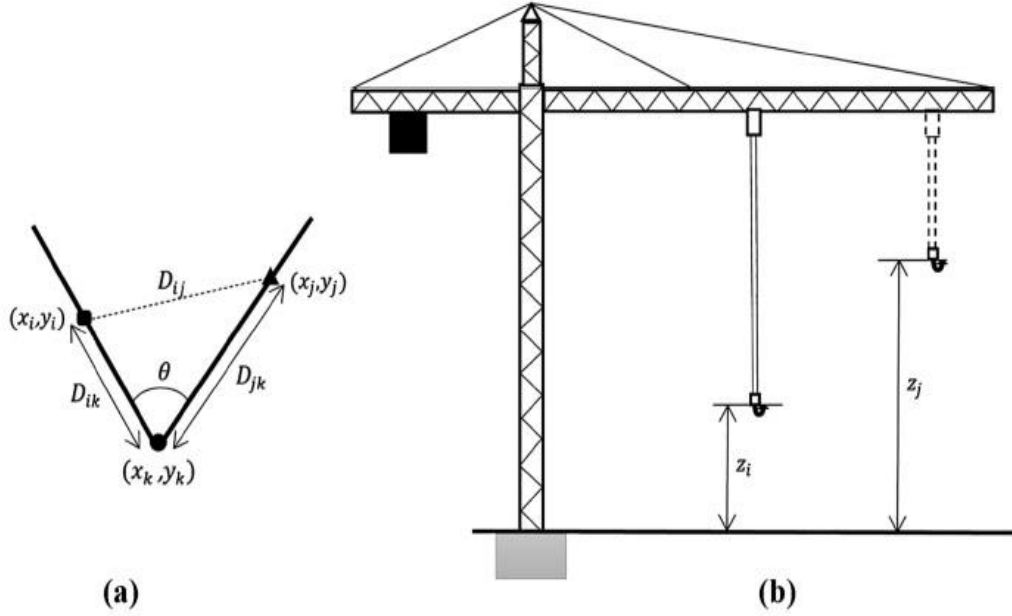
Malzeme (stok) tedarik noktası ile kule vinç konumu noktaları koordinatları arasındaki mesafenin hesaplanması içindir.

$$D_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2}$$

15 -Denklem

Malzeme talep noktası ile kule vinç konumu noktaları koordinatları arasındaki mesafenin hesaplanması içindir.

$$D_{jk} = \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2}$$



Şekil 8 Kanca Yatay ve Düşey Hareketleri (Roya Vd., 2021).

Yukarıdaki **Şekil 8**'de Kule vinç (x_k, y_k) , tedarik (x_i, y_i, z_i) ve talep noktası (x_j, y_j, z_j) koordinat ve bu koordinatlar arası mesafelerin (d_{ik}, d_{ij}, d_{jk}) matematiksel isimlendirmesi görülmektedir.

16 -Denklem

Bu denklem kancanın hareket süresi, kule vincin sahadaki malzemeleri taşımak için çalışma süresini gösterir ve hem yatay hem de dikey düzlem için radyal süre hesaplanır.

$$T_r^k(i;j) = (|D_{ik} - D_{jk}|) / V_r$$

17 -Denklem

Bu denklem kancanın hareket süresi, kule vincin sahadaki malzemeleri taşımak için çalışma süresini gösterir ve hem yatay hem de dikey düzlem için teğetsel süre hesaplanır.

$$T_{\omega(i;j)}^k = (1/V\omega) \cdot \arccos [(D_{ik}^2 + D_{jk}^2 - D_{ij}^2)/2.D_{ik} \cdot D_{jk}] \quad 0 \leq \arccos\theta \leq \pi$$

18 -Denklem

Bu denklem toplam yatay hareket süresi, teğetsel ve radyal hareketler için harcanan sürelerin birleştirilmesiyle kullanılarak tahmin edilebilir.

$$T_{h(i;j)}^k = \text{Max}(T_r^k(i;j), T_{\omega}^k(i;j)) + \alpha \cdot \text{Min}(T_r^k(i;j), T_{\omega}^k(i;j))$$

19 -Denklem

Kancanın düşey hareket süresi hesaplanır. Kanca düşey hızı (vh), genellikle üretici tarafından belirlenir. Kule vinç modeline, vinç tipine ve vinçin kapasitesine bağlı olarak değişmektedir.

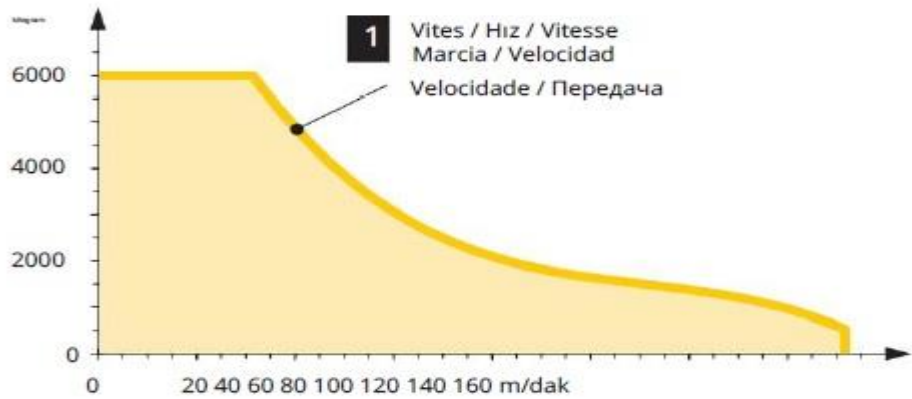
$$T_{v(i;j)}^k = (|Z_i - Z_j|)/V_h \quad V_h \text{ değeri mevcut kule vinç kapasitesinden alınacaktır.}$$

20 -Denklem

Kule vinçin stok noktasından talep noktasına malzeme iletme toplam süresi hesaplanır. Yatay ve dikey hareket sürelerinin bir birleşimidir.

$$T_k(i;j) = \gamma k \cdot [\text{Max}(T_{h(i;j)}^k, T_{v(i;j)}^k) + \beta \cdot \text{Min}(T_{h(i;j)}^k, T_{v(i;j)}^k)]$$

Her kule vinçin kaldırma iletme hızı kule vinçe bağlı olarak değişmektedir. Kule vinçlerin tonaj kapasitelerine bağlı olarak hızları da kule vinçe özeldir. Bu hız değerleri kullanılacak kule vinçin teknik özelliklerine bakılarak değerlendirilir.



Şekil 9 154- ECH -6 Litronic Kule Vinç Dikey Kaldırma Hızı (Url 2).

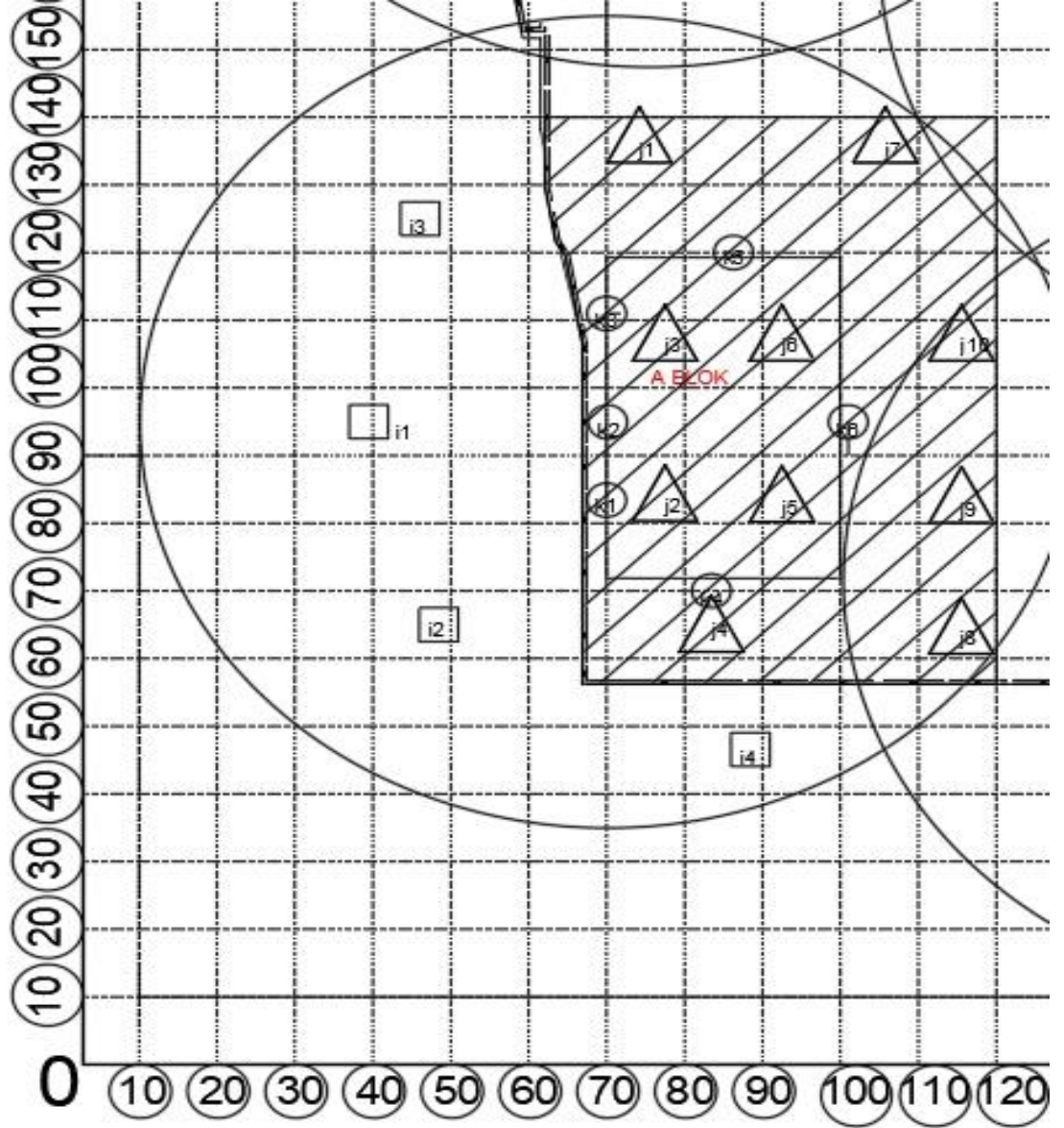
Yukarıdaki **Şekil 9**'da mevcut projede a ,b ve c bloklarda kullanılan kule vinçlerin dikey yük kaldırma kapasitesinin teknik özelliğini göstermektedir.

3.8 Modelin Giriş Verilerinin Gösterimi

Modelin çalışması için öncelikle şantiye alanının plan üzerinde (X,Y,Z) koordinatlandırılması gerekmektedir. Kule vinç konumu stok ve talep alanı konumu sayısal değerler üzerinden hesaba katılmaktadır. Bu araştırmada saha koordinatlandırılmıştır. Birim boyut olarak her aks arası mesafe 1 metre alınmıştır.

Blokların konumuna bağlı olarak kule vinç için tahmini olarak en az 2 adet konumlandırma yapılmaktadır. Kule vinç konumunun tahmini konumu stok alanına yakın olmalıdır. Stok alanı konumu, şantiye arsası içerisinde projenin geneline hitap edecek bir alanda seçilmelidir. Kule vinç bomu, stok ile talep mesafesine göre seçilmektedir. Kule vinç tonajı ise yükün ağırlığı belirlemektedir. Kule vinç kanca hareket süresi için geçmişte yapılan araştırmalar sonucu elde edilen değerler dikkate alınmıştır. Her kule vinçin kanca hızı kapasitesine bağlıdır.

Aşağıdaki **Şekil 10'** da b blok kule vinç, talep ve tedarik noktaları konum koordinatları plan üzerinde göstermektedir.



Şekil 10 A Blok Vaziyet Planı Üzerinden Koordinatlandırma (Yazarın Kendi Resimlendirmesidir).

A blok için tahmini belirlenen tedarik alanı koordinatları aşağıda **Tablo 4**'te görüleceği üzere programa girişi yapılmıştır.

A blok tedarik alanı noktaları koordinatları

Tedarik alanı	X yönü Koordinatı (m)	Y yönü Koordinatı (m)	Z yönü Koordinatı (m)
1	47	91	0
2	40	50	0
3	46	125	0
4	92	46	0

Tablo 4 A Blok Tedarik Alanı Noktaları Koordinatları

Tedarik alanlarında z koordinat değeri farklı değerler alabilir. Bu çalışmada talep noktaları kat sayısı dikkate alınarak her kata 100 adet yük taşınacak şekilde kabul yapılmıştır. Mevcut proje talep alanları kat sayısı farklılık dikkate alınmıştır. A blok için tahmini belirlenen talep alanı koordinatları aşağıda **Tablo 5**'te görüleceği üzere programa girişi yapılmıştır.

A blok talep alanı noktaları koordinatları

Talep alanı	X yönü koordinatı(m)	Y yönü koordinatı(m)	Z yönü koordinatı(m)	Blok Kat sayısı	Taşınacak yük sayısı
1	80	131	32	7	700
2	77	83	87	23	2300
3	77	107	87	23	2300
4	83	65	32	7	700
5	92	83	87	23	2300
6	92	107	87	23	2300
7	110	124	32	7	700
8	114	67	32	7	700
9	115	83	32	7	700
10	115	103	32	7	700

Tablo 5 A Blok Talep Alanı Noktaları Koordinatları.

Tablo 5' de z yönü koordinatı görüleceği üzere 2 farklı değer almıştır. Buna bağlı olarak taşınacak yük sayısı da değişmiştir. Bunun nedeni z değeri talep noktasının en üst kotudur. Her kata 100 adet yük taşınacaktır. Buna göre 7 katlı talep

noktasına 700 yük ve 23 katlı talep noktasına 2300 yük taşınacaktır. Kule vinç konumu talep alanı ile stok alanı dairesellerin kesiştiği bölge seçilmektedir.

Bu bölge operatörün görüş alanını genişletmektedir. A blok için tahmini belirlenen kule vinç koordinatları aşağıda **Tablo 6'** da görüleceği üzere programa girişi yapılmıştır.

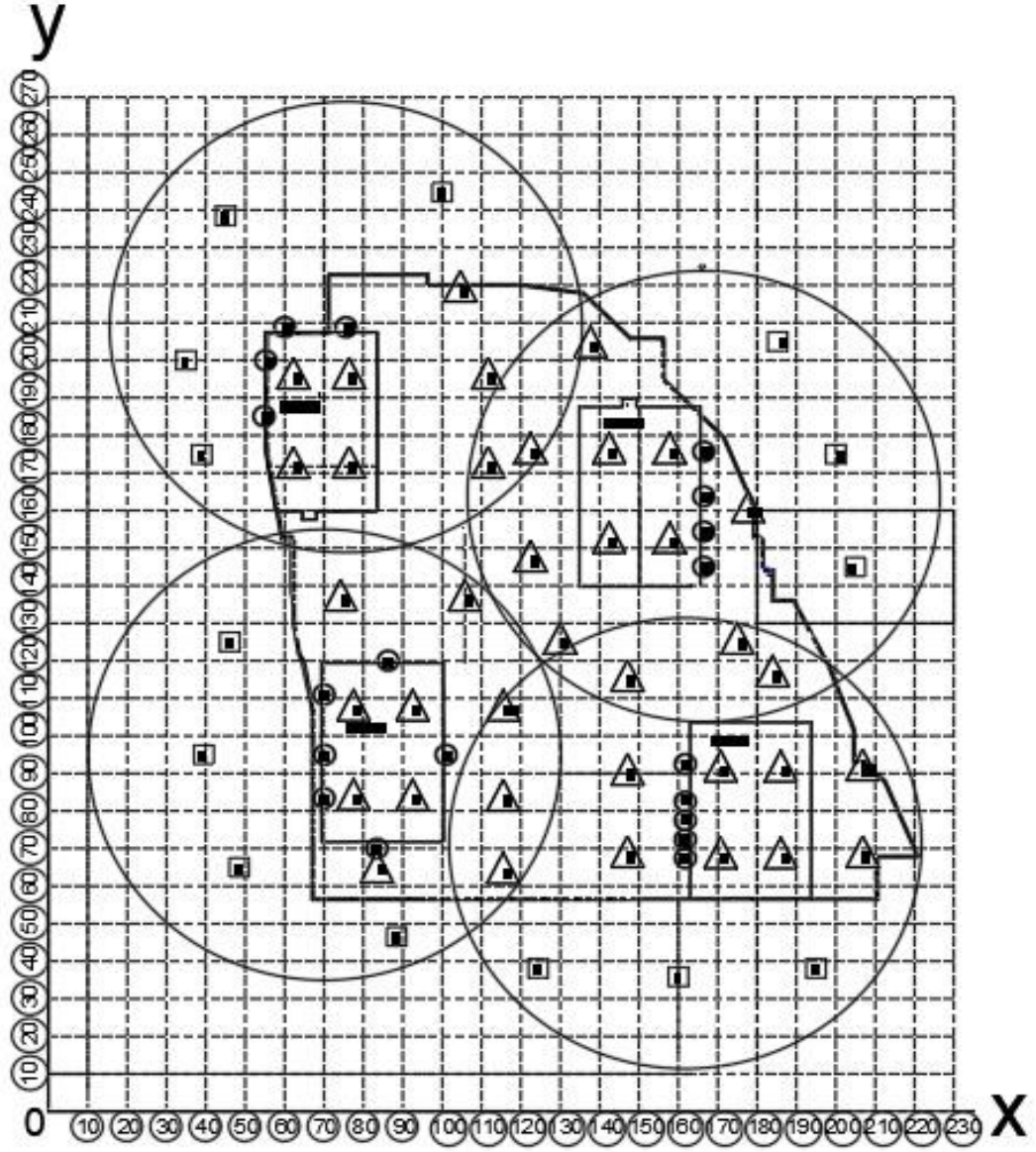
A blok kule vinç konum koordinatları

Kule vinç konum noktası	X yönü koordinatı (m)	Y yönü koordinatı (m)	Z yönü koordinatı (m)
1	70	83	0
2 (mevcut)	70	93	0
3	70	105	0
4	90	72	0
5	86	120	0
6	101	95	0

Tablo 6 A Blok Kule Vinç Konum Koordinatları.

Bu koordinatlandırma bütün a,b,c, ve d bloklar için yapılmıştır. Her blok için ayrı bir tablo haline sunulmuştur.

Aşağıdaki **Şekil 11**' de A-B-C-D bloklar kule vinç, tedarik ve talep noktaları koordinatlandırma gösterilmiştir.



Şekil11 A-B-C-D Bloklar Kule Vinç, Tedarik ve Talep Noktaları Koordinatlandırma (Yazarın Kendi Resimlendirmesidir).

B blok için tahmini belirlenen kule vinç, tedarik ve talep noktaları koordinat değerleri aşağıda **Tablo 7'** de görüleceği üzere programa girişi yapılmıştır.

B blok kule vinç, tedarik ve talep noktaları koordinat değerleri

Kule vinç konum	X yönü koordinat(m)	Y yönü koordinat(m)	Z yönü koordinat(m)	Blok Kat Sayısı	Taşıyacak yük sayısı
1	162	69	0	0	0
2(mevcut)	162	74	0	0	0
3	162	81	0	0	0
4	162	88	0	0	0
Tedarik noktası konum					
1	124	38	0	0	0
2	160	36	0	0	0
3	195	38	0	0	0
Talep noktası konum					
1	147	68	32	7	700
2	147	90	32	7	700
3	147	115	32	7	700
4	171	68	87	23	2300
5	171	91	87	23	2300
6	186	68	87	23	2300
7	186	91	87	23	2300
8	184	116	32	7	700
9	207	68	32	7	700
10	207	91	32	7	700

Tablo 7 B Blok Kule Vinç, Tedarik ve Talep Noktaları Koordinat Değerleri.

C blok için tahmini belirlenen kule vinç, tedarik ve talep noktaları koordinat değerleri aşağıda **Tablo 8'** de görüleceği üzere programa girişi yapılmıştır.

C blok kule vinç, tedarik ve talep noktaları koordinat değerleri

Kule vinç konum	X yönü koordinat(m)	Y yönü koordinat(m)	Z yönü koordinat(m)	Blok Kat sayısı	Taşınacık yük sayısı
1	167	150	0	0	0
2	167	157	0	0	0
3 (mevcut)	167	163	0	0	0
4	166	175	0	0	0
Tedarik noktası konum					
1	185	205	0	0	0
2	200	175	0	0	0
3	205	145	0	0	0
Talep noktası konum					
1	122	147	32	7	700
2	122	175	32	7	700
3	135	125	32	7	700
4	140	203	32	7	700
5	142	152	85	23	2300
6	142	175	85	23	2300
7	158	152	85	23	2300
8	158	175	85	23	2300
9	170	125	32	7	70
10	178	160	32	7	70

Tablo 8 C Blok Kule Vinç, Tedarik ve Talep Noktaları Koordinat Değerleri.

D blok için tahmini belirlenen kule vinç, tedarik ve talep noktaları koordinat değerleri aşağıda **Tablo 9'** da görüleceği üzere programa girişi yapılmıştır.

D blok kule vinç, tedarik ve talep noktaları koordinat değerleri

Kule vinç konum	X yönü koordinat(m)	Y yönü koordinat(m)	Z yönü koordinat(m)	Blok Kat sayısı	Taşınacak yük sayısı
1	55	192	0	0	0
2	60	206	0	0	0
3	55	200	0	0	0
4(mevcut)	75	206	0	0	0
Tedarik noktası konumları					
1	35	200	0	0	0
2	38	170	0	0	0
3	45	238	0	0	0
4	100	245	0	0	0
Talep noktası konumları					
1	62	172	86	23	2300
2	62	195	86	23	2300
3	77	172	86	23	2300
4	77	195	86	23	2300
5	104	218	30	7	700
6	108	174	30	7	700
7	112	196	30	7	700

Tablo 9 D Blok Kule Vinç, Tedarik ve Talep Noktaları Koordinat Değerleri.

3.9 Modelin Veri İşleme Yöntemi

Python programına veri girişleri yapıldıktan sonra tamsayılı doğrusal programla yöntemi kullanarak çözümleme yapılmıştır. Program çıktıları kule vinç, stok ve talep alanı konum mesafelerini ayrı ayrı bulmaktadır. Bu ara mesafeler kule vinç bom uzunluğu hesaplama yöntemine kısıtlama olarak ilave edilmektedir. Kule vinç bomun uygunluğunda kanca hızına bağlı olarak birim maliyet hesaplanmaktadır. Uygun olmayan kule vinçler için programda sıfır değeri olmaktadır. Program sonucunda çıktı olarak hangi kule vinçin hangi stok alanına uygun konumda çalışması gerektiği veri olarak sunulmaktadır. Optimize edilen maliyete bakılarak uygun kule vinç konumu ve tedarik alanı hesaplanmaktadır.

4. BULGULAR

A blok koordinat değerleri ve diğer verileri programa girilmiştir. Bu değerlerin analiz genel sonuçları aşağıda **Tablo10**'da halinde verilmiştir.

A blok genel sonuçlar

Vinç konumu	Tedarik noktası	Vinç tipi	İşletme maliyeti(tl.)	Toplam maliyet(tl.)	Toplam süre (dk.)	Optimal sonuç %
1	1	1	69328.83	271528.83	20819.47	0.420
2(mevcut)	1	1	69118.76	271318.76	20756.38	0.342
3	1	1	68193.44	270393.44	20478.51	0.000
4	4	1	70593.76	272793.76	21199.33	0.888
5	3	1	69339.09	271539.09	20822.55	0.424
6	4	1	76534.98	278734.98	22983.48	3.085

Tablo 10 A Blok Genel Sonuçlar.

Analiz sonucunda toplam maliyetin en düşük olduğu için optimal sonuç değeri olarak alınmıştır. Bu sonuca göre optimal maliyet tabloda verilmiştir. A blok analiz sonucuna baktığımızda 3 nolu kule vinç konumunun optimal olduğu görülmektedir.3 nolu kule vinç optimal olduğu için diğer kule vinçlerin toplam maliyeti üzerinden yüzde olarak oran değeri hesaplanmıştır.

Bu değerlerin analiz optimum sonucu aşağıda **Tablo11**'de halinde verilmiştir.

A Blok Optimum Sonuç

A blok sonuç	X koordinatı	Y koordinatı	Z koordinatı
Seçilen Kule vinç konumu (k)	70	105	0
Kule vinç tipi (n =1)			
Malzeme tedarik noktası	47	91	0
Optimize edilmiş maliyet	270393.44 tl.		

Tablo 11 A Blok Optimum Sonuç.

Optimize edilmiş sonucu lokal olarak programda yeniden analiz ederek her talep noktasına taşınan yükün işletme maliyetleri bulunmuştur. Bulunan bu işletme maliyeti global analizi doğrulamaktadır.

A blok talep noktalarının işletme maliyetleri analiz sonuçları aşağıda **Tablo12**'de halinde verilmiştir.

Modelin kontrolü(A Blok Optimal Sonuç)

Talep noktası	Kat sayısı	Malzeme talep sayısı	Malzeme ağırlığı (ton)	İşletme maliyeti (tl.)
1	7	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	2018.50
2	23	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	12591.18
3	23	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	14718.19
4	7	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	2008.07
5	23	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	13086.64
6	23	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	13996.28
7	7	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	2368.53
8	7	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	2753.12
9	7	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	2421.00
10	7	100	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92	2231.92
Toplam işletme maliyeti (tl)				68193.44
Aylık kiralama maliyeti (tl)				202200.00
Toplam maliyet (tl)				270393.44

Tablo 12 Modelin Kontrolü.

Taşınacak yük ağırlığında mevcut kule vinçin bom ucunun kapasitesi dikkate alınmıştır. Kule vinç bom ucu kapasitesi 1920 kg'dır. Kule vinç kapasitesi ise kule vinç tablosundan alınmıştır.

B blok için kule vinç ve tedarik konumu optimal sonucu **Tablo13**'te verilmiştir. B blok sonuç tablosu

Vinç konumu	Tedarik noktası	Vinç tipi	İşletme maliyeti(tl)	Toplam maliyet(tl)	Toplam süre (dk.)	Optimal sonuç %
1	2	1	68613.28	270813.28	20604.59	0.000
2(mevcut)	2	1	69353.28	271553.28	20826.81	0.273
3	2	1	72780.78	274980.78	21856.09	1.539
4	2	1	76626.81	278826.81	23011.05	2.959
Seçilen optimal sonuç						
1	2	1	68613.28	270813.28	20604.59	0.000
(162,69)	(160,36,0)	1				

Tablo 13 B Blok Sonuç Tablosu.

C blok için kule vinç ve tedarik konumu optimal sonucu **Tablo14**'te verilmiştir.

C blok sonuç tablosu

Vinç konumu	Tedarik noktası	Vinç tipi	İşletme maliyeti(tl)	Toplam maliyet(tl)	Toplam süre (dk.)	Optimal sonuç %
1	2	1	68943.0	271143.06	20703.62	0.000
2	2	1	69462.13	271662.13	20859.50	0.191
3(mevcut)	2	1	69288.22	271488.22	20807.27	0.127
4	2	1	69251.82	271451.82	20796.34	0.114
Seçilen optimal sonuç						
1	2	1	68943.06	271143.06	20703.62	0.000
(167,150,0)	(200,175,0)	1				

Tablo 14 C Blok Sonuç Tablosu.

D blok için kule vinç ve tedarik konumu optimal sonucu **Tablo15**'te verilmiştir.

D blok sonuç tablosu

Vinç konumu	Tedarik noktası	Vinç tipi	İşletme maliyeti(tl)	Toplam maliyet(tl)	Toplam süre (dk.)	Optimal sonuç %
1	2	1	45659.38	247859.38	13711.53	1.141
2	2	1	42862.37	245062.38	12871.59	0.000
3	2	1	43641.99	245841.99	13105.70	0.318
4(mevcut)	1	1	43695.57	245895.57	13121.79	0.340
Seçilen optimal sonuç						
2	2	1	42862.37	245062.38	12871.59	0.000
(60,206)	(38,170,0)	1				

Tablo 15 D Blok Sonuç Tablosu.

Mevcut projede 4 kule vinç aynı anda faaliyette olduğu için tasarruf maliyeti **Tablo16**'da gösterilmiştir.

Mevcut Global Sonuç

Blok adı	Vinç konumu	Tedarik noktası	Vinç tipi	İşletme maliyeti(tl.)	Toplam maliyet(tl.)	Toplam süre(dk.)	Optimal sonuç %
A	2(mevcut)	1	1	69118.76	271318.76	20756.38	0.342
B	2(mevcut)	2	1	69353.28	271553.28	20826.81	0.273
C	3(mevcut)	2	1	69288.22	271488.22	20807.27	0.127
D	4(mevcut)	1	1	43695.57	245895.57	13121.79	0.340
Tasarruf (40 ay)					113746.80		1,092

Tablo 16 Seçilen Optimal Global Sonuç.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, konut şantiyelerinde kule vinçlerin ve malzeme tedarik noktalarını konumlarının projeye etkisini görmek için yapılmıştır. Çalışmanın amacı kule vinçlerin ve malzeme tedarik noktalarının konumlarının sağlıklı bir şekilde belirlemesidir. Kullanılan yöntem ile kule vinçler malzemeleri kaldırma ve iletmede oluşabilecek verim kayıplarının maliyetini en aza indirecek şekilde bir optimizasyon yöntemi ve programı geliştirildi.

Yapılan örnek çalışma ile mevcut projede kule vinçlerin ve tedarik noktalarının konumunda yapılacak değişiklik ile belirlenerek malzeme iletmede verim kayıpları toplamda % 1.092 oranında maliyet tasarrufu sağladığı görülmüştür. Bu değer ne kadar önemsiz görülse de proje süresinin uzadığı ölçüde projeye etkisinin büyüklüğü artacaktır. Bu tasarruf, kule vinç konumu ve malzeme tedarik noktalarının seçimine bağlı olarak değişecektir. Projede malzeme tedarik noktası seçilen konumu dışındaki konumlarda olduğunda maliyet daha da artacaktır. Bu projede kule vinçlerin uygun konumlarda olması tasarruf edileceğini göstermemektedir. Bu model daha önce yapılan çalışmadaki verilerle yapılan analiz sonuçları farklılık göstermemektedir. Mevcut projede bu model blok yapı olarak global analiz yapılmıştır. Global analiz sonucu lokal çözümle kontrol edilmiştir. Bu modelin analiz sonuçlarında herhangi bir farklılık oluşmamıştır.

Bu çalışmada önerilen tek kule vinci gerektiren projeler için geliştirilmiştir. Bu yöntem grup kule vinçlerde de geçerlidir. Yapılan çalışma modellerinde yapının geometrisindeki kat sayısı farklılıkları önemli parametreler dikkate alınmamıştır. Yapının talep alanı kat sayısı toplam taşıma maliyetlerine etkisi matematiksel modelde dikkate alınmıştır.

Ancak, yapının geometrisindeki kat sayısı farklılıkları bu matematiksel modelde bir karar değişkeni olarak dikkate alınmıştır. Önerilen bu model yapılacak çalışmalarda yapının mimari geometrisinden oluşan kat sayısı farklılıklarını model üzerinde dikkate alınmasını sağlayacaktır.

Önerilen model geliştirilmeye açıktır. Modelde malzeme ağırlıklarına ve kule vinç kapasitesine bağlı olarak taşıma süresi fonksiyonları ilave edilebilir. Kule vinçlerin yük taşımadaki hız değerleri daha önce yapılan çalışmalardan ziyade kendine ait hız değerleri fonksiyonel olarak modele ilave edilebilir.

Diğer bir çalışmada kule vinç taşıma süresinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel denklemlerin yatay ve dikey taşıma süresini süperpoze edilmek yerine parabolik denklemle çözüme gidilmesi daha optimal sonuç verecektir. Grup kule vinç çalışmalarında trafik ve malzeme taşıma süreçlerde fonksiyon olarak ilave edilebilir.



6. KAYNAKLAR

Abdelmegid.M.,Shawki. M. K.,Khalek. A.H.(2015) Ga optimization model for solving the tower crane location problem on construction sites

Al-Hussein, M., Athar Niaz, M., Yu, H. ve Kim, H. (2006) Integrating 3D visualization and simulation for tower crane operations on construction sites, *Automation in Construction*,15, 554-562 .

Alaghbari, W., Al-Sakkaf, AA, Sultan, B., (2019) Factors affecting construction labor productivity in Yemen. *International Journal of Construction Management* 19, 79–91.

Amiri,R., Sardroud, J.M. and Kermani, V.M. (2023). Decision support system for tower crane location and material supply point in construction sites using an integer linear programming model. *Engineering construction and architectural Management*. 30(4), pp.1444–1462.

Chen, C., Zhu, Z., Hammad, A., 2020. Activity recognition and efficiency analysis of automatic excavators from construction site surveillance videos. *Automation in construction* 110, 103045.

El Bedir O. Elgendi, Halid M. Shawki, Amr Eş Ref Mohy (2023) tower crane production rate video analysis estimation DOI: 10.36680/j.itcon.2023.007

Al Hattab, M. , Zankoul, E. & Hamzeh, F. (2014). Optimizing Joint Operation of Two Tower Cranes Through Look-Ahead Planning and Process Simulation , 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction , 535-546

Hyun, H.; Park, M.; Lee, D.; Lee, J. Tower Crane Location Optimization for Heavy Unit Lifting in High-Rise Modular Construction. *Buildings* 2021, 11, 121. <https://doi.org/10.3390/buildings11030121>

Kim, JY, Caldas, CH, (2013). Vision-based action recognition in indoor construction site using interactions between worker actions and construction objects. Presented at ISARC 2013 - 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining Held in conjunction with the 23rd World Mining Congress, p. 661–668. <https://doi.org/10.22260/isarc2013/0072>

Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., Savarese, S., (2015). Automated progress tracking using unordered daily construction photos and IFC-based building information models. *Journal of Computing in Civil Engineering* 29. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000205](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000205)

Irizzary, J. and Karan, E.P. (2012). “Optimizing Location of Tower Cranes on Construction Sites through GIS and BIM Integration.” Journal of Information Technology in Construction (ITcon),17 351-366

KÖKÇÜ, İ.,(2015) Kule vinci tasarımı ve analizi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Li, R., Fu, Y., Liu, G., Mao, C. and Xu, P. (2018), “An algorithm for optimizing the location of attached tower crane and material supply point with BIM”, paper presented at the ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction.

Said, H. and El-Rayes, K. (2014), “Automated multi-objective construction logistics optimization system”, Automation in Construction, Vol. 43, pp. 110-122.

Sebt, MH, Karan, EP ve Delavar, MR 2008. Potential Application of GIS in the Layout of Construction Temporary Facilities, International Journal of Civil Engineering, 6(4), 235-245.

Shapira, A. ve Simcha, M. (2009). Measurement of crane-related safety factors and risk scales on construction sites, Journal of Construction Engineering and Management, 135(10), 979-989.

Şensoy, M.N., Güngör N,(2011) Ansys Yazılımı ile Kule Vinç Tasarımı ve Analizi”, Lisans Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 9-12.

Zhang, P., Harris, F. ve Olomolaiye, P. (1996). A computer-based model to optimize the position of a single tower crane, Building survey and information,24(2), 113-123.

Zhang, P., Harris, F., Olomolaiye, P. and Holt, G. (1999). Position optimization for a group of tower cranes, Journal of Construction Engineering and Management, 125(2), 115-122.

EK -1 GELİŞTİRİLEN ALGORİTMANIN SÖZDE KODU

Bu kod, bir inşaat alanındaki çeşitli vinç konumları ve vinç tipleri için toplam taşıma süresi, işletme maliyeti ve toplam maliyeti optimize etmeye çalışan bir algoritmadır.

Aşağıda kodun adım adım açıklanan algoritması bulunmaktadır:

Algoritma Adımları

1. Parametrelerin Tanımlanması:

- Vinç Hızları ve Katsayıları: Vinçlerin hareket hızları (radyal, teğetsel ve dikey) ve koordinasyon katsayıları tanımlanır.

- Yük Miktarları: Her talep noktasına taşınacak yük miktarları belirlenir.

- Vinç Tipleri: Vinçlerin kapasitesi, kira maliyeti, işletme maliyeti ve maksimum erişim mesafesi gibi özellikleri tanımlanır.

- Koordinatlar: Tedarik noktalarının, talep noktalarının ve vinç konumlarının koordinatları tanımlanır.

2. Sonuç Listesinin Başlatılması:

- Her vinç konumu için hesaplanan sonuçlar daha sonra bu listeye eklenir.

3. Vinç Konumları İçin Döngü:

Bu döngüde her vinç konumu için en uygun vinç tipi, toplam taşıma süresi, işletme maliyeti ve toplam maliyet belirlenir.

4. Vinç Tipleri İçin Döngü:

- Her vinç konumu için farklı vinç tiplerinin kullanılması durumunda:

- Vinç kolunun erişim mesafesi, kapasitesi ve en ağır yükün taşıma mesafesi dikkate alınarak uygun tedarik noktası belirlenir.

5. Tedarik Noktalarının Kontrolü:

- Tedarik noktasının uygunluğu kontrol edilir. Eğer tedarik noktası, tüm talep noktalarına taşımayı gerçekleştirebiliyorsa:

- İşletme maliyeti hesaplanır ve toplam maliyet bulunur.

6. Sonuçların Listeye Eklenmesi:

- Her vinç konumu için en uygun vinç tipi, toplam taşıma süresi, işletme maliyeti ve toplam maliyet sonuç listesine eklenir.

7. En Küçük Toplam Maliyetin Belirlenmesi:

- Tüm vinç konumları için hesaplanan maliyetlerden en küçüğü bulunur.

8. Sonuçların Yazdırılması:

- Sonuçlar belirli bir formatta tablo olarak yazdırılır.

EK-2 MEVCUT PROJE BLOK VERİ GİRİŞLERİ (A- B- C- D)

A Blok Veri Girişi

Parametreler (literatür verileri)

$V_r = 53.3$ # Radyal hız (m/dak)

$V_w = 7.57$ # Teğetsel hız (rad/dak)

$V_h = 60.0$ # Dikey hız (m/dak)

$\alpha = 0.25$ # Yatay koordinasyon katsayısı

$\beta = 1.0$ # Dikey koordinasyon katsayısı

$\gamma_k = 1.0$ # Vinç konumuna bağlı zorluk katsayısı

Her talep noktasına taşınacak yük miktarları

$yuk_miktarlari = [7,23,23,7,23,23,7,7,7] * 100$

Kule vinç tipi özellikleri

$vinc_tipleri = [\{ "Crane Type": 1, "Capacity": 138.6, "Rent Cost": 202200, "Op Cost": 3.33, "Max Reach": 60 \},$

$\{ "Crane Type": 2, "Capacity": 146.4, "Rent Cost": 212310, "Op Cost": 3.49, "Max Reach": 60 \},]$

Malzeme ağırlıkları (ton)

$malzeme_agirliklari = [0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92]$

En ağır yükü belirleyin

$max_yuk_agirligi = \max(malzeme_agirliklari)$

Tedarik noktası koordinatları

$supply_points = np.array([(65,95, 0), (50,47, 0), (43,124, 0), (110,50 ,0)])$

Talep noktası koordinatları

$demand_points = np.array([(80,131,32), (77,83,87), (77,107,87), (83,65,32), (92,83,87), (92,107,87), (110,124,32), (114,67,32), (115,83,32), (115,103,32)] * 10)$

Vinç konumu koordinatları

$vinc_konumlari = np.array([(70,83), (70,93), (86,120), (81,72), (70,105),(101,95)])$

Sonuçları tutacak liste

$sonuc_listesi = []$

Her vinç konumu için en uygun vinç tipini bul

$for\ idx, vinc_konumu\ in\ enumerate(vinc_konumlari, start=1):$

$en_kucuk_toplam_maliyet = float('inf')$

```
en_uygun_vinc_tip = None
en_uygun_toplam_tasinma_suresi = float('inf')
en_uygun_tedarik_noktasi = None
en_uygun_op_maliyet = float('inf')
```

B Blok Veri Girişi

```
import numpy as np
import math

# Parametreler (literatür verileri)
Vr = 53.3 # Radyal hız (m/dak)
Vw = 7.57 # Teğetsel hız (rad/dak)
Vh = 60.0 # Dikey hız (m/dak)
alpha = 0.25 # Yatay koordinasyon katsayısı
beta = 1.0 # Dikey koordinasyon katsayısı
gamma_k = 1.0 # Vinç konumuna bağlı zorluk katsayısı
# Her talep noktasına taşınacak yük miktarları
yuk_miktarlari = [7,7,7,23,23,23,23,7,7,7,] * 100 # 10 talep noktasına 10 yük
# Kule vinç tipi özellikleri
vinc_tipleri = [ {"Crane Type": 1, "Capacity": 138.6, "Rent Cost": 202200, "Op Cost":
3.33, "Max Reach": 60},
{"Crane Type": 2, "Capacity": 146.4, "Rent Cost": 212310, "Op Cost": 3.49, "Max
Reach": 60},]
# Malzeme ağırlıkları (ton)
malzeme_agirliklari = [0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92]
# En ağır yükü belirleyin
max_yuk_agirligi = max(malzeme_agirliklari)
# Tedarik noktası koordinatları
supply_points = np.array([(124,38, 0), (160,36, 0), (195,38, 0)])
# Talep noktası koordinatları
demand_points = np.array([(147,68,32), (147,90,32), (147,115,32), (171,68,87),
(171,91,87), (186,68,87), (186,91,87), (184,116,32), (207,68,32), (207,91,32)] * 100)
# Vinç konumu koordinatları
vinc_konumlari = np.array([(162,69), (162,74), (162,81), (162,88)])
# Sonuçları tutacak liste
```

```

sonuc_listesi = []
# Her vinç konumu için en uygun vinç tipini bul
for idx, vinc_konumu in enumerate(vinc_konumlari, start=1):
    en_kucuk_toplam_maliyet = float('inf')
    en_uygun_vinc_tip = None
    en_uygun_toplam_tasinma_suresi = float('inf')
    en_uygun_tedarik_noktasi = None
    en_uygun_op_maliyet = float('inf')

```

C Blok Veri Girişi

```

import numpy as np
import math
# Parametreler (literatür verileri)
Vr = 53.3 # Radyal hız (m/dak)
Vw = 7.57 # Teğetsel hız (rad/dak)
Vh = 60.0 # Dikey hız (m/dak)
alpha = 0.25 # Yatay koordinasyon katsayısı
beta = 1.0 # Dikey koordinasyon katsayısı
gamma_k = 1.0 # Vinç konumuna bağlı zorluk katsayısı
# Her talep noktasına taşınacak yük miktarları
yuk_miktarlari = [7,7,7,7,23,23,23,23,7,7] * 100 # 10 talep noktasına 10 yük
# Kule vinç tipi özellikleri
vinc_tipleri = [ {"Crane Type": 1, "Capacity": 138.6, "Rent Cost": 202200, "Op Cost": 3.33, "Max Reach": 60},
{"Crane Type": 2, "Capacity": 146.4, "Rent Cost": 212310, "Op Cost": 3.49, "Max Reach": 60},]
# Malzeme ağırlıkları (ton)
malzeme_agirliklari = [0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92]
# En ağır yükü belirle
max_yuk_agirligi = max(malzeme_agirliklari)
# Tedarik noktası koordinatları
supply_points = np.array([(185,205, 0), (200,175, 0), (205,145, 0)])
# Talep noktası koordinatları

```

```

demand_points = np.array([(122,147,32), (122,175,32), (135,125,32), (140,203,32),
(142,152,85), (142,175,85), (158,152,85), (158,175,85), (170,125,32), (178,160,32)]
* 100)
# Vinç konumu koordinatları
vinc_konumlari = np.array([(167,150), (167,157), (167,163), (166,175)])
# Sonuçları tutacak liste
sonuc_listesi = []
# Her vinç konumu için en uygun vinç tipini bul
for idx, vinc_konumu in enumerate(vinc_konumlari, start=1):
    en_kucuk_toplam_maliyet = float('inf')
    en_uygun_vinc_tip = None
    en_uygun_toplam_tasinma_suresi = float('inf')
    en_uygun_tedarik_noktasi = None
    en_uygun_op_maliyet = float('inf')
D Blok Veri Girişi
# Parametreler (literatür verileri)
Vr = 53.3 # Radyal hız (m/dak)
Vw = 7.57 # Teğetsel hız (rad/dak)
Vh = 60.0 # Dikey hız (m/dak)
alpha = 0.25 # Yatay koordinasyon katsayısı
beta = 1.0 # Dikey koordinasyon katsayısı
gamma_k = 1.0 # Vinç konumuna bağlı zorluk katsayısı
# Her talep noktasına taşınacak yük miktarları
yuk_miktarlari = [23,23,23,23,7,7,7,7,7,7] * 100 # 10 talep noktasına 10 yük
# Kule vinç tipi özellikleri
vinc_tipleri = [{"Crane Type": 1, "Capacity": 138.6, "Rent Cost": 202200, "Op Cost":
3.33, "Max Reach": 60},
{"Crane Type": 2, "Capacity": 146.4, "Rent Cost": 212310, "Op Cost": 3.49, "Max
Reach": 60},]
# Malzeme ağırlıkları (ton)
malzeme_agirliklari = [0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.92]
# En ağır yükü belirleyin
max_yuk_agirligi = max(malzeme_agirliklari)
# Tedarik noktası koordinatları

```

```
supply_points = np.array([(35,200, 0), (38,170, 0), (45,238, 0),(100,245,0)])
# Talep noktası koordinatları
demand_points = np.array([(62,172,86), (62,195,86), (77,172,86), (77,195,86),
(104,218,30), (108,174,30), (112,196,30)] * 100)
# Vinç konumu koordinatları
vinc_konumlari = np.array([(55,192), (60,206), (55,200), (75,206)])
# Sonuçları tutacak liste
sonuc_listesi = []
# Her vinç konumu için en uygun vinç tipini bul
for idx, vinc_konumu in enumerate(vinc_konumlari, start=1):
    en_kucuk_toplam_maliyet = float('inf')
    en_uygun_vinc_tip = None
    en_uygun_toplam_tasinma_suresi = float('inf')
    en_uygun_tedarik_noktasi = None
    en_uygun_op_maliyet = float('inf')
```